Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias

PROGRAMA DE MONITOREO AMBIENTAL ACTUALIZADO DEL HUMEDAL DEL RÍO CRUCES Y SUS RÍOS TRIBUTARIOS

PM / HRC

INFORME ANUAL CORRESPONDIENTE AL PERIODO
ABRIL 2019 – MARZO 2020

AGOSTO 2020

Dirección · Campus Isla Teja · Valdivia · Chile

Casilla 567 · Fono: 56 63 221347 / email: fciencia@uach.cl · www.uach.cl

ÍNDICE

		Página
1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVOS	5
3.	ANÁLISIS DE DATOS AMBIENTALES DE LARGO PLAZO	7
	3.1. Antecedentes climáticos del área de estudio	7
	3.2. Objetivos	7
	3.3. Material y métodos	8
	3.3.1. Recopilación de datos históricos	8
	3.3.2. Análisis de temperatura mínima del aire, precipitaciones, caudal hídrico y del espejo de agua	8
	3.4. Resultados	11
	3.4.1. Temperatura mínima del aire	11
	3.4.2. Precipitaciones	15
	3.4.3. Caudal hídrico del río Cruces	23
	3.4.4. Nivel del espejo de agua	28
	3.5. Conclusiones	33
	3.6. Referencias	34
4.	COMPONENTES DEL PROGRAMA	36
	4.1. COMPONENTES ABIÓTICOS	36
	4.1.1. CALIDAD DEL AGUA	36
	4.1.1.1 Objetivos	36
	4.1.1.2. Material y métodos	37
	4.1.1.3. Resultados	43
	4.1.1.4. Análisis comparativos en relación a la calidad de agua	270
	4.1.1.5. Análisis históricos de las aguas superficiales	280
	4.1.1.6. Conclusiones	285
	4.1.2. CALIDAD DEL SEDIMENTO	289
	4.1.2.1. Objetivos	289
	4.1.2.2. Material y métodos	289
	4.1.2.3. Resultados	293
	4.1.2.4. Análisis comparativos en relación a la calidad de sedimento	371
	4.1.2.5. Análisis históricos de los sedimentos superficiales	386
	4.1.2.6. Conclusiones	390
	4.1.2.7. Referencias	392
	4.2. COMPONENTES BIOLÓGICOS	395

4.2.1. MACRÓFITAS ACUÁTICAS 395
4.2.1.1. Análisis espacio-temporal de la calidad del agua y cobertura de macrófitas acuáticas mediante sensores remotos 395
4.2.1.1.1. Antecedentes 395
4.2.1.1.2. Objetivos 397
4.2.1.1.3. Material y métodos 398
4.2.1.1.4. Resultados 413
4.2.1.1.5 Conclusiones 451
4.2.1.1.6. Referencias 453
4.2.2. MACROINFAUNA DE FONDOS SEDIMENTARIOS 455
4.2.2.1. Antecedentes 455
4.2.2.2. Objetivos 455
4.2.2.3. Material y métodos 456
4.2.2.4. Resultados 460
4.2.2.5. Conclusiones 517
4.2.2.6. Referencias 519
4.2.3. MACROFAUNA DE FONDOS RITRALES 551
4.2.3.1. Antecedentes 551
4.2.3.2. Objetivos 552
4.2.3.3. Material y métodos 552
4.2.3.4. Resultados 556
4.2.3.5. Conclusiones 570
4.2.3.6. Referencias 571
4.2.4. FAUNA DE CAMARONES 572
4.2.4.1. Antecedentes 572
4.2.4.2. Objetivos 573
4.2.4.3. Material y métodos 574
4.2.4.4. Resultados 579
4.2.4.5. Conclusiones 620
4.2.4.6. Referencias 621
4.2.5. ICTIOFAUNA 623
4.2.5.1. Antecedentes 623
4.2.5.2. Objetivos 626
4.2.5.3. Material y métodos 627
4.2.5.4. Resultados 633
4.2.5.4.1. Estudios comunitarios y poblacionales 633
4.2.5.4.2. Elementos y compuestos químicos en *Galaxias maculatus* 656
4.2.5.4.3. Evalución del estado sanitario y análisis histopatológicos 674
4.2.5.5. Conclusiones 693
4.2.5.6. Referencias 696

4.2.6. HERPETOFAUNA **700**
4.2.6.1. Antecedentes **700**
4.2.6.2. Objetivos **703**
4.2.6.3. Material y métodos **703**
4.2.6.4. Resultados **708**
4.2.6.5. Conclusiones **725**
4.2.6.6. Referencias **726**

4.2.7. AVIFAUNA **728**
4.2.7.1. Análisis comunitarios y poblacionales de la avifauna acuática **728**
4.2.7.1.1. Antecedentes **728**
4.2.7.1.2. Objetivos **728**
4.2.7.1.3. Material y métodos **729**
4.2.7.1.4. Resultados **734**
4.2.7.1.5. Conclusiones **764**

4.2.7.2. Elementos y compuestos químicos en Garza blanca grande (*Casmerodius albus*) **764**

4.2.7.2.1. Antecedentes **764**
4.2.7.2.2. Objetivos **766**
4.2.7.2.3. Material y métodos **766**
4.2.7.2.4. Resultados **768**
4.2.7.2.5. Conclusiones **799**

4.2.7.3. Composición de la comunidad, condición corporal y eficacia biológica de la avifauna de las riberas **800**
4.2.7.3.1. Antecedentes **800**
4.2.7.3.2. Objetivos **802**
4.2.7.3.3. Material y métodos **802**
4.2.7.3.4. Resultados **807**
4.2.7.3.5. Discusión general **823**
4.2.7.3.6. Conclusiones **825**
4.2.7.3.7. Referencias **826**

4.2.8. MAMIFEROS ACUATICOS **829**
4.2.8.1. Antecedentes **829**
4.2.8.2. Objetivos **829**
4.2.8.3. Material y métodos **830**
4.2.8.4. Resultados **830**
4.2.8.5. Conclusiones **839**
4.2.8.6. Referencias **839**

4.3. ANÁLISIS COMPARATIVOS DE DATOS OBTENIDOS EN PROGRAMAS DE DIAGNÓSTICO Y MONITOREO CON ESTUDIOS PREVIOS DE RIESGO ECOLÓGICO

4.3.1. Antecedentes

4.3.2. Objetivos

4.3.3. Material y métodos

4.3.4. Resultados

4.3.5. Discusión

4.3.6. Conclusiones

4.3.7. Referencias

4.4. CAMBIOS DE USO DEL SUELO

4.4.1. Antecedentes

4.4.2. Objetivos

4.4.3. Material y métodos

4.4.4. Resultados

4.4.5. Conclusiones

4.4.6. Referencias

4.5. CONOCIMIENTO ECOLÓGICO LOCAL

4.5.1. Antecedentes

4.5.2. Objetivos

4.5.3. Material y métodos

4.5.4. Resultados

4.5.5. Evaluación del programa

5. SINTESIS, ALCANCES Y AMENAZAS O ADVERTENCIAS

6. EQUIPO DE TRABAJO

1. INTRODUCCIÓN

Durante el periodo invierno - primavera del año 2004, ocurrieron en el humedal del río Cruces (en adelante HRC) y sus ríos tributarios (Fig. 1) cambios ambientales significativos, incluyendo entre otros la mortandad por causas desconocidas y emigración de la población del Cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*) y la reducción significativa en la cobertura de la macrófita acuática Luchecillo (*Egeria densa*), planta que, hasta antes del año 2004 era la fuente primaria de alimento de los cisnes en este humedal.

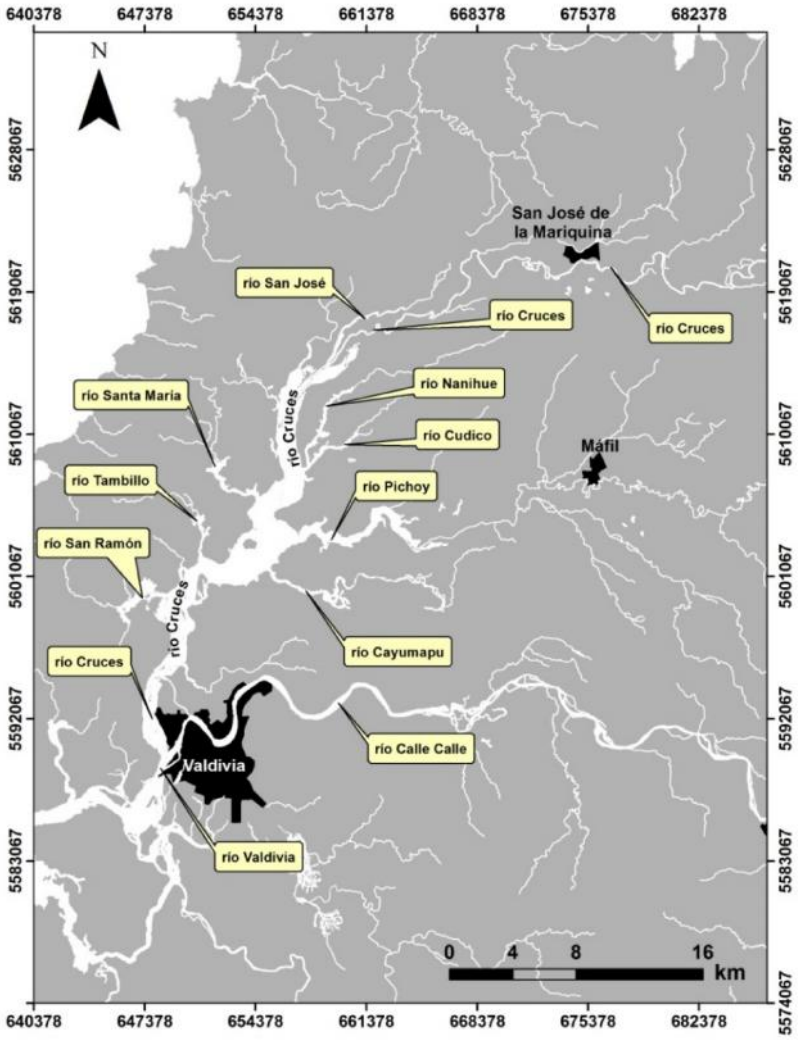


Figura 1. Ubicación del humedal del río Cruces (HRC) y los ríos tributarios de mayor importancia por su volumen hídrico.

Como consecuencia de lo anterior y en base a resultados de estudios realizados por la Universidad Austral de Chile, el Consejo de Defensa del Estado inició un juicio en contra de Celulosa Arauco y Constitución, cuya planta Valdivia fue sindicada como la responsable de los cambios ambientales anteriormente mencionados.

Con fecha 27 de julio de 2013, y como resultado del proceso judicial, la Jueza del Primer Juzgado Civil de Valdivia, Doña Gloria Hidalgo dictó sentencia en contra de Arauco indicando entre otras, la implementación de una serie de medidas entre las que se encuentra la de ***"Realizar un programa de monitoreo medio ambiental por parte de la empresa demandada, constante y por un período no inferior a cinco años, el que deberá efectuarse de acuerdo a las condiciones de calificación ambiental establecidas en la RCA 279/98 y sus modificaciones posteriores, por los organismos competentes, sin prejuicio de lo que éstos ordenen o hayan ordenado"***.

Por otra parte, Arauco en acuerdo con el Consejo de Defensa del Estado (CDE) conformó el 26 de noviembre del 2013 un Consejo Científico Social (en adelante CCS), cuyo objetivo fue realizar sugerencias y orientaciones a las medidas dictadas por la sentencia judicial anteriormente señalada.

Como ya se mencionó, una de estas medidas corresponde a la realización de un monitoreo medio ambiental del HRC y para lo cual el CCS encargó a la Facultad de Ciencias de la Universidad Austral de Chile (UACh), el diseño de una propuesta para dar cumplimiento a esta parte de la sentencia, considerando una serie de orientaciones para el diseño de ese monitoreo (ver Tabla siguiente).

ORIENTACIONES GENERALES PARA EL MONITOREO (medida 3)

TEMA	DEFINICIÓN
Área de estudio	• Río + Santuario + Estuario (incluyendo los tributarios o afluentes. Importante acotar la cuenca a la zona de interacción).
Objetivos	• Aportar información de calidad de manera sistemática, capaz de identificar efectos agudos y crónicos, que contribuya a la preservación y restauración del humedal.
Componentes (incluyendo las interacciones entre ellos)	• Calidad del agua • Calidad de sedimentos • Estado de Fauna • Estado de Flora
Metodología	• Diseñar con metodologías propias del estado del arte, reconocidas y actualizadas. • Considerar laboratorios acreditados. • Considerar la metodología de Evaluación de Riesgos. • Considerar todos los estudios diagnósticos y otros informes de monitoreo existentes para el ecosistema (UACh, CONAF, DGA, Gobernación marítima, SISS, Monitoreo RCA Planta de Celulosa, Norma Secundaria Calidad Ambiental, entre otros). • Considerar la participación de la comunidad y su conocimiento ecológico local en el diseño y la implementación del monitoreo. • Considerar el Diagnóstico como referencia para el diseño del sistema de monitoreo. • Considerar algún procedimiento de re-diseño del monitoreo (diseño adaptativo) en función de los resultados del diagnóstico inicial y del monitoreo en el tiempo.
Usos de la información obtenida por el monitoreo	• El monitoreo debe tener instancias de evaluación de los datos y de difusión pública de los resultados. Se espera que sus conclusiones puedan, además de describir el estado del humedal, proponer cursos de acción que contribuyan al objetivo de preservar y restaurar. • La información del monitoreo (datos e interpretación de ellos) será entregada al “Centro de Investigación de Humedales” y será de carácter pública.
Entidad Técnica responsable del Pre-Diseño	• Facultad de Ciencias de la Universidad Austral de Chile. Se sugiere que la Facultad considere la incorporación de otros actores como complemento en su propuesta de pre-diseño.

En base a las orientaciones indicadas en la Tabla anterior, la Facultad de Ciencias de la UACh, en conjunto con investigadores de la Universidad de Concepción y la Universidad Santo Tomás, sede Santiago, preparó una propuesta preliminar de Programa de Monitoreo Ambiental a ejecutarse en un plazo de cinco años (2015-2020) y que fue aceptada en marzo del año 2014 por el CCS. Cabe señalar que en esa propuesta propuesta se mencionaba lo siguiente:

"No obstante lo anterior, es necesario señalar que el programa de monitoreo que aquí se propone, deberá ser revisado y re-evaluado acorde los resultados del Programa de Diagnóstico sugerido para el mismo humedal. Acorde a tal revisión, podría ser el caso, por ejemplo, que el tipo de variable a analizar y el número de estaciones a muestrear aquí sugerido tenga modificaciones. Podría ser también, que haya que agregar aspectos no incluidos en las variables que se indican en la Tabla 1".

Los resultados obtenidos del Programa de Diagnóstico Ambiental llevaron al equipo de trabajo del Programa de Monitoreo a actualizar ese Programa preliminar y transformarlo en el Programa Actualizado de Monitoreo. Entre los aspectos que se actualizaron (*i.e.*, no incluídos en la propuesta original de marzo 2014) destacan los siguientes:

- El estudio de las macrófitas o plantas acuáticas llevado a cabo durante el Programa de Diagnóstico Ambiental, evidenció la presencia en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios, de la planta nativa de vastas regiones de América del Sur *Sagittaria montevidensis* o Flecha de agua. En muchos de estos lugares, esta planta ocupó vastas áreas donde originalmente se encontraba el Luchecillo, planta que era consumida preferentemente por aves herbívoras en el humedal, tales como cisnes y taguas. Quedó la duda si la Flecha de agua tendría o no un rol como alimento relevante para esas aves herbívoras del humedal; por lo tanto, fue necesario incluir, como parte del mismo, el monitoreo de la distribución y expansión de *S. montevidensis* y su eventual efecto sobre otras macrófitas acuáticas en el área.

- La variedad de macrófitas acuáticas en las riberas del área de estudio es tal, que fue necesario aumentar la frecuencia de muestreos periódicos a fin de evaluar eventuales cambios en la riqueza de especies y distribución espacial de esas plantas. Se hizo necesario también aumentar la cobertura del área a monitorear para este componente biológico, aspecto del cual se hace cargo este Programa Actualizado de Monitoreo.

- Análisis de Dioxinas y Furanos realizados en Inglaterra durante el Programa de Diagnóstico Ambiental, mostraron la presencia de estos compuestos en muestras de músculos en cuatro garzas (*Ardea alba* o Garza blanca grande) analizadas durante marzo del año 2015. Debido a esto, se incluyó en el Programa de Monitoreo Actualizado, el estudio anual de elementos y compuestos químicos en *Ardea alba*.

Nota: *lo anterior resalta la importancia del concepto de Monitoreo Adaptativo, es decir un monitoreo que se va actualizando, acorde por ejemplo a la aparición de fenómenos no observados al comienzo del mismo o a la variabilidad espacio – temporal de variables físicas y/o biológicas que van más allá de lo que hasta ese momento se conoce. Debido a lo anterior, se evaluarán continuamente los resultados del presente Programa de Monitoreo, a fin de analizar la eventual necesidad de realizar cambios o modificaciones tendientes a captar el tipo de variabilidad anteriormente mencionada.*

Con las modificaciones anteriormente señaladas se dio inicio durante abril del año 2015 al primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC.

2. OBJETIVOS

Los objetivos del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC diseñado para el período 2014-2020 fueron:

- Evaluar la variabilidad espacio - temporal del componente abiótico y biótico que dé cuenta del estado actual del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

• Integrar los resultados de este programa de monitoreo con los de otros programas en ejecución en el área de estudio y cuya modalidad de recolección de datos y análisis, sean similares a los de este programa.

•Integrar el conocimiento ecológico local con los estudios de los componentes abióticos y bióticos del medio acuático, a fin de integrar diferentes actores en el seguimiento del estado ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

Este Informe corresponde al quinto año y final del Programa de Monitoreo Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios y que fuera diseñado en el año 2014, en base a las orientaciones del CCS (Consejo Científico Social), entidad que se organizó para implementar las medidas señaladas en la resolución de fecha 27 de julio de 2013, emanada por la Jueza del Primer Juzgado Civil de Valdivia, Doña Gloria Hidalgo. En este Informe se integran los resultados del Año 5 o Quinto Año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, con los resultados emnanados de los informes correspondiente a los años anteriores del mismo, como así también con los resultantes - cuando corresponde - del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (ver períodos de ambos programas en Tabla siguiente).

año	**período**
Programa de Diagnóstico	abril 2014 - marzo 2015
Programa de Monitoreo	
Año 1 o Primer año	abril 2015 - marzo 2016
Año 2 o Segundo Año	abril 2016 - marzo 2017
Año 3 o Tercer Año	abril 2017 - marzo 2018
Año 4 o Cuarto Año	abril 2018- marzo 2019
Año 5 o Quinto Año	abril 2019 - marzo 2020

3. ANALISIS DE DATOS AMBIENTALES DE LARGO PLAZO

3.1. Antecedentes climáticos del área de estudio

La zona de Valdivia posee un clima templado lluvioso con influencia mediterránea; según Köppen en Koeppe & de Long (1958) del tipo Cfb (C=clima templado, f=húmedo, b=mes más cálido inferior a 20^{o}C). Las precipitaciones fluctúan entre 1.300 y 3.500 mm al año (datos 1900 – 2019, presente estudio), con importantes fluctuaciones entre años originadas por el paso de sistemas frontales. Entre mayo y agosto se concentra entre el 60 al 70% de las precipitaciones del año, siendo junio y julio los meses más lluviosos con precipitaciones que pueden superar los 400 mm. enero y febrero son los meses más secos con precipitaciones inferiores a 60 mm. Para la zona de Valdivia, se han registrado eventos máximos diarios de precipitaciones superiores a 150 mm (Huber 1970) y, también se ha señalado una tendencia de disminución de largo plazo de las precipitaciones (Rusticucci & Penalba 2000, Quintana & Aceituno 2012, González-Reyes & Muñoz 2013).

La humedad relativa promedio anual del aire es cercana al 80%, aun cuando durante los meses de invierno esta puede superar el 90%, debido a la alta pluviosidad de la zona (Dirección Meteorológica de Chile).

La temperatura promedio anual del aire bordea los 12^{o}C. La oscilación promedio entre el mes más cálido y el más frío, es de aproximadamente 10^{o}C. Enero y julio son los meses más cálidos y fríos respectivamente, con temperaturas promedio cercanas a los 17 y 7^{o}C, correspondientemente (Huber 1970). La temperatura máxima absoluta del aire es cercana a 35^{o}C y la mínima -5^{o}C. Las heladas que se registran en la zona, se producen principalmente durante noches despejadas de los meses de invierno.

3.2. Objetivos

- Actualizar la información existente relacionada a las características climáticas, hidrológicas y ambientales del área donde se inserta el Humedal del Río Cruces (HRC) y sus ríos tributarios a diciembre de 2019.
- Identificar eventuales tendencias de largo plazo en esas características.

3.3. Material y métodos

3.3.1. Recopilación de datos históricos

En este capítulo se analizan datos históricos relacionados a la climatología (precipitaciones y temperatura mínima del aire) e hidrología (nivel del espejo de agua y caudal hídrico del río Cruces), en el área donde se ubica el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios. Estos análisis incorporan los últimos sesenta años. Se incluye también un análisis comparativo de la variabilidad temporal de las precipitaciones, con la altura del espejo de agua y el caudal del río Cruces en Rucaco durante el período 1970-2019.

La Tabla 3.1 muestra los tipos de datos ambientales recopilados y sistematizados, así como la identificación de las fuentes de origen de los mismos.

3.3.2. Análisis de temperatura mínima del aire, precipitaciones, caudal hídrico y nivel del espejo de agua

Se analizó a nivel mensual y anual el registro histórico de la temperatura del aire (^{o}C) y precipitaciones (mm) entre 1960 y 2019. Desde 1960 a 2010 los datos provienen de la estación meteorológica del ex - Instituto de Geociencias ubicado en el campus Isla Teja y, desde el 1 de enero de 2011 al 31 de diciembre de 2019 la información proviene desde la estación meteorológica de la UACh ubicada en el Fundo Santa Rosa (39^{o}47’18.28’’S y 73^{o}14’4.97’’W), que se encuentra integrada a la red de estaciones agro meteorológicas dependientes del INIA.

Los datos de caudales hídricos y altura del espejo de agua cubren el período 1970-2019 y 2000 - 2019, respectivamente, y provienen de la Dirección General de Aguas (DGA), específicamente de la estación hidrológica localizada en el río Cruces, sector Rucaco.

Tabla 3.1. Catastro de fuentes de datos para realizar los análisis meteorológicos e hidrográficos. UACh: Universidad Austral de Chile, DMC: Dirección Meteorológica de Chile y DGA: Dirección General de Aguas.

tema	parámetro	fuente	estación	período	
				inicio	fin
Meteorología e hidrografía	**Precipitaciones**	UACh	Campus Isla Teja	1 ene 1960	31 dic 2010
			Fundo Santa Rosa (UACh)	1 may 2015	31 dic 2019
		DMC	Aeropuerto Pichoy	1 ene 2011	30 abr 2015
	Temperatura del aire	UACh	Campus Isla Teja	1 ene 1960	31 dic 2010
			Fundo Santa Rosa (UACh)	1 ene 2011	31 dic 2019
	Caudal río Cruces	DGA	Rucaco	1 ene 1969	31 dic 2019
	Nivel de agua	DGA	Rucaco	1 ene 2000	31 dic 2019

Los análisis se realizaron en R Core Team (2016). Para el caso específico de las series de tiempo se usaron las funciones *ts*(), *filter*() y *stl*() de la librería *stats*. La función *ts*() permite crear el objeto de la clase serie de tiempo y la función *stl*(), se usó para descomponer aditivamente las series mediante una regresión polinómica local (Loess). Loess es uno de varios métodos modernos de construcción de modelos basados en los clásicos, como la regresión lineal y regresión no lineal. Este método se basa en el cálculo de aproximaciones locales para cada uno de los datos de entrada x_t. Dichas aproximaciones son polinomios de grado muy bajo (un grado 2 suele ser más que suficiente) ajustados mediante mínimos cuadrados, y que sólo tienen en cuenta de forma ponderada los k datos más cercanos al dato x_t en que se calculan.

La descomposición aditiva de una serie de tiempo, se expresa de la siguiente forma:

$$x_t = T_t + S_t + \varepsilon_t$$

Donde, x_t es el valor observado, T_t es la tendencia y representa un movimiento suave a lo largo del tiempo que puede ser constante o variable, S_t es la estacionalidad y se supone una oscilación dependiente de la estación y, ε_t corresponde a un ruido blanco compuesto por variaciones aleatorias no explicadas por los componentes de tendencia y estacionalidad.

Para analizar la tendencia de la serie de datos observados como de las anomalías estandarizadas de la componente de tendencia (T_t) originada desde la decomposicón aditiva de la serie se usó la prueba de Mann-Kendall (Mann 1945, Kendall 1970). Las anomalías estandarizadas (z_t) corresponden a desviaciones con respecto a la media ($\bar{x}$), escaladas por la desviación estándar (s_{x_t}) de las observaciones (x_t).

$$z_t = \frac{x_t - \bar{x}}{s_{x_t}}$$

La finalidad de esta transformación fue remover la influencia de la posición y de la dispersión del conjunto de datos.

3.4. Resultados

3.4.1. Temperatura mínima del aire

Datos

La serie diaria de temperaturas mínimas del aire comprende desde 1960 a 2019, pero es discontinua en los siguientes tramos: 1 agosto al 3 de septiembre de 1972, 1 de febrero al 18 de marzo, 12 de octubre al 31 de diciembre de 2011, 25 de febrero al 10 de abril del año 2014, 1 enero al 17 abril, 21 al 27 mayo y 5 al 8 junio 2015.

Los tramos de datos faltantes de la serie se completaron usando una distribución uniforme ($U(a,b)$) con el objeto de no tener vacíos en la serie mensual. El supuesto subyacente es que el valor faltante se encuentra entre los valores ocurridos el mismo día-mes del año anterior (a) y el mismo día-mes del año siguiente (b).

Variabilidad histórica mensual

Las temperaturas mínimas mensuales muestran el patrón típico estacional de la zona valdiviana. Durante la época estival (diciembre, enero y febrero) la media de la temperatura mínima del aire se ubica sobre los 10 °C. A partir de marzo se observa una disminución sostenida hasta el mes de julio, cuando alcanza su menor valor. A partir de agosto las temperaturas mínimas mensuales comienzan a ascender hasta ubicarse en diciembre por sobre el nivel de los 10 °C (Fig. 3.1).

Descomposición de la serie mensual

La descomposición aditiva de la serie mensual de temperaturas mínimas del aire mediante Loess (Local polynomial regressión fitting), muestra claramente la componente estacional típica de la zona valdiviana y una tendencia no muy clara (Fig. 3.2).

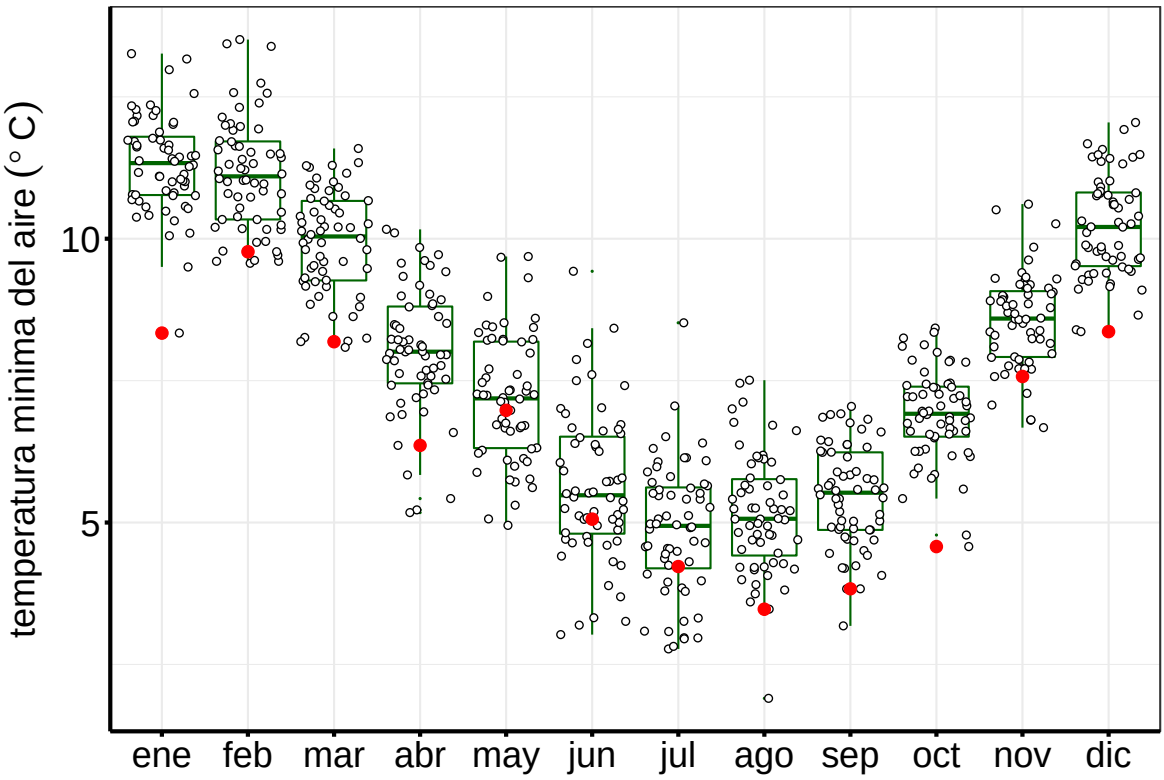


Figura 3.1. Patrón estacional de las temperaturas mínimas del aire en Valdivia. Los círculos negros con fondo blanco indican los valores mensuales promedio desde enero de 1960 a diciembre del año 2018 y los puntos de color rojo indican el valor correspondiente al año 2019.

Sin embargo, la componente tendencia (trend) de la serie presenta períodos con temperaturas altas y otros donde predominan temperaturas menores. En los últimos años se observa una caída alcanzando el 2019 el valor minimo de la serie (Fig. 3.2), la cual es coincidente con lo observado en la serie de temperaturas mínima del aire de la estación meteorológica del aeropuesto Pichoy de la DGAC (Fig.3.3).

El análisis de la componente de tendencia mediante un modelo lineal (Fig. 3.4 A), indica una tendencia suave de largo plazo (*p-value* = 1,054e-16). La prueba de Mann-Kendall sobre las anomalías estandarizadas indica que existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis de no tendencia (*tau*= -0,097 *p-value* = 0,00064), de manera que corrobora la tendencia suave de largo plazo detectada con el modelo lineal (Fig. 3.4 B).

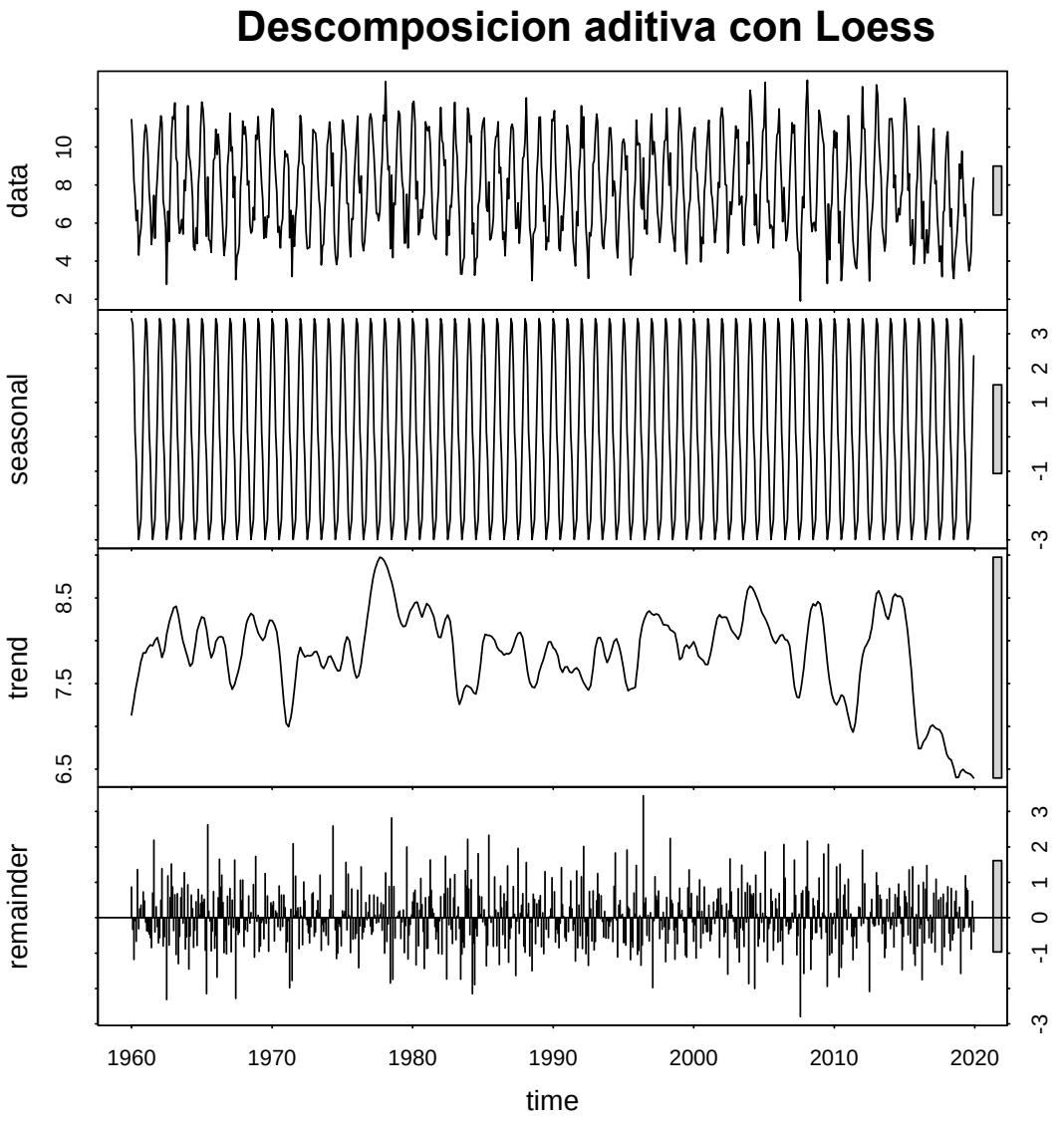


Figura 3.2. Descomposición aditiva con Loess de la serie de temperaturas mínimas del aire mensuales de la zona de Valdivia, desde enero de 1960 a diciembre de 2019.

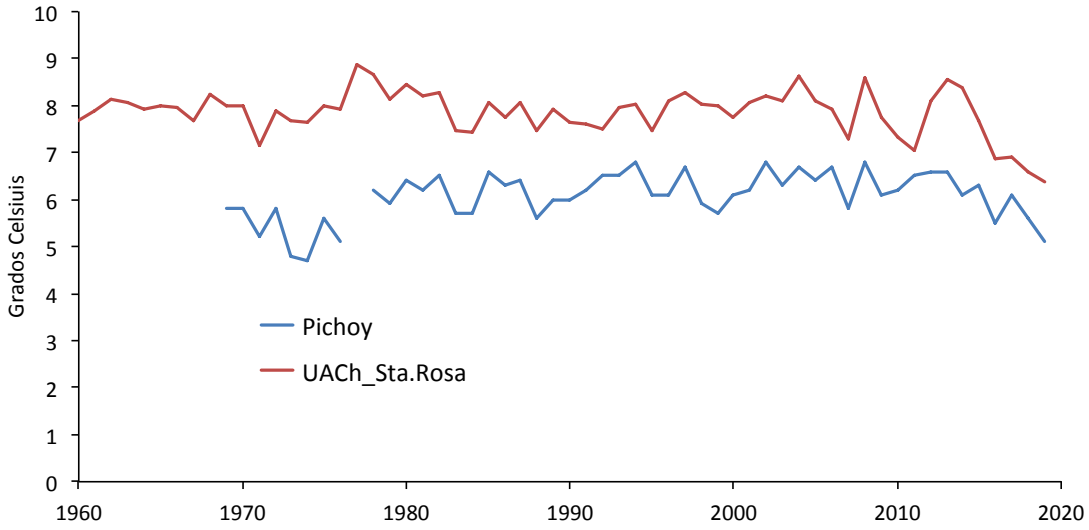


Figura 3.3. Comparación de tendencias de las series de temperaturas mínimas del aire mensuales de la zona de Valdivia (UACh_Sta. Rosa) y la observada en el aeropuerto Pichoy de la DGAC (Pichoy), entre enero de 1960 y diciembre de 2019.

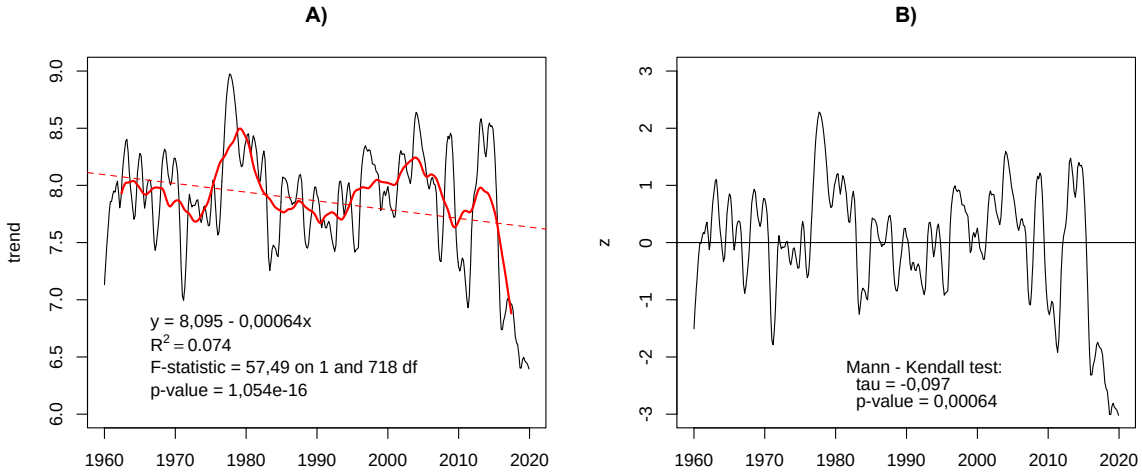


Figura 3.4. A) Componente de tendencia de las temperaturas mínimas mensuales en la zona de Valdivia desde 1960 a 2019, derivada de la descomposición por Loess. La línea roja continua indica el alisado de la serie para un periodo de 120 meses; la línea roja segmentada muestra el ajuste de un modelo lineal a la componente de tendencia.; **B)** Anomalías estandarizadas (z) de la componente de tendencia.

Variabilidad histórica anual

El ajuste de un modelo lineal a la serie 1960 - 2019 indica que las temperaturas mínimas anuales presentan una tendencia suave decreciente (Fig. 3.5 A, *p-value* = 0,0307),

y la aplicación de la prueba de Mann-kendall a las anomalías estandarizadas (Fig. 3.5 B) indican que esta tendencia suave decreciente no es estadísticamente significativa para el período analizado (tau= - 0,097, *p-value* = 0,275).

Durante todo el período se observa una importante variabilidad interanual registrándose al menos 7 eventos de mínimas. Entre los años 2016 a 2019, se observa una tendencia decreciente continua con inviernos muy helados. En el último año se registra el menor valor de la serie mayor a 3 deviaciones estándar. Al igual que en la serie mensual se observan fluctuaciones u oscilaciones de mayor escala, con periodos que podrían abarcar entre 10 a 11 años.

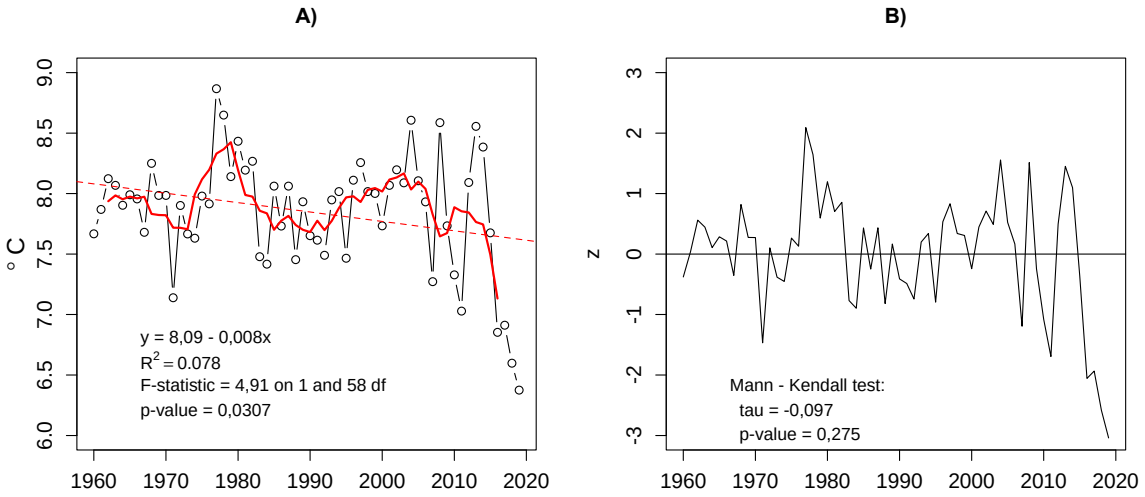


Figura 3.5. A) Temperaturas mínimas anuales promedios en la zona de Valdivia desde 1960 a 2019. La línea roja continua indica el alisado de la serie para un promedio móvil de 5 años; la línea roja segmentada muestra el ajuste de un modelo lineal a la serie; **B)** Anomalías estandarizadas (z) de la tendencia.

3.4.2. Precipitaciones

Datos

La serie de precipitaciones diarias comprende desde 1960 a 2019. Esta serie fue construida con datos de la estación Teja de la UACh (1960-2010). Entre el 1 enero de 2011

y 30 de abril del 2015 se usaron datos de precipitaciones diarias desde la Dirección Meteorológica de Chile, específicamente de la estación del Aeropuerto Pichoy, ubicada en la parte norte del área de estudio (39°39’03,96’’S; 73°04’54,12’’W) para completar la serie de la UACh y, desde 1 de mayo del año 2015 al presente se usaron los datos generados por la Estación Meteorológica Austral, ubicada en el fundo Santa Rosa de la UACh, sector Cabo Blanco, Valdivia; la cual se encuentra unida a la red de estaciones agrometeorológicas dependientes del INIA.

Variabilidad histórica mensual

El patrón de precipitaciones mensuales derivada de la serie histórica, muestra un ciclo anual bien definido caracterizado por un máximo invernal y un período estival con un monto significativamente menor de lluvia, tal como ha sido descrito en trabajos anteriores (*e.g.* UACh 2014-2018; Reyes 1981; Huber 1970).

Entre enero y marzo existe un lapso de bajas precipitaciones asociadas a la estación de verano, cuyos montos promedios no superan los 85 mm mensuales (Fig. 3.5). A partir de abril comienza a manifestarse un aumento de las lluvias, para alcanzar entre junio y agosto el período de máximas precipitaciones, asociado evidentemente a la estación de invierno. En este patrón histórico, la tasa de cambio mensual en las precipitaciones aumenta a partir de abril; sin embargo, en algunos años, el período de bajas precipitaciones se ha extendido hasta abril (Fig. 3.5).

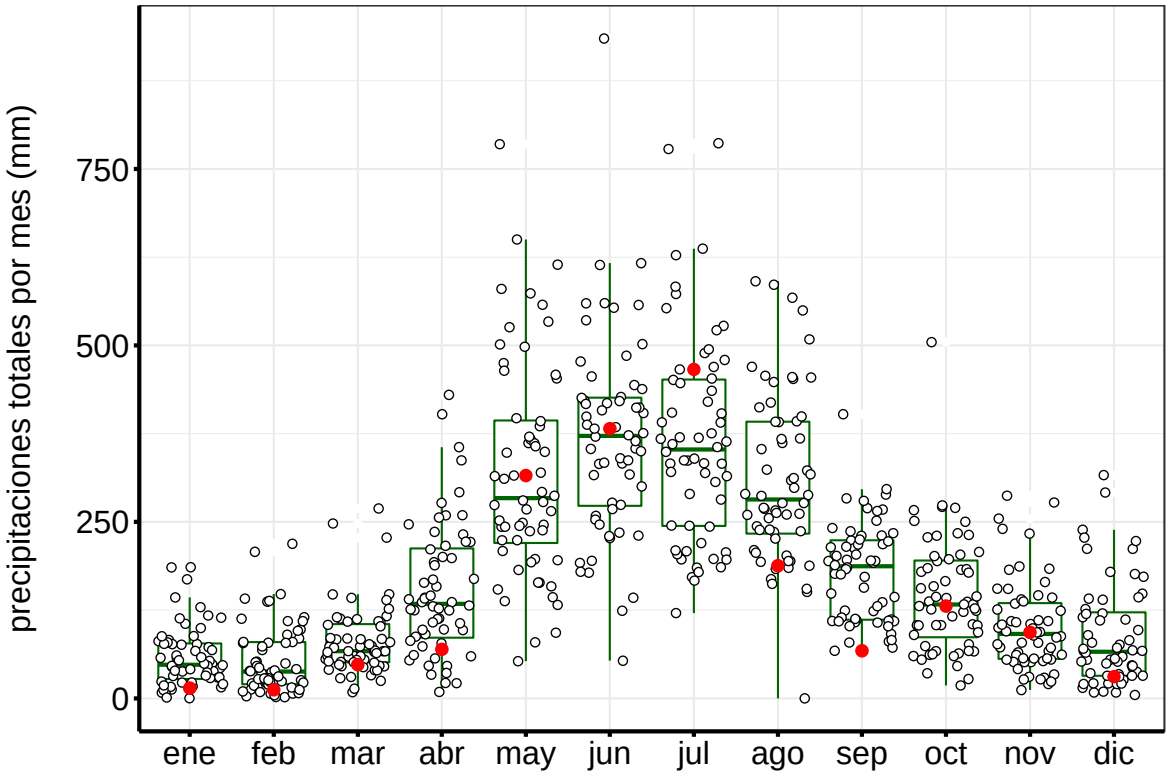


Figura 3.6. Variabilidad mensual y patrón histórico estacional de las precipitaciones registradas entre 1960 y 2019 en Valdivia. Los círculos negros con fondo blanco indican las precipitaciones mensuales desde enero de 1960 a diciembre de 2018; los puntos de color rojo indican el valor correspondiente al año 2019. Fuente de datos: UACh, complementados con datos de la Dirección Meteorológica de Chile.

Precipitaciones enero - diciembre de 2019

El 2016, año en que ocurrió el mínimo histórico anual practicamente todas las precipitaciones mensuales estuvieron bajo el promedio histórico (1960-2015). En el año 2017, solo las precipitaciones mensuales del mes de febrero, agosto y octubre fueron mayores al promedio histórico. En agosto de este año las precipitaciones ocurridas alcanzaron los 590,9 mm, lo que representó el 26,73% del total anual ocurrido en Valdivia. En el año 2018 se presentó un patrón de precipitaciones mensuales diferentes, donde destacan la gran cantidad de agua caída en marzo y abril, como las bajas precipitaciones de mayo a julio y, las precipitaciones por sobre el promedio histórico entre agosto y noviembre. En los años 2017 y 2018 ocurrieron precipitaciones que superaron levemente el nivel de año normal. El año 2019, fue un año seco ya que la mayoria de las lluvias

mensuales estuvo bajo media histórica (1960-2015) y sólo las precipitaciones ocurridas en julio y agosto fueron similares o superiores a este nivel. Los meses de agosto y septiembre presentaron la mayor diferencia con el promedio 1960-2015 (Fig. 3.7).

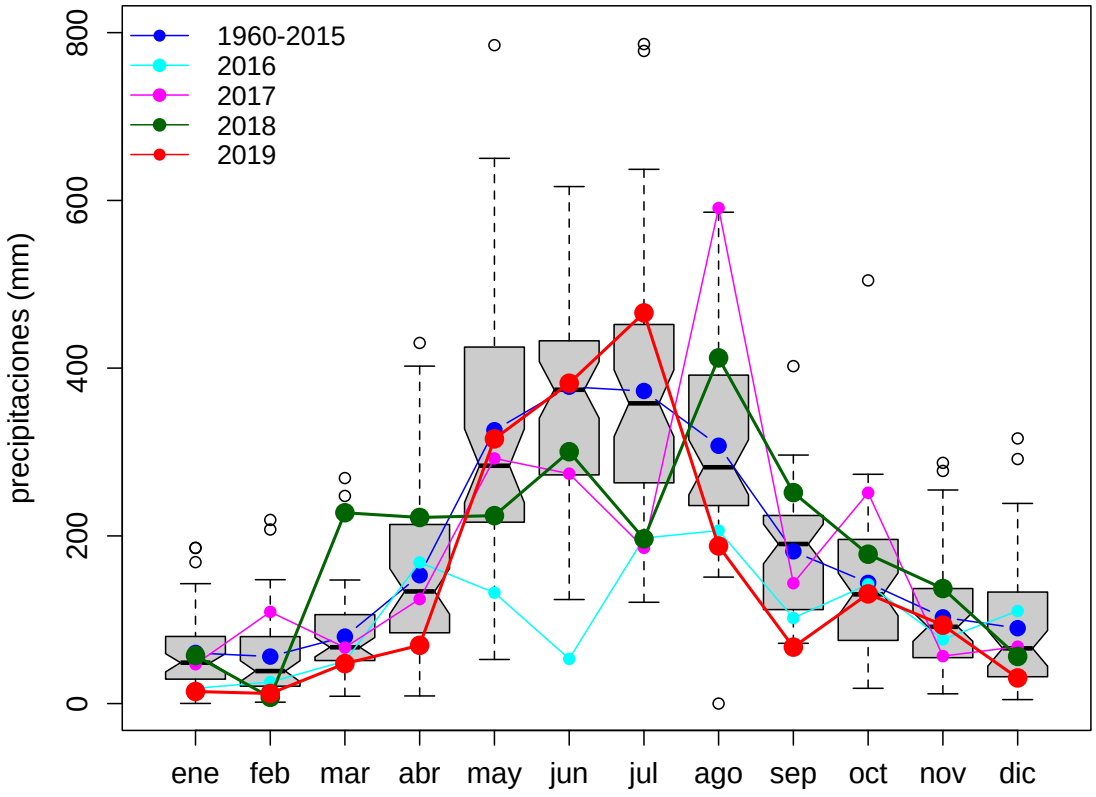


Figura 3.7. Patrón histórico estacional de las precipitaciones medias mensuales registradas entre 1960 y 2015 en Valdivia y precipitaciones mensuales de los últimos 4 años (2016, 2017, 2018 y 2019).

Descomposición de la serie mensual

La descomposición de la serie mensual de precipitaciones mediante Loess (Local polynomial regression fitting) detectó claramente la estacionalidad, tan evidente de las precipitaciones en la región de Los Ríos, sin que se observe una tendencia evidente de disminución de la pluviosidad entre los años 1960 y 2019 (Fig. 3.7). Sin embargo, en la parte más reciente de esta serie se observó una disminución persistente de las precipitaciones entre el año 2004 y 2016, cubriendo un lapso entre 10 a 15 años y una recuperación en el año 2017 y 2018 y una caida en el año mas reciente (Fig. 3.8).

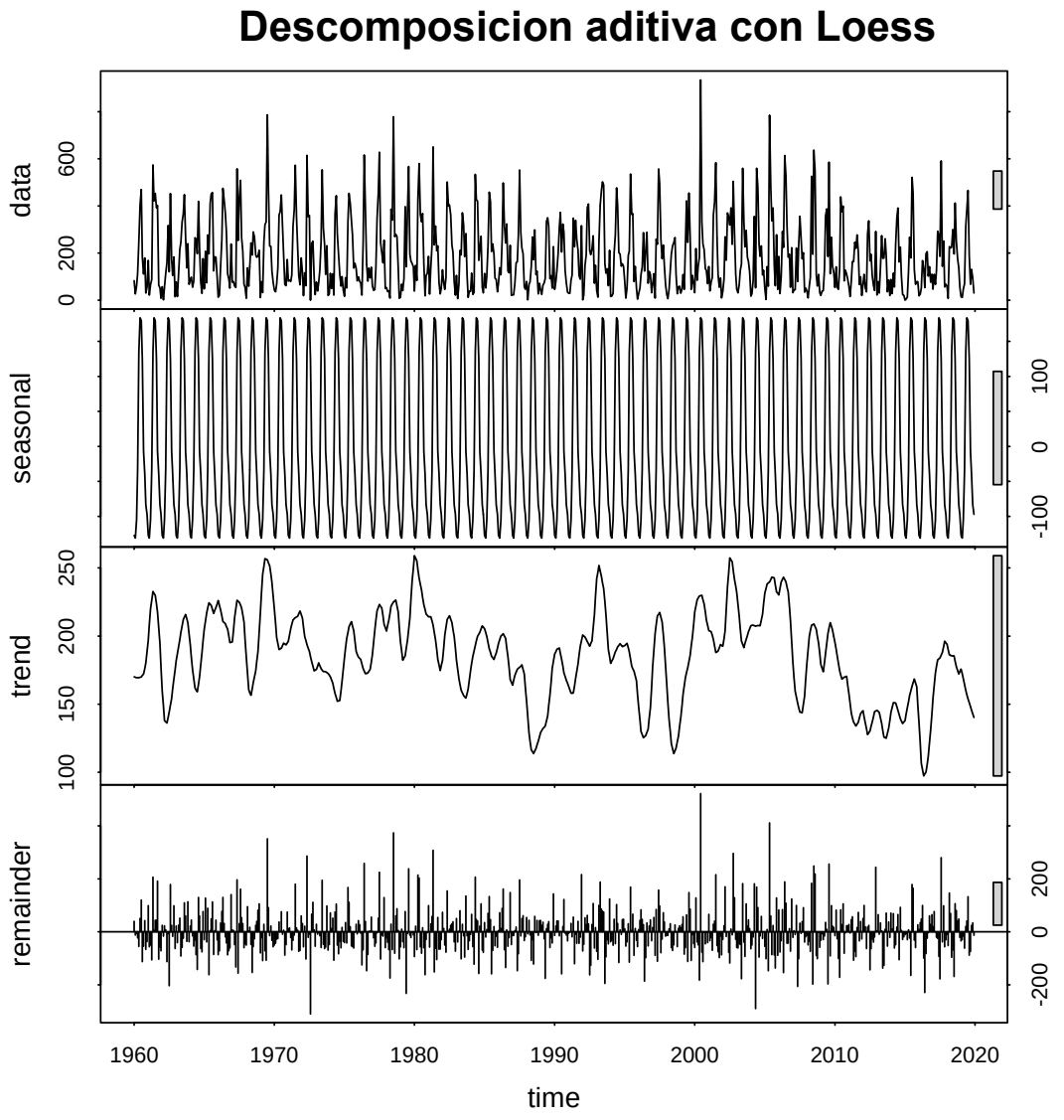


Figura 3.8. Descomposición aditiva con Loess de la serie de precipitaciones mensuales de la zona de Valdivia desde 1960 al 2019, compuestas por la serie UACh y complementada con datos de la estación Aeropuerto Pichoy.

El análisis de la componente de tendencias (trend) de la serie de precipitaciones, indica que además de las fluctuaciones estacionales, existen otras de mayor período con ciclos de 120 a 156 meses, que originarían en la escala decadal oscilaciones en torno a un nivel medio que decrece hacia los años recientes (Fig. 3.9 A). El ajuste de un modelo lineal y la prueba de Mann-Kendall (Fig. 3.9 B) indican que los datos no soportan la hipótesis nula

de pendiente cero (*p-value* = 6,29e-16) o no tendencia (*tau* = - 0,187, *p-value* = 6,46e-14), respectivamente. En otras palabras ambos análisis indican la presencia de una tendencia decreciente de largo plazo de las precipitaciones.

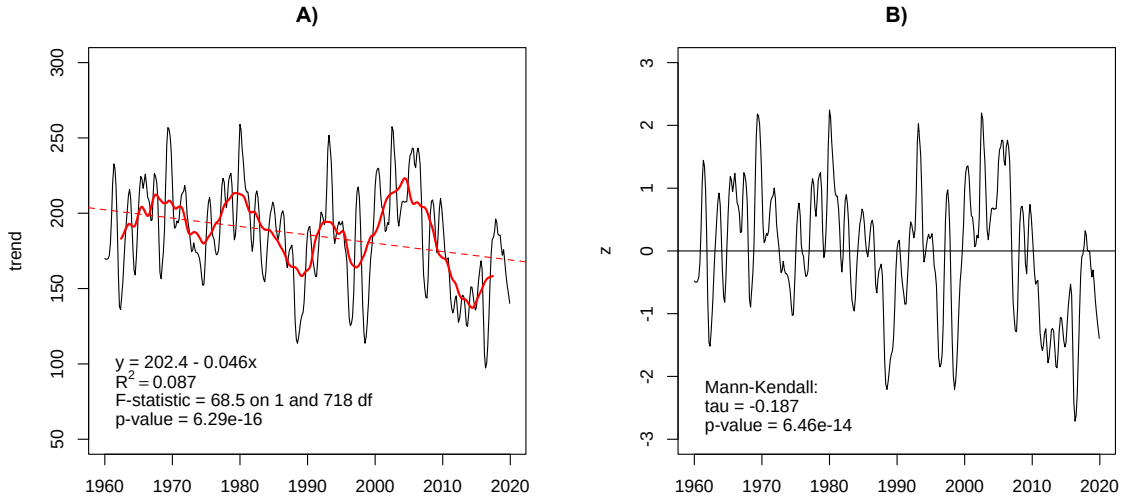


Figura 3.9. A) Componente de tendencia (trend) de la serie mensual de las precipitaciones en la zona de Valdivia desde 1960 a 2019, obtenida mediante descomposición aditiva con Loess. La línea roja indica un alisado lineal de la serie con periodo entre 120 a 136 meses. La línea roja segmentada indica el ajuste de un modelo lineal a la tendencia (trend). **B)** Anomalías estandarizadas (z) de la tendencia (trend) y test Mann – Kendall.

Variabilidad histórica anual

Las precipitaciones anuales en Valdivia, presentan también una evidente variabilidad interanual, detectándose una leve tendencia a disminuir en el período 1960 a 2019 (Fig. 3.10 A). El análisis de esta serie mediante un modelo lineal muestra que la tendencia observada es estadísticamente significativa, aunque muy cercana al nivel de significancia de 0,05 (*p-value* = 0,031). La prueba de Mann – Kendall sobre las anomalías estandarizadas de la serie indica que no existe evidencia suficiente en los datos para soportar la hipótesis de no tendencia (*tau*= - 0,183 *p-value* = 0,039), de modo que las variaciones observadas en las precipitaciones anuales en el período 1960 a 2019 siguen un patrón aleatorio con tendencia (Fig. 3.10 B).

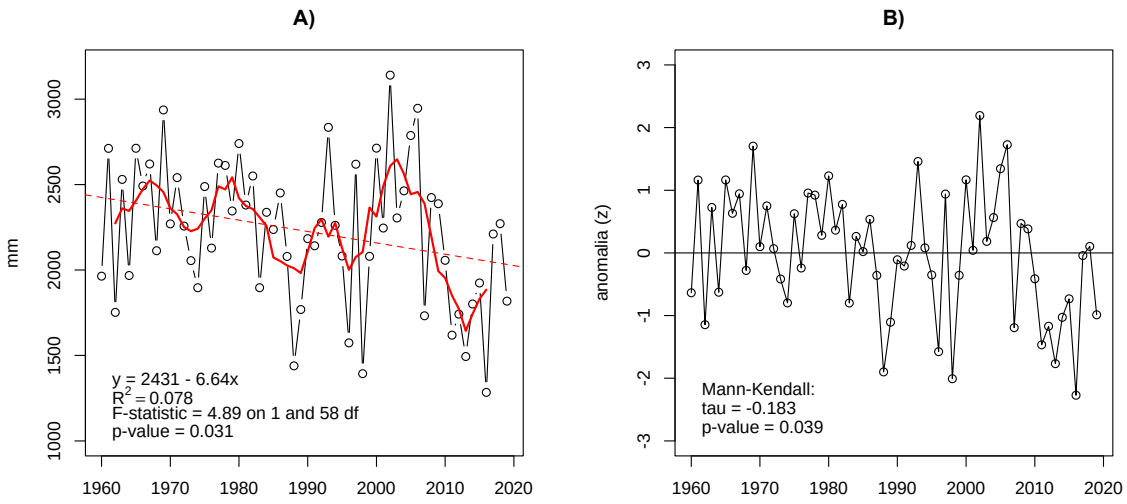


Figura 3.10. A) Serie anual de las precipitaciones en la zona de Valdivia desde 1960 a 2019, compuestas por la serie UACh y complementada con datos de la Dirección Meteorológica de Chile (estación Aeropuerto Pichoy). La linea roja indica un suavizado lineal de 6 años. La línea roja segmentada corresponde al ajuste de un modelo lineal a los datos, **B)** Anomalías estandarizadas (z) de las temperaturas medias anuales.

Años con precipitaciones bajo el promedio global fueron más frecuentes en los últimos 30 años (1989-2019). En este período los valores extremos de precipitaciones fueron más acentuados alcanzando cifras menores a 1500 mm y también mayores a los 3000 mm; lo cual es coincidente con el cambio de frecuencia e incremento de bajas precipitaciones durante el siglo XX[1], en particular durante la segunda mitad de dicho siglo (González-Reyes & Muñoz , 2013).

En esta serie, se observan fluctuaciones cíclicas de 10 a 13 años entre períodos de mayores y menores precipitaciones (Fig. 3.10 A). Asimismo, se perciben al menos dos períodos con una clara tendencia decreciente. El primero entre los años 1978 y 1988 y el segundo entre los años 2003 y 2019. En este último, destaca la caída importante de las precipitaciones en los últimos años, alcanzando en el 2016 el menor valor entre 1960 y 2019.

[1] Siglo XX: 1 enero de 1901 y 31 diciembre 2000

La declinación global detectada en la serie anual de precipitaciones desde el año 1900 al 2019 (Mann-Kendall *tau* = -0.257, *p-value* = 3.28e-5), mostrada en la Figura 3.11, concuerda con la disminución anual de las precipitaciones señaladas por CONAMA (2007), Quintana & Aceituno (2012), González-Reyes & Muñoz (2013) y en los informes anteriores (UACh 2016, 2017 y 2018). Esto indica que la tendencia de las precipitaciones anuales en el período 1960 - 2019, recogen a pesar de lo corto de la serie, la tendencia de largo plazo.

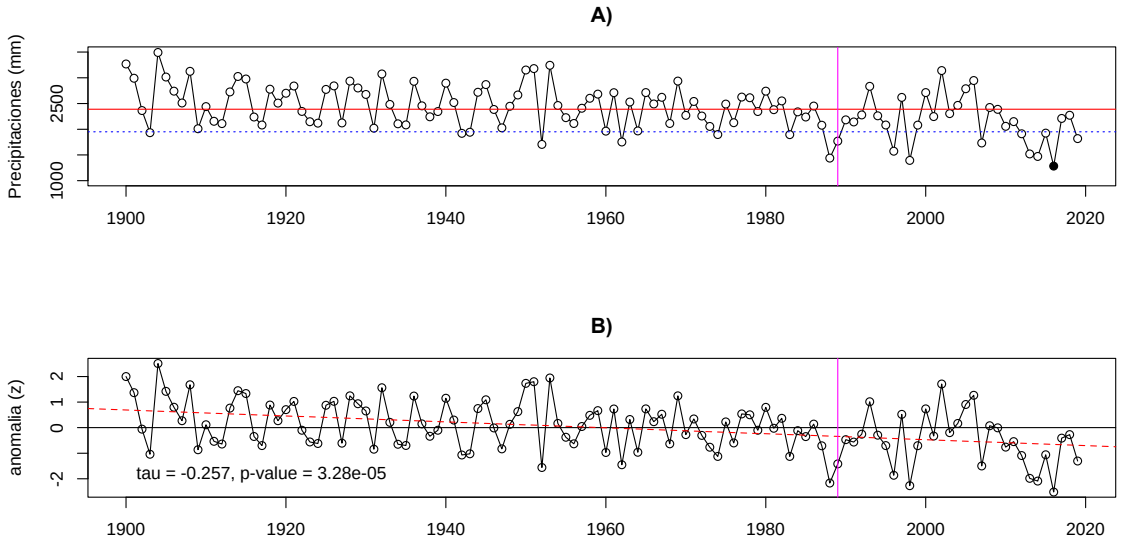


Figura 3.11. A) Serie anual de precipitaciones en Valdivia desde 1900 a 2019 y **B)** serie de anomalías estandarizadas para el mismo período. Las líneas rojas horizontales indican el promedio e intervalos de confianza de la media. La línea azul segmentada en A) indica en nivel de pluviosidad para un año normal según la Dirección Meteorológica de Chile, la línea roja vertical representa un año de referencia y el punto de color negro señala el valor mínimo histórico de precipitaciones de la series (120 años). La línea segmentada en B) señala la tendencia lineal de la serie de anomalías. Los datos para el período 1900 a 1959 fueron obtenidos desde González-Reyes & Muñoz (2013) y desde 1960 a 2019 los recopilados en este estudio.

Esta serie también muestra que: 1) en el período (1901 - 2000) ocurrieron 6 casos con precipitaciones bajo el nivel de un año normal, lo que arroja una probabilidad de 0,06 (6/100), 2) en los primeros 19 años del siglo XXI[2] (2001 - 2019) han ocurrido 5 casos con precipitaciones menores a un año normal con una probabilidad de ocurrencia de 0,26 y,

[2] Siglo XXI: 1 enero de 2001 y 31 diciembre 2100

cuatro de ellos en los últimos 10 años (2010 - 2019) con una probabilidad de 0,4 y 3) el nivel de precipitaciones del año 2016 es el mínimo registrado en 120 años, con 1247 mm de agua caída (Fig. 3.11 A). Esto demuestra una clara intensificación de la disminiución de las precipitaciones anuales en los años recientes.

Quintana & Aceituno (2012) sostienen que una tendencia negativa ha prevalecido a través del siglo XX intensificándose durante los 80 y principios de los 90, señalando que este rasgo también fue descrito por Rusticucci & Penalba (2000) y Quintana (2004), respecto de la evolución de las lluvias en Valdivia. González-Reyes & Muñoz (2013) detectaron un decrecimiento anual, estacional y mensual desde el año 1901 al 2005, e indican que esta reducción de las precipitaciones ha sido acompañada de una extensión de las condiciones estivales hacia parte del otoño y de una mayor concentración de las precipitaciones en invierno.

3.4.3. Caudal hídrico del río Cruces

Datos

La serie de datos diarios del caudal del río Cruces proviene de la Dirección General de Aguas (DGA), específicamente desde la estación Rucaco abarcan desde el 1 de enero de 1970 al 31 de diciembre de 2019. Esta serie presentó algunos períodos con datos faltantes, los cuales fueron necesario rellenar para obtener una serie con datos continuos. El relleno se llevó a cabo seleccionando un valor aleatorio entre los dos valores más cercanos correspondientes al día y mes del año anterior y posterior al dato faltante, lo que equivale a un muestreo aleatorio desde una distribución uniforme.

Variabilidad histórica mensual

Los valores históricos y presentes de caudal del río Cruces en el sector de Rucaco, muestran un claro patrón estacional a lo largo del año (Fig. 3.12), distinguiéndose un período de bajos caudales desde enero hasta abril, con una baja dispersión. En mayo, el caudal comienza a aumentar rápidamente para alcanzar su máximo en el mes de julio,

donde también se observa una alta dispersión o variabilidad en los valores entre años. En agosto los caudales continuan altos y a medida que se aproxima la primavera los caudales disminuyen a una tasa constante hasta diciembre, al igual que su dispersión.

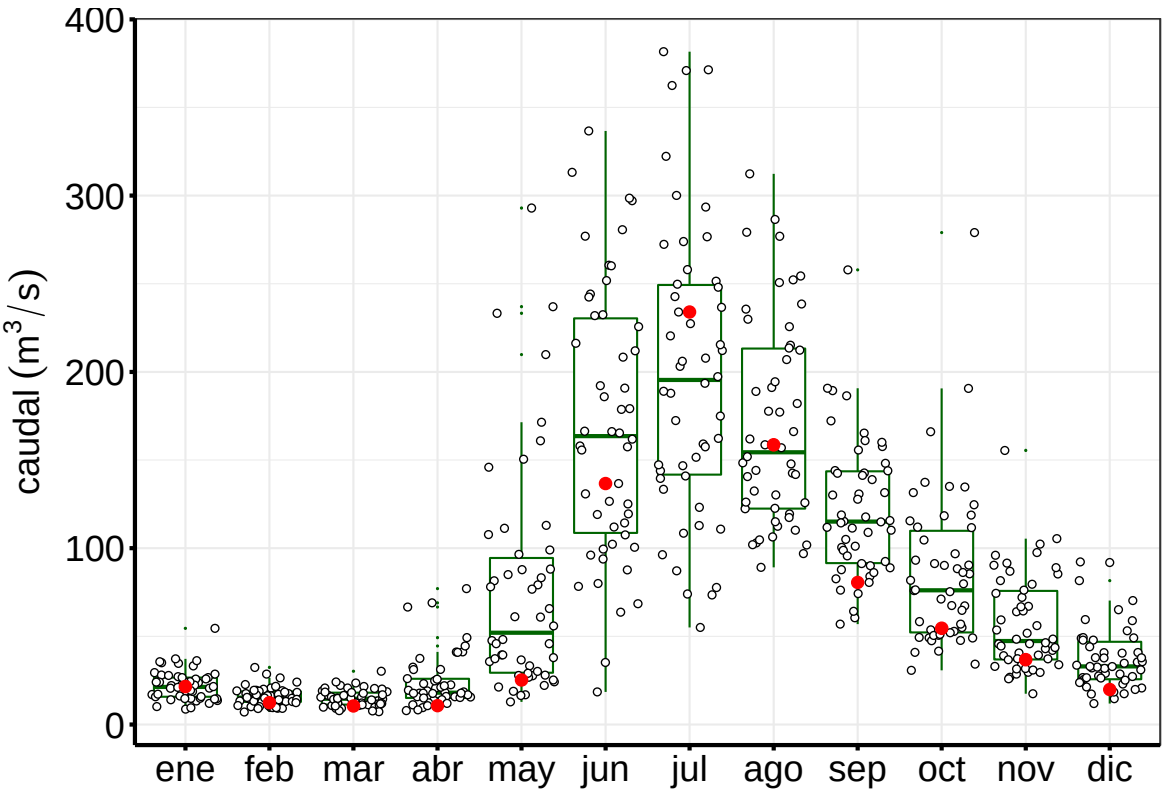


Figura 3.12. Patrón histórico estacional del caudal hídrico del río Cruces en el sector de Rucaco, obtenido a partir de datos diarios registrados por la Dirección General de Aguas entre el 1 de enero de 1970 y el 31 de diciembre de 2019. Los círculos negros vacíos indican los caudales promedios mensuales por año desde enero de 1960 a diciembre 2018 y los puntos de color rojo indican el valor correspondiente al año 2019.

El caudal del río Cruces está claramente correlacionado al patrón estacional de precipitaciones (Correlación Pearson = 0,78, df = 48, *p-value* = 2,625e-11). La relación entre el caudal promedio anual del río Cruces en Rucaco y las precipitaciones anuales en Valdivia (1970 y 2019) es positiva y puede ser representada por el modelo lineal indicado la Fig. 3.13; el cual es estadisticamente significativo (*p-value* = 2,625e-11) y explica el 61 % de la variablidad observada (R^2 = 0,61).

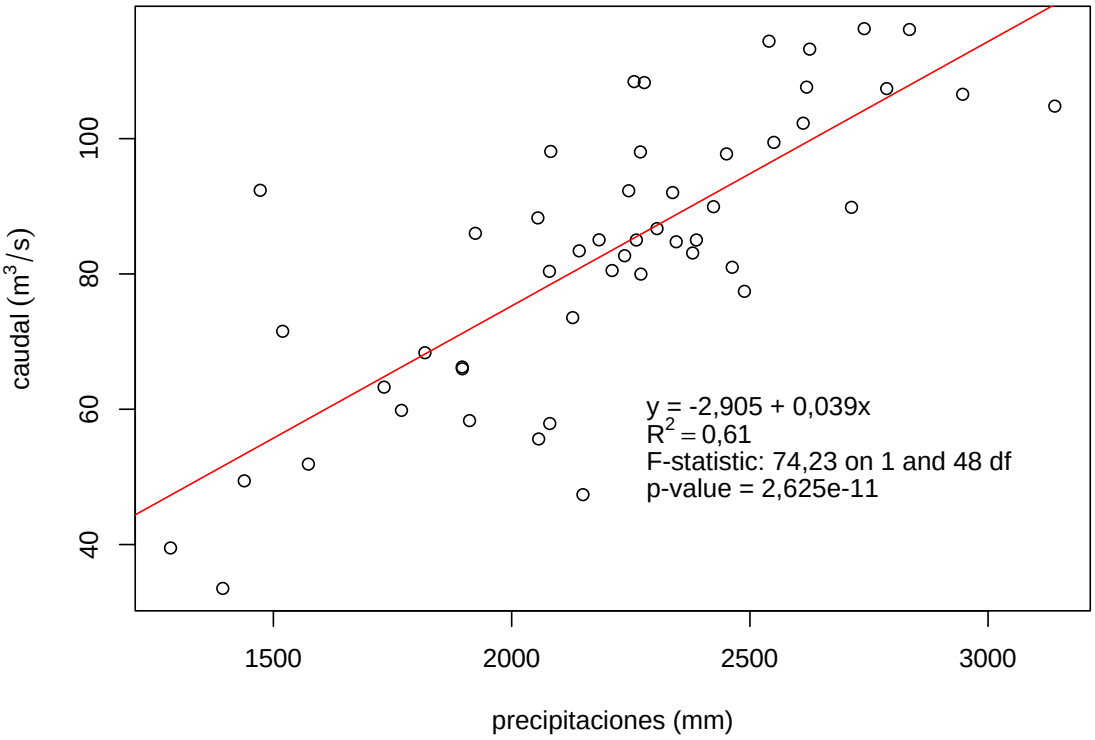


Figura 3.13. Relación lineal entre el caudal promedio del río Cruces (sector Rucaco) y las precipitaciones anuales en la zona de Valdivia.

Descomposición de la serie mensual

La descomposición con Loess de la serie mensual muestra claramente la estacionalidad y, la tendencia mensual en los caudales medios del río Cruces en Rucaco (Fig. 3.14). La serie de 49 años muestra la alternancia de períodos con mayores y menores flujos hídricos y una aparente tendencia a disminuir hacia los años más recientes.

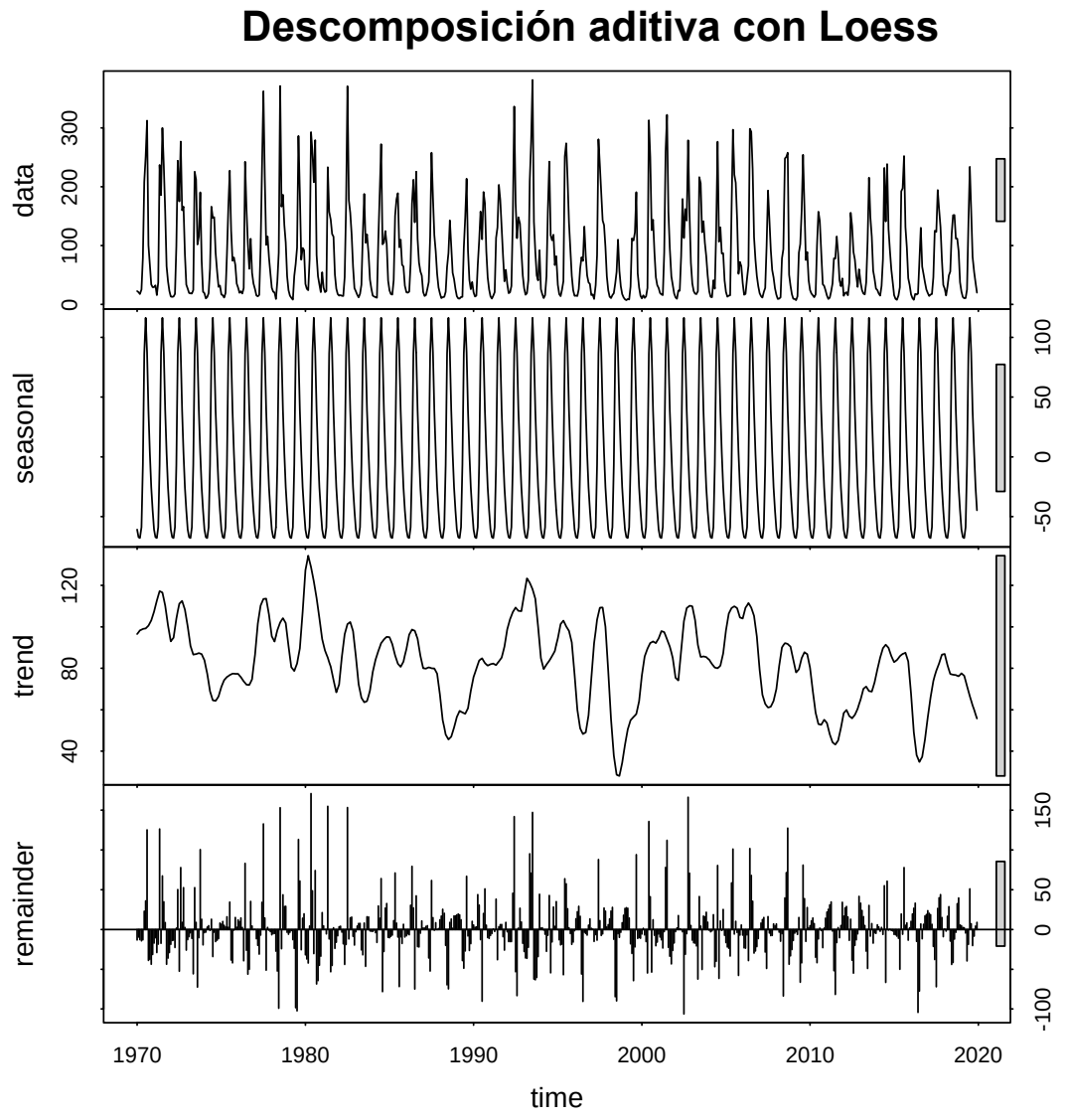


Figura 3.14. Descomposición aditiva con Loess de la serie de caudales medios mensuales en Rucaco desde el 01 enero 1970 al 31 diciembre de 2019, a partir de datos de la Dirección General de Aguas.

La alternancia de períodos con altos y bajos caudales de escala mayor a la estacional se observa de forma más clara en la Figura 3.15 A), los cuales emergen luego del alisado de la tendencia (trend) con períodos entorno a los 11 años.

La componente de tendencia (trend) de la serie de caudales medios, aparentemente disminuye de manera suave. El ajuste de un modelo lineal a los datos indica que la tendencia observada es significativa (R^2 = 0,12; *p-value* = < 2,2e-16) tal como se muestra en la Figura

3.15 A). Similar resultado entrega la prueba de Mann-Kendall a las anomalías estandarizadas de la tendencia (Fig. 3.15 B). Estos resultados se ajustan o correlacionan con la tendencia observada en las precipitaciones (*cf.* Fig. 3.10 y 3.11).

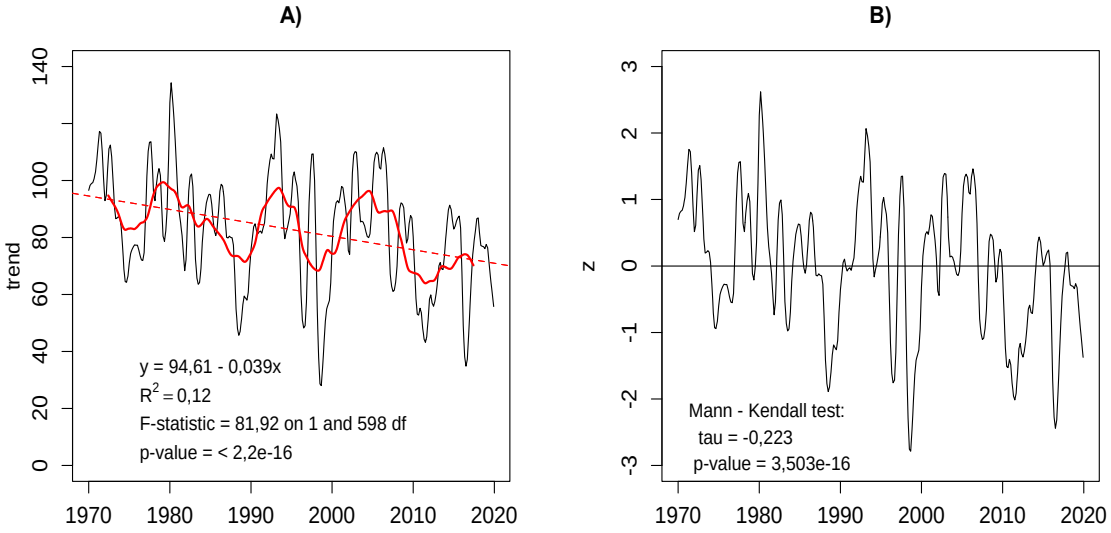


Figura 3.15. A) Componente de la tendencia (trend) obtenida a partir de la descomposición aditiva con Loess de la serie de caudales medios mensuales del río Cruces en Rucaco entre 1970 y 2019. La línea roja continua indica el suavizado de la serie para un período de 120 meses y la línea roja segmentada muestra el ajuste de un modelo lineal a la tendencia (trend). **B)** Anomalías estandarizadas (z) de la tendencia (trend) de los caudales medios mensuales y test de Mann-kendall.

Variabilidad histórica anual

La descomposición de la serie anual de caudales promedios no pudo hacerse con Loess pues esta serie no presenta una estacionalidad definida. Al igual que la serie mensual, la serie anual muestra tramos de 10 a 13 años con caudales altos y bajos y, una aparente disminución de los caudales promedios anuales hacia los años más recientes. El ajuste de un modelo lineal a los datos observados señala que esta tendencia es significativa (R^2 = 0,11; *F* = 5,99 con 48 gl; *p-value* = 0,0182) tal como se muestra en la Figura 3.16 A). El análisis de la tendencia de las anomalías estandarizadas anuales con la prueba de Mann-Kendall (*tau* = - 0,22; *p-value* = 0,025) indica que existe evidencia en los datos para rechazar la hipótesis

nula de no tendencia (Fig. 3.16 B). Estos resultados son lógicos, dada la relación directa entre caudal y precipitaciones y la disminución de las precipitaciones hacia los años más recientes (Fig. 3.11).

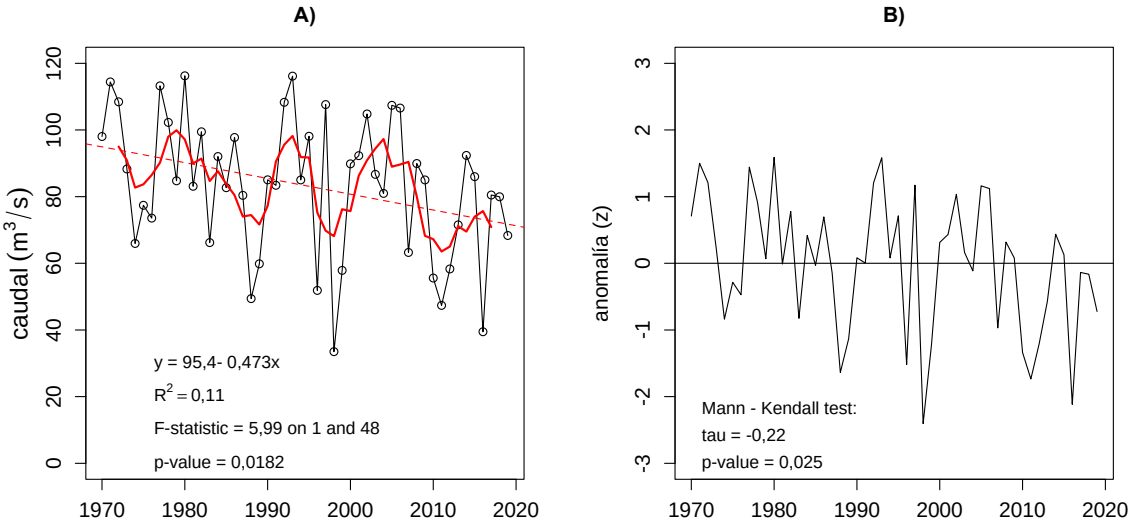


Figura 3.16. A) Serie de caudales medios anuales del río Cruces en Rucaco entre 1970 y 2019. La línea roja continua indica el alisado de la serie para un promedio móvil de 5 años y la línea roja segmentada el ajuste de un modelo lineal; B) Anomalías estandarizadas (z) de la componente de tendencia (trend) y test Mann – Kendall.

3.4.4. Nivel del espejo de agua

Datos

Se analizó una serie de datos diarios del nivel del espejo de agua desde el 1 enero del 2000 al 31 de diciembre de 2019, recopilados en la estación hidrológica de Rucaco, de la Dirección General de Aguas. La serie en cuestión fue construida considerando todas las mediciones diarias y desde las cuales se obtuvo el nivel mínimo para efecto del análisis. Datos faltantes para días específicos fueron rellenados con un valor aleatorio obtenido desde una distribución uniforme, restringido a los valores medidos en el día anterior y posterior más próximo.

Variabilidad histórica mensual

Como era lógico se observó un claro patrón estacional a lo largo del año. En la estación estival los niveles o altura del espejo de agua en Rucaco fueron bajos, principalmente en febrero y parte de marzo. A mediados de abril el nivel de las aguas comienza un marcado y vertiginoso aumento para alcanzar durante julio y agosto sus mayores niveles. Con la llegada de la primavera la altura del agua comienza a disminuir para alcanzar en el verano los menores valores (Fig. 3.17).

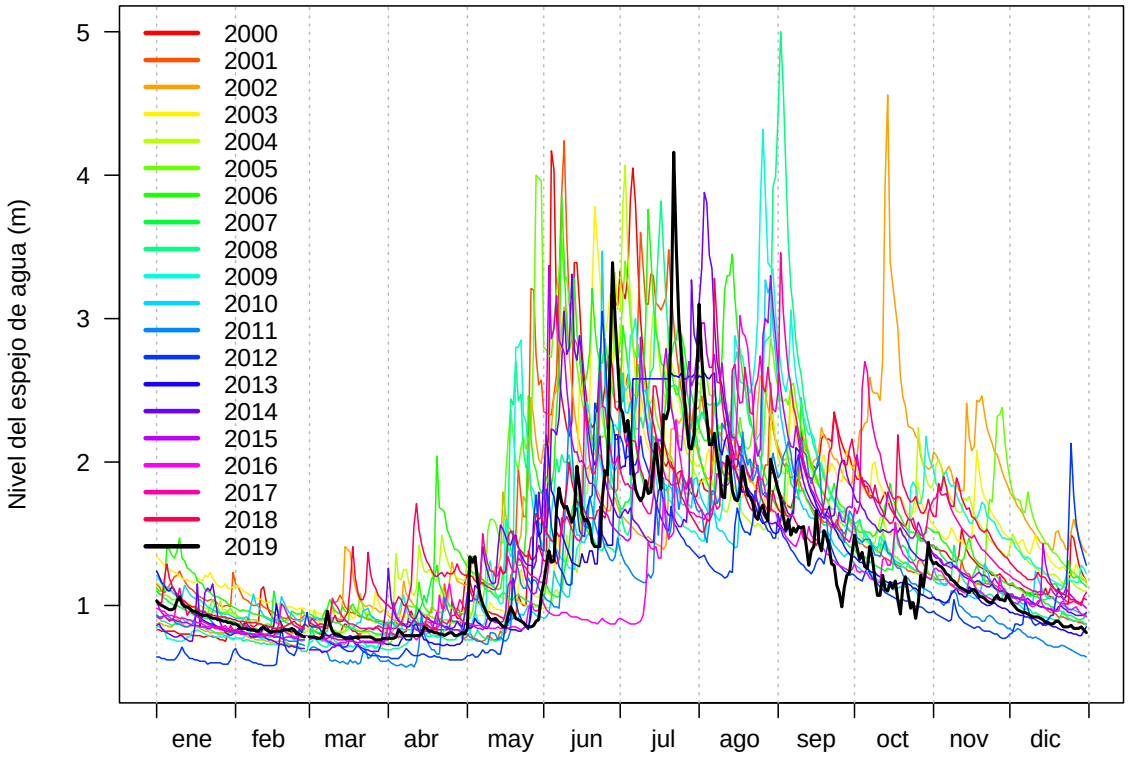


Figura 3.17. Patron y variabilidad diaria del nivel del espejo de agua en el sector de Rucaco, río Cruces, entre el año 2000 y 2019.

Las menores alturas del espejo de agua ocurrieron hacia los años más recientes de la serie; específicamente, entre los años 2011 a 2016, durante el verano (Fig.3.17). Aumentos esporádicos del nivel del espejo de agua durante la estación de primavera e

inicios de verano (octubre - diciembre), ocurrieron en el año 2002, debido al período lluvioso entre el 30 de septiembre y 18 de octubre, en el cual, el día 12 y 13 de octubre registraron precipitaciones excepcionales de 155,7 mm y 62,4 mm; respectivamente. En este mismo año los picks de noviembre y diciembre, también pueden ser explicados por sendas precipitaciones ocurridas. Idéntica causa se detecta para los picks de diciembre de 2006 y diciembre de 2012.

En el 2019 se observaron 3 pick importantes en el nivel del espejo de agua, asociados evidentemente a las altas precipitaciones ocurridas entre el 21 y 26 de junio, el segundo al agua caída entre el 16 y 21 de julio y, el tercero entre el 29 y 30 de este mismo mes.

Correlación entre altura del espejo de agua y precipitaciones

La correlación de Pearson entre la tendencia del nivel (altura) del espejo de agua y la tendencia de las precipitaciones, sin ser un indicador de causalidad, muestra una alta y estadisticamente significativa asociación entre ambas tendencias (Fig. 3.18).

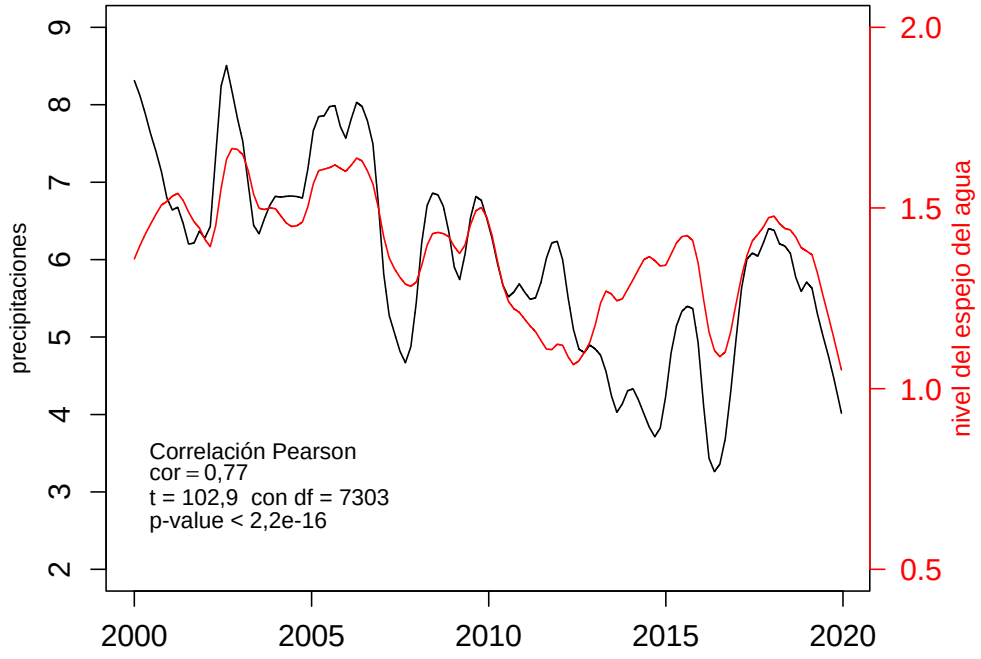


Figura 3.18. Correlación entre la tendencia de las precipitaciones diarias y tendencia del nivel del espejo de agua del río Cruces en Rucaco, entre el 1 de enero de 2000 y el 31 diciembre de 2019

Descomposición de la serie diaria

La serie diaria de altura del espejo de agua en Rucaco muestra la estacionalidad esperada, dada su evidente correlación con las precipitaciones mostrada en la Figura 3.18, para los valores medios entre ambas variable. En la componente de tendencia (trend), se observa una declinación importante entre el año 2007 y 2012. Entre los años 2013 y 2019 se observan dos ostensibles fluctuaciones de amplitud 3 a 4 años en un nivel menor a las observadas antes del año 2007 (Fig. 3.19).

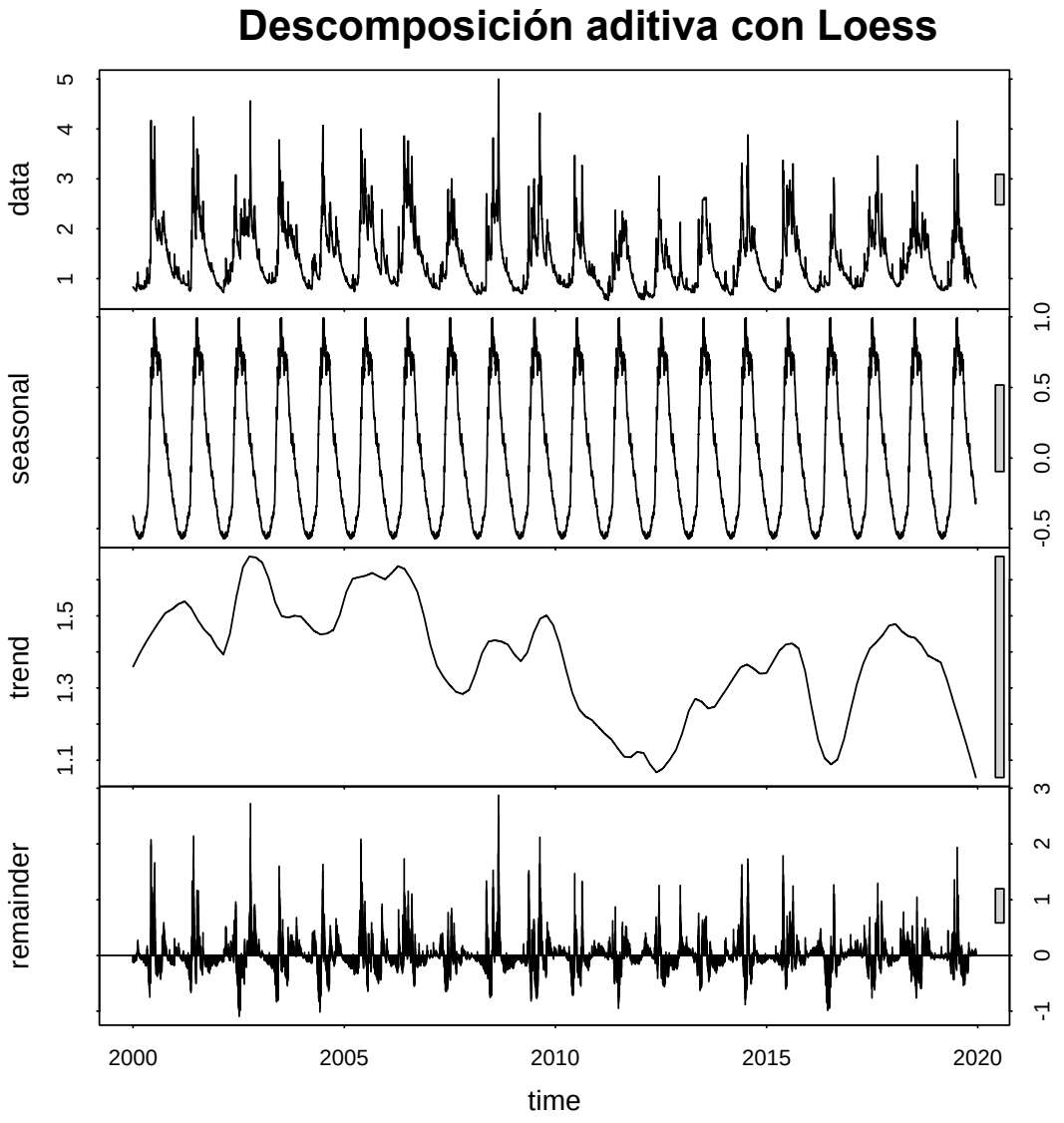


Figura 3.19. Descomposición aditiva de la serie de altura diaria del espejo de agua en el sector de Rucaco, río Cruces, entre el año 1 enero de 2000 y 31 de diciembre de 2019.

Un análisis más detallado de la señal de tendencia (trend), mediante el ajuste de un modelo lineal y la aplicación de la prueba de Mann-Kendall a las anomalías entandarizadas, ratifican lo señalado anteriormente (Fig. 3.20 A) y Fig. 3.20 B)). La serie presenta una disminución hacia los años más recientes, coincidente con la tendencia observada en las series mensual y anual de precipitaciones (Figs. 3.9 y 3.10).

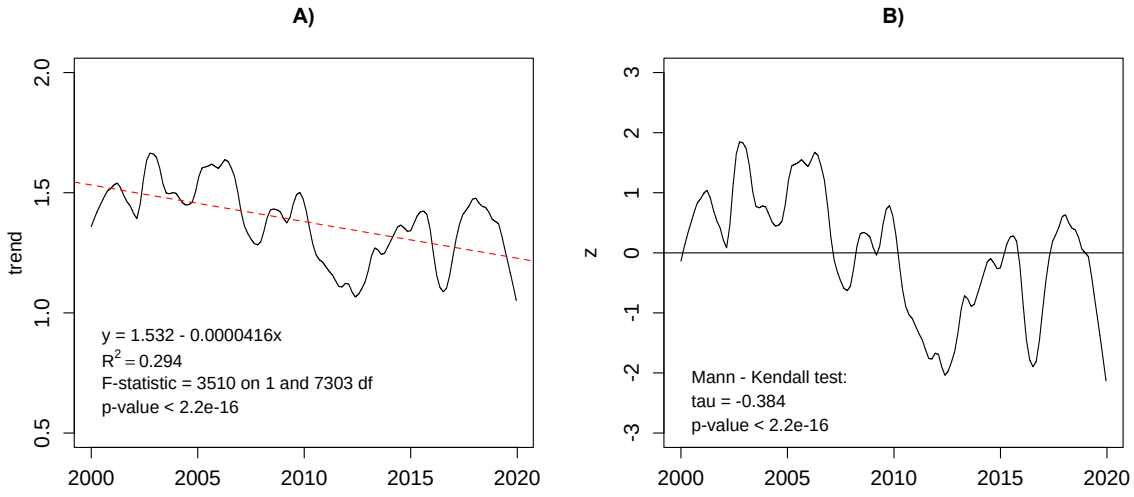


Figura 3.20. A) Componente de tendencia (trend) de altura diaria del espejo de agua del río Cruces en Rucaco entre el 1 de enero de 2000 y el 31 de diciembre de 2019. La línea roja segmentadaseñala el ajuste de un modelo lineal y, **B)** Anomalías estadarizadas (z) de la serie y test de Mann - Kendall.

3.5. Conclusiones

- En general las conclusiones indicadas en los informes de seguimiento del HRC del año 2016, 2017 y 2018 se mantienen (UACh 2017, UACh 2018). Lo más relevante en este nuevo periodo es que: 1) la pluviosidad del año 2019 fue menor al observado el 2018 y al nivel de referencia de un año normal (1871 mm, establecido por la Dirección Meteorológica de Chile) e inferior al promedio histórico general ($\bar{x}$=2395 mm, IC =[2315 - 2474]) hasta el año anterior y, 2) las máximas precipitaciones acumuladas ocurrieron en julio y no en agosto como ocurrió los años 2017 y 2018.
- Las temperaturas mínimas del aire registradas desde 1960 a 2019, mostraron la estacionalidad característica de la zona valdiviana y descrita en los informes anteriores. Estas comienzan a disminuir en otoño, específicamente en el mes de marzo, para alcanzar su mínimo en julio (*ca.* 5^{o}C) y luego comenzar su ascenso a partir de septiembre.
- La variación promedio de las temperaturas mínimas mensuales a través de los años mostró una tendencia a disminuir arrastrada por los últimos cuatro años. A nivel anual, la temperatura mínima del aire mostró la misma tendencia observada en los análisis anteriores; con fluctuaciones a nivel de décadas en torno al promedio sin una tendencia secular.
- La serie histórica mensual de precipitaciones (1960 - 2019), mostró un claro y típico patrón de estacionalidad de la zona valdiviana. Las lluvias comienzan a incrementar en otoño, específicamente hacia fines de abril, para alcanzar su máximo entre junio y agosto.
- Fuera de la estacionalidad típica de las precipitaciones en la zona de Valdivia y en el HRC, se observó, tanto en la serie mensual como anual, fluctuaciones con tendencia en la escala 10 a 13 años.
- Las precipitaciones totales en la zona de Valdivia mostraron una disminución significativa entre 1960 y 2019, y con el decrecimiento significativo de las precipitaciones anuales desde 1901 al 2005.

- Durante los últimos años se ha observado un aumento de eventos con pluviosidades menores al promedio histórico de la serie (1901-2018) y al normal anual de la Dirección Meteorológica de Chile (1871 mm), con un incremento de los valores extremos. Durante el año 2019, las precipitaciones volvieron a caer de manera que el incremento observado el 2017 y 2018 no logran minar la declinación de largo plazo.
- El 2016 se ha mantenido en el año con la menor pluviosidad histórica en 120 años (1901 – 2019), y también se constituye en el mínimo global para el registro completo de precipitaciones en Valdivia entre 1853 y el 2019.
- La serie histórica mensual de los mínimos caudales hídricos y del espejo de agua del río Cruces en Rucaco, mostraron como era de esperar una asociación directa con el patrón estacional de precipitaciones.
- El patrón histórico del caudal hídrico y del nivel del espejo de agua, dependientes de la pluviosidad, mostraron además de la variabilidad estacional, la declinación de largo plazo asociada a las precipitaciones.

3.6. Referencias

CONAMA (2007) Final report: Study about climate variability in Chile during the 21 st century. Comisión Nacional sobre Medio Ambiente, Santiago, 63 p

González-Reyes A, Muñoz AA (2013) Cambios en la precipitación de la cuidad de Valdivia (Chile) durante los últimos 150 años. Bosque (Valdivia) 34(2):191-200. DOI: 10.4067/S0717-92002013000200008

Huber A (1970) Diez años de observaciones climatológicas en la Estación Teja - Valdivia (Chile) 1960-1969. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Valdivia, 46 p

Kendall MG (1970) Rank Correlation Methods, 2nd ed. New York: Hafner

Koppe C, De Long G (1958) Weather and Climate. McGraw-Hill Company Inc., New York

Mann HB (1945) Nonparametric tests against trend. Econométrica 13(13): 245-259

Quintana J (2004) Estudio de los factores que explican la variabilidad de la precipitación en Chile en escalas de tiempo interdecadal. Tesis Magister en Ciencias mención Geofísica. Departamento de Geofísica Universidad de Chile, Santiago, p 88

Quintana JM, Aceituno P (2012) Changes in the rainfull regime along the extratropical west coast of South America (Chile): 30-43 S. Atmósfera (México) 25(1):1-22. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56523435001

R Core Team (2016) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL http://www.R-project.org/.

Reyes JC (1981) Características de las precipitaciones de Valdivia: 1960-1976. Tesis Doctoral. Universidad Austral de Chile, Valdivia

Rusticucci M, Penalba O (2000) Interdecadal changes in precipitation seasonal cycle over Southern South America and their relationship with surface temperature. Climate Research 16(1):1-15

UACh (2014) Diagnóstico ambiental del humedal del Río Cruces basado en la comparación de condiciones ambientales actuales e históricas: Bases para su monitoreo y sustentabilidad. Convenio Servicio de Evaluación Ambiental, Ministerio de Medio Ambiente y Universidad Austral de Chile. Informe final. Marzo de 2014, p 374

UACh (2016) Programa de Monitoreo Ambiental Actualizado del Humedal del Río Cruces y sus Ríos Tributarios. Informe final. Abril de 2016, p 683

UACh (2017) Programa de Monitoreo Ambiental Actualizado del Humedal del Río Cruces y sus Ríos Tributarios .Informe final. Marzo 2017, p 830

UACh (2018) Programa de Monitoreo Ambiental Actualizado del Humedal del Río Cruces y sus Ríos Tributarios. Informe final correspondiente al periodo abril 2017- Marzo 2018, p 817

4. COMPONENTES DEL PROGRAMA

A continuación, se describen los resultados de la etapa correspondiente al quinto año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2019- marzo 2020), los cuales se comparan con los resultados del Programa de Diagnóstico Ambiental (abril 2014 - marzo 2015) y con los cuatro primeros años de ese Programa de Monitoreo (abril 2015 a marzo 2019).

4.1. COMPONENTES ABIÓTICOS

4.1.1. CALIDAD DEL AGUA

4.1.1.1. Objetivos

Medir y analizar en el agua superficial del HRC los siguientes parámetros:

- Temperatura, pH, conductividad y sólidos disueltos totales.
- Sólidos suspendidos totales (particulados) y transparencia.
- Oxígeno disuelto, demanda bioquímica y química de oxígeno (DBO_5 y DQO, respectivamente).
- Carbono orgánico total.
- Nutrientes (Amonio, Nitrato, Nitrito, Nitrógeno total, Fosfato o Fósforo soluble y Fósforo total).
- Bacterias coliformes totales y fecales.
- Sulfatos y Cloruros.
- Metales pesados (fracción disuelta y particulada) (Hierro, Aluminio, Manganeso, Cobre, Zinc, Plomo, Cadmio, Arsénico y Mercurio).
- Ácidos grasos, Ácidos resínicos y compuestos Órgano-Halogenados Absorbibles (AOX).
- Dioxinas y Furanos (17 congéneres incluidos en el Convenio de Estocolmo de 2001).

4.1.1.2. Material y métodos

Los muestreos estacionales destinados al análisis de los parámetros mencionados en el punto 4.1.1.1 durante el quinto año del Programa de Monitoreo del HRC y sus ríos tributarios (abril 2019 - marzo 2020), se realizaron en ocho estaciones (Fig. 4.1.1.1 y Tabla 4.1.1.1) y en dos campañas de muestreo durante los meses de abril y julio del año 2019 (períodos de menor y mayor caudal hídrico, respectivamente).

Además de lo anterior, se han recolectado datos mensuales entre enero y diciembre del año 2019 de temperatura, pH, conductividad, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto (concentración en mg/L y porcentaje de saturación) transparencia (disco Secchi) en el agua superficial de esas ocho estaciones.

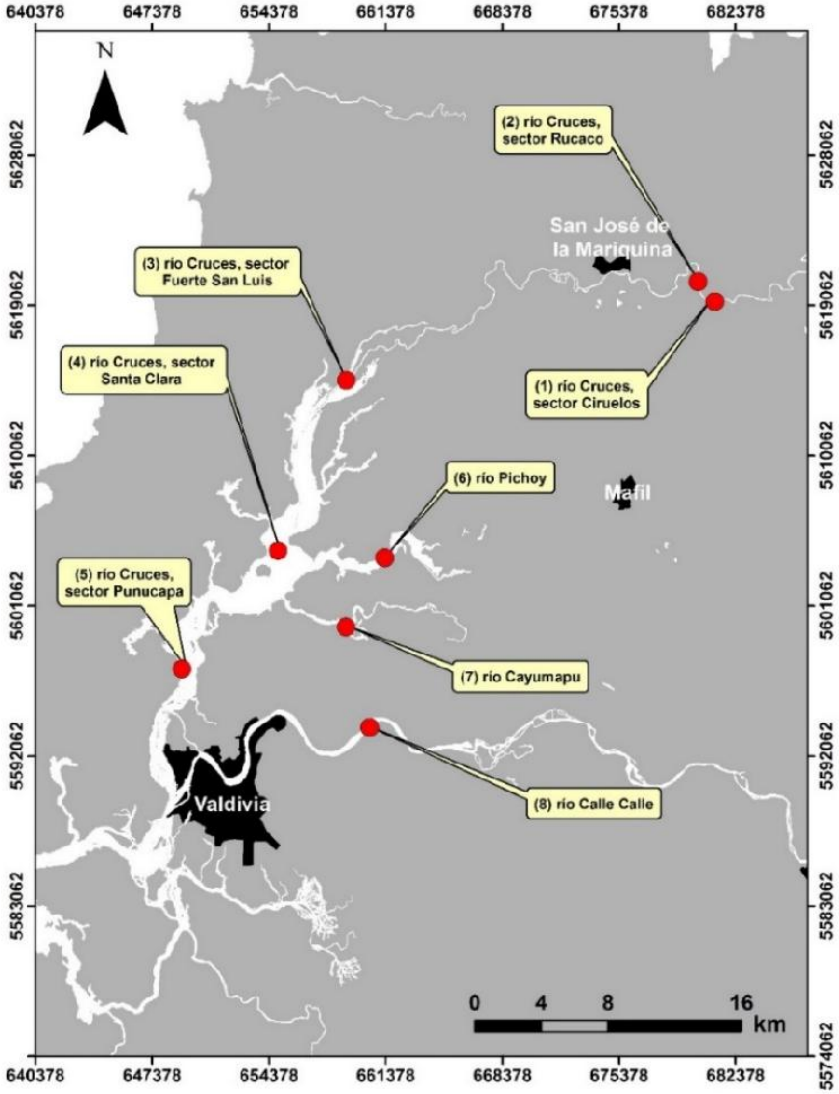


Figura 4.1.1.1. Ubicación de los sitios de muestreo (1 a 8) para análisis de calidad del agua en el área de estudio.

Tabla 4.1.1.1. Estaciones y fechas de muestreos de la calidad del agua durante abril y julio del año 2019.

Estaciones	período de menor caudal	período de mayor caudal
Porción superior del río Cruces (sector límnico)		
1 (sector Ciruelos)	17-abr-2019	04-jul-2019
2 (sector Rucaco)	17-abr-2019	04-jul-2019
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	16-abr-2019	03-jul-2019
4 (sector Santa Clara)	16-abr-2019	03-jul-2019
5 (sector Punucapa)	16-abr-2019	03-jul-2019
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	15-abr-2018	02-jul-2019
7 (río Cayumapu)	15-abr-2018	02-jul-2019
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	15-abr-2018	02-jul-2019

Las metodologías de obtención de muestras, mediciones *in situ* y análisis de laboratorio utilizadas para los estudios de calidad del agua fueron:

- Recolección de agua superficial (*ca.* 20 cm de profundidad) con: **i)** balde plástico limpiado químicamente con detergentes no iónicos y enjuagado con agua desionizada y agua Tipo I para llenar envases de vidrio previamente tratados para los análisis de Sulfatos, Cloruros, Oxígeno disuelto, DBO_5, DQO y compuestos orgánicos, y **ii)** vara de PVC con frascos limpios Nalgene® en su extremo, para obtener agua para los análisis de metales pesados y así evitar la eventual contaminación de las muestras por la cercanía de la embarcación.

- Temperatura, pH, conductividad y Sólidos Disueltos Totales: uso de sonda multiparamétrica para mediciones *in situ* (Unidades: °C, unidades de pH, µmS/cm y mg/L, respectivamente).
- Sólidos Suspendidos Totales o particulados y transparencia: método gravimétrico (Unidad: mg/L) y Disco Secchi (Unidad: m).
- Oxígeno disuelto: uso de sonda multiparamétrica para mediciones *in situ* y titulación por Método de Winkler (A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis, First edition. Timothy R Parsons; Yoshiaki Maita; Carol M Lalli, 1984).
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. Method 5210 B.
- Demanda química de oxígeno (DQO): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. Method 5220.
- Carbono orgánico total: método de combustión catalítica (Unidad: % C).
- Nutrientes: (Amonio, Nitrato, Nitrito, Nitrógeno total, Fosfato o Fósforo soluble y Fósforo total): mediante absorción molecular (Unidades: mg/L).
- Bacterias Coliformes totales y fecales: metodología de cultivo y recuento de colonias (NMP/100 ml).
- Sulfatos: gravimetría. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 4500-SO42-C y/o Cromatografía Iónica. EPA Method 300.0.
- Cloruros: volumetría. NCh2313/32. Of199 y/o Cromatografía Iónica. EPA Method 300.0.
- Metales pesados: i) separación de la fracción disuelta particulada mediante filtración de las muestras con una membrana de 0,45 µm de tamaño de poro, y ii) cuantificación mediante espectroscopía de masa de plasma inductivamente acoplado (ICP-MS). Análisis de Mercurio por espectrometría de absorción atómica de vapor frio (Unidades: metales disueltos: µg/L y metales particulados: µg/g).
- Ácidos grasos: cromatografía gaseosa con detección de masa (Unidad: µg/L).
- Ácidos resínicos: cromatografía gaseosa con detección de masa (Unidad: µg/L).

- Compuestos Órgano-Halogenados Adsorbibles (AOX): titulación micro coulombimétrica con adsorción en carbono activado (Unidad: mg/L).
- Dioxinas y Furanos: Cromatografía gaseosa de alta resolución con detección de masa de alta resolución (HRGC/HRMS) y preparación automática de muestras (FMS) utilizando Extracción en Fase Sólida (SPE) (Unidad: ng/L).

Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos realizados consideran que los sectores predefinidos en el área de estudio representan una variación tal, que es posible analizarlos por estación:

- L = sector límnico del río Cruces; es decir, la parte del río que no es afectada por las mareas. Incluye las estaciones 1 (Ciruelos) y 2 (Rucaco) (Fig. 4.1.1.1).
- EE = eje estuarial y central del río Cruces; es decir, la parte del humedal afectada por mareas. Incluye las estaciones 3 (Fuerte San Luis; San Luis de aquí en adelante cuando se cita en el texto), 4 (Santa Clara) y 5 (Punucapa) (Fig. 4.1.1.1).
- T = ríos tributarios del humedal del río Cruces; es decir, ríos afectados por mareas y que se comunican con el eje central del mismo río. Incluye las estaciones 6 (Pichoy) y 7 (Cayumapu) (Fig. 4.1.1.1).
- F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios; área afectada por mareas. Incluye la estación 8 (Calle Calle), considerada como sitio control ya que se ubica fuera del HRC (Fig. 4.1.1.1).

Por otra parte, la variabilidad registrada en las campañas de los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019, permite categorizar la variabilidad temporal inter - anual. Por lo tanto, sitios y años son variables categóricas y consideradas como factores fijos en los análisis estadísticos.

El Análisis Univariado consideró la aplicación de Análisis de Varianza (ANDEVA), para evaluar la existencia o no de diferencias significativas entre los factores principales de interés (ver Sokal & Rohlf, 1994): estaciones del área de estudio y campañas realizadas en

los diferentes años de muestreo (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019), ambos considerados como factores fijos. Cuando los valores de cada variable fueron inferiores al límite de detección de la técnica, se usó dicho valor límite como representativo de cada muestra. En general, se consideró aplicar el ANDEVA sobre los datos sin transformar, evaluando los supuestos de normalidad en forma visual y mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, la cual está basada en la función de distribución acumulativa empírica (FDCE) de la variable y cuyo gráfico de probabilidades esperadas *vs* observadas (plot Q-Q), permite inspeccionar visualmente la distribución de la variable. Este análisis fue realizado sobre las variables crudas y los residuos del modelo analizado de ANDEVA. Por otra parte, el supuesto de homogeneidad de varianzas u homocedasticidad se evaluó mediante el uso de las Pruebas de Bartlett y de Levene. La primera se aplica cuando los datos provienen de una distribución normal, pero no es muy robusta a fuertes desviaciones de la normalidad. La Prueba de Levene se aplica cuando la variable proviene de una distribución continua pero no necesariamente normal, dado que la misma considera la distancia de la observación a la mediana en lugar de la media (esto la hace más robusta en análisis de muestras pequeñas). Cuando no se cumplieron estos supuestos (indicado en cada caso), de igual manera se realizó ANDEVA, debido a que su capacidad de detectar diferencias es mayor que la de una prueba no paramétrica.

En general, los datos se analizaron sin ser transformados. Sin embargo, las excepciones necesarias fueron los datos de porcentajes de fracciones texturales del sedimento que fluctúan entre 1 y 100 (porcentajes) y por lo tanto requieren ser transformados, usando arcoseno de la raíz cuadrada del dato previo a la aplicación de ANDEVA. Se transformaron además los valores de otras variables, cuyas desviaciones de normalidad se transformaron mediante logaritmo en base 10. Tales transformaciones se detallan en cada tabla de ANDEVA. Para los análisis estadísticos y representaciones graficas de los valores en los casos en que estos se encontraron bajo el límite de detección del método utilizado, se utilizó el valor de límite de detección dividido en dos.

Luego de la aplicación del ANDEVA y en aquellos casos en que los factores principales sectores y campañas de muestreo, evidenciaron diferencias significativas ($p< 0,05$), se aplicó la prueba *a posteriori* de Tukey para determinar qué sector o campaña era el responsable de generar las diferencias entre niveles de cada factor. La prueba de Tukey permite comparar entre todas las medias de los niveles de un factor. Dado que el uso repetido de cada nivel comparado con el resto de los niveles del factor aumenta la probabilidad de cometer error de Tipo I (cuando no se acepta una hipótesis nula siendo ésta verdadera) y la prueba de Tukey no es tan conservadora, el valor de significancia de todas las comparaciones (tasa de error familiar) se fijó en 0,05. Los resultados de las pruebas de Tukey se resumieron estableciendo relaciones de igualdad *vs* desigualdad entre niveles de cada factor. Todos los procedimientos anteriores se realizaron usando el módulo Generalized Linear Models implementado en MINITAB v13 (MINITAB 2003).

4.1.1.3. Resultados

Temperatura, pH, conductividad y Sólidos Disueltos Totales (SDT)

Las Tablas 4.1.1.2 a 4.1.1.5, muestran la variabilidad espacial y temporal de la temperatura, pH, conductividad y SDT durante los meses de abril, mayo y julio del año 2014, abril a diciembre del año 2015 y enero a diciembre de los años 2016, 2017, 2018 y 2019.

Los datos de los meses correspondientes al año 2014 fueron generados durante la ejecución del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, mientras que los recopilados entre los años 2015 y 2019, corresponden al Programa de Monitoreo Ambiental del HRC.

Temperatura

En términos generales, la variabilidad espacial y temporal de la temperatura del agua superficial del área de estudio, fue bastante homogénea, con la ocurrencia general de

valores más altos durante el período estival, principalmente durante el año 2016 en el eje central del río Cruces (área estuarial) y ríos tributarios (Tabla 4.1.1.2 y Fig. 4.1.1.2).

Tabla 4.1.1.2. Comparación interanual de la temperatura (°C) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y ríos tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. SD = sin datos debido a problemas técnicos de la sonda de mediciones.

	temperatura (°C)											
Estaciones	**2014**			**2015**								
	abr	**may**	**jul**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	13,1	10,1	10,3	16,2	12,7	10,4	10,5	11,0	10,8	12,6	14,2	14,9
2 (sector Rucaco)	13,6	10,4	10,5	17,0	13,4	10,5	10,6	10,3	11,2	12,0	14,7	14,7
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	13,8	10,4	11,7	16,5	12,7	10,9	10,5	10,5	11,2	11,9	16,2	16,2
4 (sector Santa Clara)	14,7	10,0	10,5	17,2	13,5	10,2	10,8	11,1	12,7	14,9	16,7	18,1
5 (sector Punucapa)	15,1	11,6	10,4	17,7	13,5	10,3	11,0	11,4	12,6	14,9	17,5	19,3
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (río Pichoy)	13,3	8,8	10,2	15,7	12,6	9,6	10,5	10,7	11,8	12,9	14,3	16,8
7 (río Cayumapu)	15,1	9,8	10,1	17,4	13,3	10,1	10,5	10,7	13,0	15,4	17,9	19,6
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (río Calle Calle)	15,6	11,6	10,1	17,8	14,0	12,2	10,4	10,3	11,0	11,8	14,0	16,5

	temperatura (°C)											
Estaciones	**2016**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	20,2	20,1	18,3	12,8	12,0	7,7	6,3	9,8	13,1	15,0	16,5	19,9
2 (sector Rucaco)	20,8	19,8	18,7	13,4	12,9	9,2	7,4	10,2	12,5	16,1	17,3	20,6
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector Fuerte San Luis)	22,4	21,4	19,3	14,1	12,8	8,2	6,5	10,5	12,8	15,8	19,5	22,7
4 (sector Santa Clara)	24,4	22,8	21,2	15,7	13,2	8,6	6,6	9,7	14,3	18,8	23,2	23,2
5 (sector Punucapa)	23,5	22,7	20,7	16,3	13,6	9,4	7,7	9,9	14,4	18,9	23,3	23,3
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	23,2	22,0	20,3	15,5	12,0	7,3	6,1	9,6	13,4	16,7	23,5	23,1
7 (sector Cayumapu)	23,8	22,6	20,9	16,9	13,3	8,6	6,6	10,0	14,3	18,7	23,1	23,1
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	22,2	21,7	20,1	17,0	14,5	10,5	9,2	10,0	12,2	15,5	17,2	20,7

	temperatura (°C)											
estaciones	**2017**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	21,9	22,2	16,5	12,4	8,4	10,5	7,2	9,5	10,4	11,6	SD	15,5
2 (sector Rucaco)	21,0	21,8	17,8	13,2	8,9	10,8	7,5	9,6	11,0	12,1	SD	16,2
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	22,4	21,6	17,2	14,1	9,7	11,0	8,9	10,0	10,4	12,1	13,4	17,9
4 (sector Santa Clara)	23,3	21,8	18,4	15,2	9,4	10,5	8,8	9,7	11,7	14,1	SD	19,8
5 (sector Punucapa)	22,6	22,0	18,6	16,2	8,6	10,2	8,8	9,5	11,8	15,8	19,7	19,3
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	23,2	21,7	17,0	14,3	9,0	10,0	8,8	9,3	10,0	12,8	18,2	19,5
7 (sector Cayumapu)	23,0	22,4	18,2	15,8	8,8	9,0	7,3	9,1	11,7	15,7	19,1	19,8
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	20,5	21,3	18,3	16,1	12,5	11,5	10,2	10,3	10,5	12,3	14,2	16,7

	temperatura (°C)											
estaciones	**2018**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	17,7	18,7	14,9	11,1	8,7	9,7	9,4	8,1	10,4	SD	14,8	18,4
2 (sector Rucaco)	18,5	18,7	15,3	11,5	9,3	10,0	9,5	8,2	10,6	SD	15,1	18,2
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	19,7	20,6	14,7	12,0	10,5	9,5	8,5	9,9	10,4	SD	15,7	17,5
4 (sector Santa Clara)	21,4	22,0	15,8	12,8	10,2	9,7	8,5	10,0	12,2	SD	18,7	20,3
5 (sector Punucapa)	21,6	21,4	16,5	13,5	10,5	9,5	9,5	10,0	12,6	SD	19,3	20,8
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	20,0	20,7	14,4	12,4	9,7	8,7	7,9	9,4	11,2	SD	17,9	18,4
7 (sector Cayumapu)	21,9	21,5	16,3	13,9	10,1	8,5	8,5	9,7	13,1	SD	20,2	20,9
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	18,8	21,2	16,8	15,7	12,6	10,6	10,3	10,4	10,7	SD	15,0	18,7

	temperatura (°C)													
Estaciones	**2019**												**2020**	
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**	**ene**	**feb**
Eje central del río Cruces (sector límnico)														
1 (sector Ciruelos)	18,5	19,5	16,1	12,9	10,8	9,0	9,1	9,9	12,2	12,4	15,8	17,6	16,3	19,4
2 (sector Rucaco)	19,8	20,0	17,6	13,8	11,0	9,1	9,2	10,4	12,4	13,3	16,5	19,1	16,5	20,4
Eje central del río Cruces (área estuarial)														
3 (sector fuerte San Luis)	19,2	21,2	SD	13,5	9,0	9,4	8,9	9,6	11,6	13,2	15,7	19,6	19,3	19,2
4 (sector Santa Clara)	22,3	22,2	18,4	14,3	8,5	9,6	8,5	10,2	15,1	16,4	17,4	21,8	20,0	20,0
5 (sector Punucapa)	21,1	21,7	17,9	14,8	8,8	9,7	8,3	10,0	15,9	17,3	17,6	21,6	21,0	19,9
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)														
6 (sector Pichoy)	22,2	21,8	16,8	13,4	7,9	9,5	7,2	9,8	15,1	14,1	17,2	21,2	21,4	19,9
7 (sector Cayumapu)	21,5	22,2	17,9	14,9	8,6	9,4	7,8	10,5	14,7	16,4	17,8	21,8	21,6	20,1
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)														
8 (sector Calle Calle)	18,5	19,0	17,5	15,0	11,3	10,8	10,5	10,5	12,6	14,3	14,0	15,8	19,5	19,6

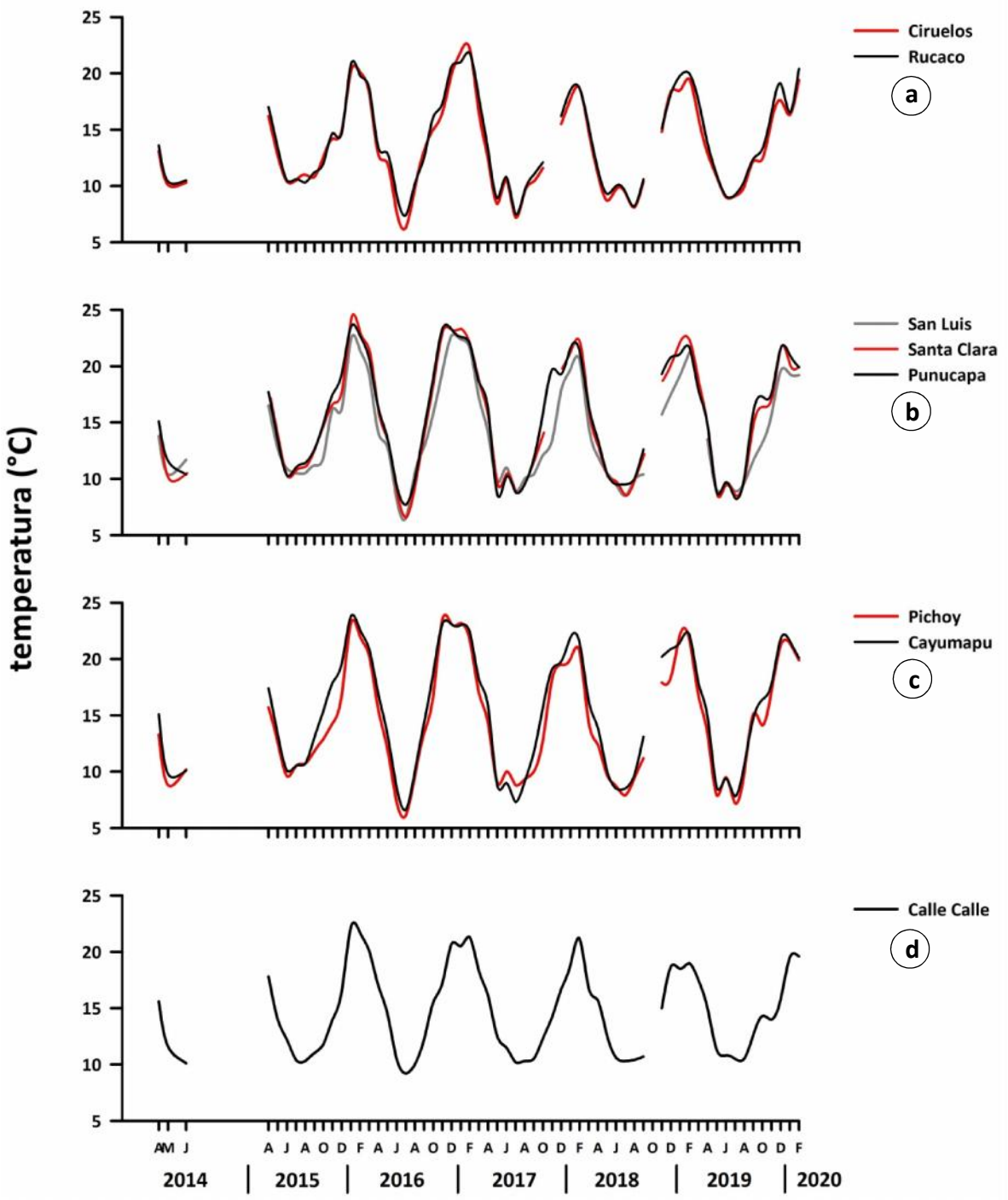


Figura 4.1.1.2. Comparación interanual de la temperatura (°C) en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

pH

Aun cuando no se encontró un patrón definido de variabilidad espacial y estacional del pH, los datos muestran que en general los valores más bajos ocurrieron en los ríos tributarios, particularmente durante el año 2015 (Tabla 4.1.1.3 y Fig. 4.1.1.3).

Tabla 4.1.1.3. Comparación interanual del pH en aguas superficiales del sector límnico, eje central y ríos tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. SD = sin datos debido a problemas técnicos de la sonda de mediciones.

	pH											
estaciones	**2014**			**2015**								
	abr	**may**	**jul**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	7,0	7,6	7,0	7,5	8,1	6,6	7,2	6,6	8,0	8,0	7,8	7,3
2 (sector Rucaco)	7,2	7,5	7,1	8,2	7,9	6,4	8,0	6,9	7,8	7,5	7,3	7,2
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	8,4	7,3	7,8	7,8	7,2	6,6	8,5	7,1	8,0	8,0	7,6	8,2
4 (sector Santa Clara)	8,3	7,5	7,8	8,1	7,8	7,0	6,8	7,0	7,4	7,9	8,7	7,5
5 (sector Punucapa)	8,1	7,2	7,2	8,3	7,8	7,2	7,1	7,4	7,6	7,9	7,8	7,8
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	8,0	7,6	6,6	7,9	8,1	6,9	6,7	7,0	7,1	7,8	7,6	6,7
7 (sector Cayumapu)	7,5	7,4	7,4	7,5	8,0	6,6	7,2	6,8	7,5	7,9	7,7	7,6
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	7,6	7,1	6,7	7,6	7,6	7,8	7,1	7,4	7,9	9,3	7,9	7,5

	pH											
Estaciones	**2016**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	8,3	8,8	8,2	8,6	8,7	9,8	9,0	8,9	8,2	8,6	8,4	8,2
2 (sector Rucaco)	8,1	8,2	8,1	8,6	8,3	9,3	8,7	8,9	8,5	8,7	8,2	8,1
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	9,3	9,1	9,0	9,1	8,7	9,1	9,2	8,7	8,4	7,8	7,0	7,5
4 (sector Santa Clara)	7,9	7,9	7,7	8,6	7,8	8,3	8,3	7,8	7,9	8,0	7,6	7,3
5 (sector Punucapa)	8,1	7,7	8,2	7,8	8,1	8,0	8,3	7,8	7,9	8,4	7,3	7,6
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	8,0	8,0	8,4	8,1	8,1	8,5	7,7	11,1	7,7	7,7	7,6	7,4
7 (sector Cayumapu)	8,4	8,2	8,3	8,0	8,0	8,6	8,1	11,1	7,6	8,0	7,5	7,5
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	7,8	9,0	8,8	8,5	8,6	9,2	8,5	11,9	8,3	8,0	7,4	7,3

	pH											
estaciones	**2017**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	7,6	8,3	8,7	8,4	7,8	7,2	7,6	8,2	7,6	8,1	SD	8,2
2 (sector Rucaco)	7,4	8,0	8,7	7,9	8,0	7,6	7,3	8,5	7,1	8,1	SD	8,1
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	7,5	7,8	7,9	7,7	7,2	7,2	7,3	7,3	7,2	7,8	7,3	7,9
4 (sector Santa Clara)	7,5	7,4	7,7	7,0	7,1	7,1	7,5	7,3	7,4	7,8	SD	8,0
5 (sector Punucapa)	7,6	7,3	7,3	7,5	7,3	8,1	7,5	7,8	8,2	7,7	7,4	7,8
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	7,5	7,4	8,0	6,7	7,1	7,1	6,8	7,2	7,0	7,9	7,4	8,3
7 (sector Cayumapu)	7,5	7,5	8,4	7,5	7,3	7,4	7,2	7,5	7,8	8,3	6,9	8,8
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	7,2	8,1	8,6	8,3	8,1	8,3	8,0	7,9	8,2	7,9	7,2	7,9

	pH											
estaciones	**2018**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	8,6	9,1	8,5	7,9	9,7	8,3	7,4	8,6	8,3	SD	7,8	7,6
2 (sector Rucaco)	7,9	8,5	8,1	7,9	9,2	8,2	7,5	8,2	SD	SD	7,5	7,6
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	7,8	7,9	9,4	7,5	8,2	7,8	7,9	7,7	7,3	SD	7,5	7,6
4 (sector Santa Clara)	7,9	7,5	8,9	7,6	8,5	8,0	7,7	7,7	7,8	SD	7,3	7,4
5 (sector Punucapa)	8,1	7,7	7,9	8,3	8,7	8,0	7,5	8,2	8,0	SD	7,4	7,5
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	7,4	8,2	8,6	7,5	8,2	7,9	7,2	7,9	7,9	SD	7,1	7,1
7 (sector Cayumapu)	7,6	8,2	8,1	8,0	7,9	7,5	7,4	8,2	8,2	SD	6,8	7,5
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	8,8	9,0	10,1	9,0	9,2	8,4	7,5	8,3	8,9	SD	7,6	7,6

	pH													
Estaciones	**2019**												**2020**	
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**	**ene**	**feb**
Eje central del río Cruces (sector límnico)														
1 (sector Ciruelos)	8,1	8,4	8,3	8,2	7,6	7,4	6,9	7,4	6,7	6,9	6,9	7,5	7,3	8,0
2 (sector Rucaco)	7,9	8,1	7,9	7,9	7,9	7,0	6,9	7,3	6,9	6,9	7,6	7,8	7,5	8,5
Eje central del río Cruces (área estuarial)														
3 (sector fuerte San Luis)	7,4	7,5	SD	8,0	7,6	7,0	6,6	9,1	7,5	6,6	7,0	7,2	7,8	8,2
4 (sector Santa Clara)	8,0	8,0	8,2	8,0	7,7	7,8	6,6	6,7	7,6	7,2	7,5	7,6	8,2	8,0
5 (sector Punucapa)	7,9	8,1	7,5	7,8	7,2	7,6	6,9	7,1	7,1	7,0	7,7	7,9	8,1	7,7
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)														
6 (sector Pichoy)	7,3	7,4	8,3	7,4	6,9	6,7	7,3	7,8	7,4	6,7	6,8	7,0	7,8	7,9
7 (sector Cayumapu)	6,7	7,3	7,4	7,5	7,2	6,6	6,2	7,7	7,7	6,9	7,0	6,8	8,0	8,0
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)														
8 (sector Calle Calle)	8,0	8,8	8,3	8,1	7,2	7,3	6,8	7,2	7,6	6,8	7,5	7,2	7,6	8,3

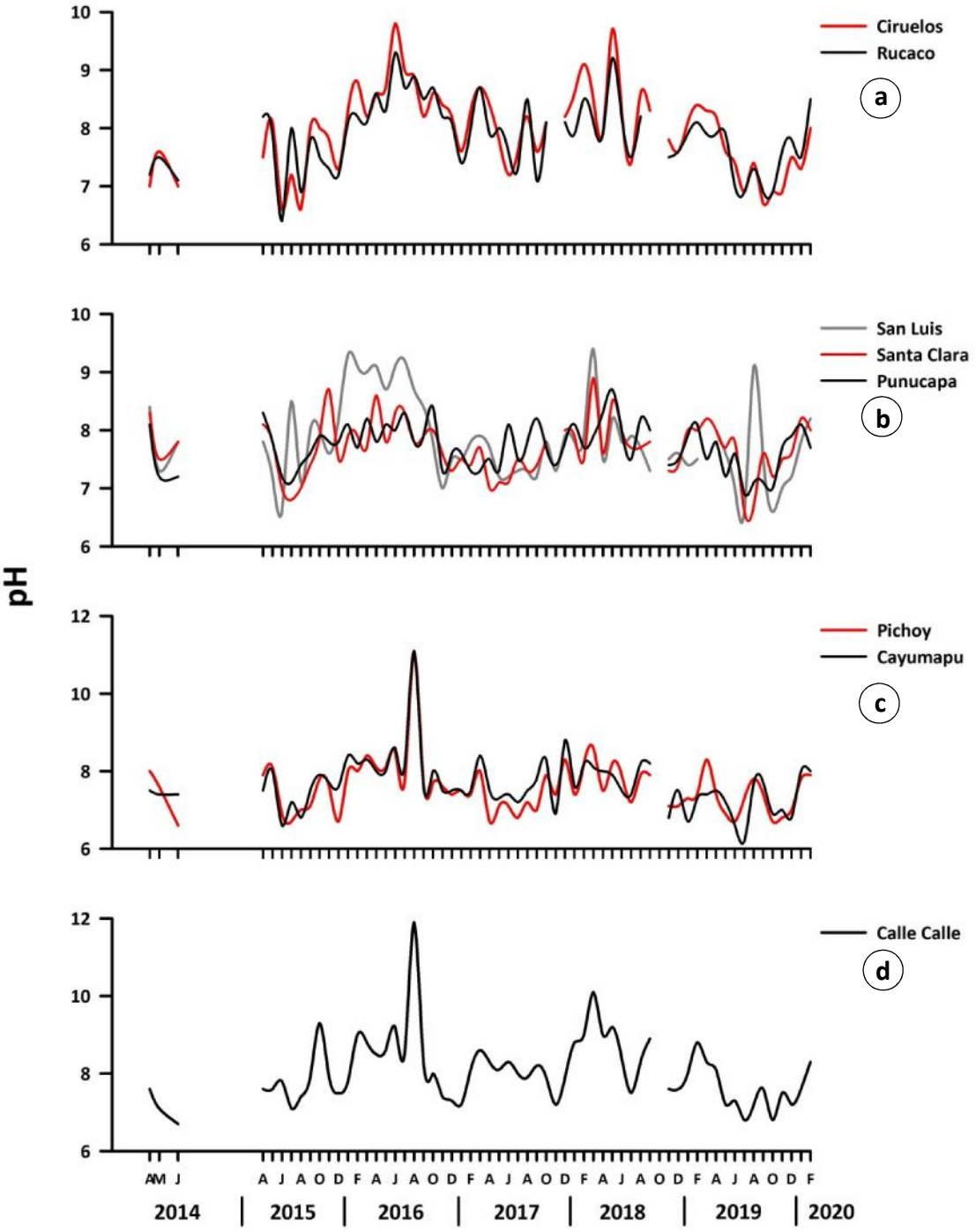


Figura 4.1.1.3. Comparación interanual del pH en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

Conductividad

La conductividad del agua superficial mostró valores más altos y mayor heterogeneidad espacial durante los muestreos correspondientes al período comprendido entre los meses de enero a abril durante todo el periodo de estudio (Tabla 4.1.1.4 y Fig. 4.1.1.4). Tales meses corresponden a los meses de menor caudal hídrico y consecuentemente, hay mayor intrusión salina al HRC, particularmente al sector Punucapa (sector estuarial), donde se presentaron los valores más altos de conductividad.

En términos generales la conductividad del agua en la estación Rucaco fue mayor a lo registrado en la estación Ciruelos (sector límnico) durante todo el periodo de estudio, tendencia que se ha repetido desde el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC. Esta última estación ha presentado una tendencia similar a lo registrado en río Calle Calle (fuera del HRC) durante la mayor parte del año (Tabla 4.1.1.4).

Tabla 4.1.1.4. Comparación interanual de la conductividad (µS/cm) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. SD = sin datos debido a problemas técnicos de la sonda de mediciones.

	conductividad (µS/cm)											
estaciones	**2014**			**2015**								
	abr	**may**	**jul**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	33,4	25,0	18,0	43,7	34,4	19,5	19,1	26,1	21,1	23,0	26,9	26,6
2 (sector Rucaco)	108,0	40,0	21,0	149,6	124,9	24,6	25,0	21,9	35,5	38,6	66,0	49,8
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	98,1	48,0	26,0	135,0	83,7	27,7	26,6	24,9	35,9	37,0	57,8	67,0
4 (sector Santa Clara)	131,7	42,0	26,0	886,0	683,3	27,8	25,2	23,4	33,7	36,0	48,6	52,1
5 (sector Punucapa)	579,9	44,0	25,0	2678,3	2371,3	25,0	24,9	24,4	32,9	37,0	46,7	79,9
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	30,5	25,0	19,0	111,9	92,5	23,9	20,8	19,9	22,9	24,5	24,7	24,7
7 (sector Cayumapu)	286,6	36,0	20,0	1587,7	560,0	32,7	22,6	21,0	23,4	30,6	35,4	39,5
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	39,2	30,0	27,0	44,8	34,9	32,0	24,8	24,6	28,3	31,1	33,0	32,9

	conductividad (µS/cm)											
Estaciones	**2016**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	38,9	40,5	40,6	35,7	32,7	30,9	28,1	20,9	25,3	28,2	33,6	41,6
2 (sector Rucaco)	128,7	158,8	165,8	145,8	106,5	102,0	103,1	36,5	43,1	62,2	76,0	135,4
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	115,3	155,2	159,1	131,6	93,7	92,8	83,9	37,6	44,1	55,6	77,5	123,2
4 (sector Santa Clara)	228,4	332,2	1142,0	438,5	128,4	169,2	241,5	27,4	43,7	51,1	66,0	92,1
5 (sector Punucapa)	824,0	1815,3	4840,3	3552,7	488,9	578,3	1263,3	29,8	40,5	49,8	62,5	141,8
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	38,4	43,2	94,6	41,7	39,8	39,8	78,9	26,4	28,3	30,8	39,9	45,7
7 (sector Cayumapu)	113,3	165,6	607,0	762,0	257,7	87,5	104,7	30,5	33,8	36,6	43,2	62,2
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	42,2	43,0	47,5	39,8	37,0	33,7	32,2	30,0	31,7	35,8	35,9	48,6

	conductividad (µS/cm)											
Estaciones	**2017**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	47,3	50,2	45,2	37,6	28,5	25,0	23,9	25,2	26,1	27,0	SD	36,2
2 (sector Rucaco)	174,2	133,1	147,9	128,5	67,6	38,9	39,6	35,3	52,8	53,9	SD	82,9
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	149,5	138,3	141,7	112,7	63,8	36,6	37,1	37,3	42,8	48,7	45,6	72,8
4 (sector Santa Clara)	107,7	305,0	324,9	143,6	46,5	34,2	38,7	30,1	41,5	47,3	SD	61,1
5 (sector Punucapa)	205,0	1535,7	2422,7	845,0	50,6	33,4	35,1	32,7	37,1	43,8	48,0	60,2
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	63,7	171,6	56,7	45,4	30,9	29,0	27,5	26,4	28,0	30,7	36,0	40,2
7 (sector Cayumapu)	76,7	207,7	133,0	232,6	37,4	31,1	32,2	30,1	32,1	35,4	37,4	49,1
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	49,3	52,3	47,8	43,6	39,1	36,8	36,0	34,2	34,6	37,8	39,9	44,1

	conductividad (µS/cm)											
Estaciones	**2018**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	41,9	47,5	37,3	30,9	27,9	25,8	24,1	23,6	37,5	SD	26,4	32,7
2 (sector Rucaco)	155,9	176,3	109,7	64,0	54,3	46,0	38,2	32,1	52,4	SD	26,7	83,0
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	123,8	156,3	82,1	59,1	47,5	42,2	36,2	39,5	34,4	SD	33,6	66,3
4 (sector Santa Clara)	96,5	476,3	67,1	53,0	44,3	40,0	32,3	32,7	33,2	SD	40,9	59,2
5 (sector Punucapa)	92,1	1910,3	115,2	46,3	45,2	36,0	33,6	31,9	32,7	SD	42,3	136,0
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	37,7	48,5	35,2	32,3	29,5	27,6	25,6	26,3	26,6	SD	31,0	29,7
7 (sector Cayumapu)	56,7	244,9	85,7	49,6	36,8	30,2	29,1	29,0	30,9	SD	34,0	43,3
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	47,4	52,6	45,5	42,6	37,8	35,5	36,1	34,9	55,6	SD	35,6	40,1

	conductividad (µS/cm)													
Estaciones	**2019**												**2020**	
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**	**ene**	**feb**
Eje central del río Cruces (sector límnico)														
1 (sector Ciruelos)	36,8	42,2	38,9	35,8	23,3	19,6	19,8	21,4	24,7	26,8	32,0	35,0	38,0	51,9
2 (sector Rucaco)	121,6	139,8	146,4	101,1	33,2	25,9	27,3	43,5	31,7	31,9	69,7	92,2	114,7	260,3
Eje central del río Cruces (área estuarial)														
3 (sector fuerte San Luis)	85,6	128,3	SD	97,0	29,3	21,9	25,3	35,0	41,9	31,9	43,8	98,1	108,9	171,1
4 (sector Santa Clara)	76,0	139,1	976,0	809,3	31,2	31,1	25,2	31,1	42,4	33,5	41,4	63,1	195,0	75,4
5 (sector Punucapa)	96,3	869,0	3045,3	2850,0	32,4	31,4	24,6	27,1	44,1	33,9	44,4	60,8	97,2	244,4
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)														
6 (sector Pichoy)	31,6	32,8	66,7	44,1	21,4	21,2	20,8	23,7	38,7	28,3	34,2	56,8	43,9	77,1
7 (sector Cayumapu)	42,0	148,3	512,0	552,7	32,0	28,7	25,3	27,0	36,7	31,1	35,7	44,5	88,5	472,2
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)														
8 (sector Calle Calle)	40,0	44,1	41,7	38,9	31,9	28,8	30,3	30,5	33,0	35,1	34,9	37,9	42,0	43,8

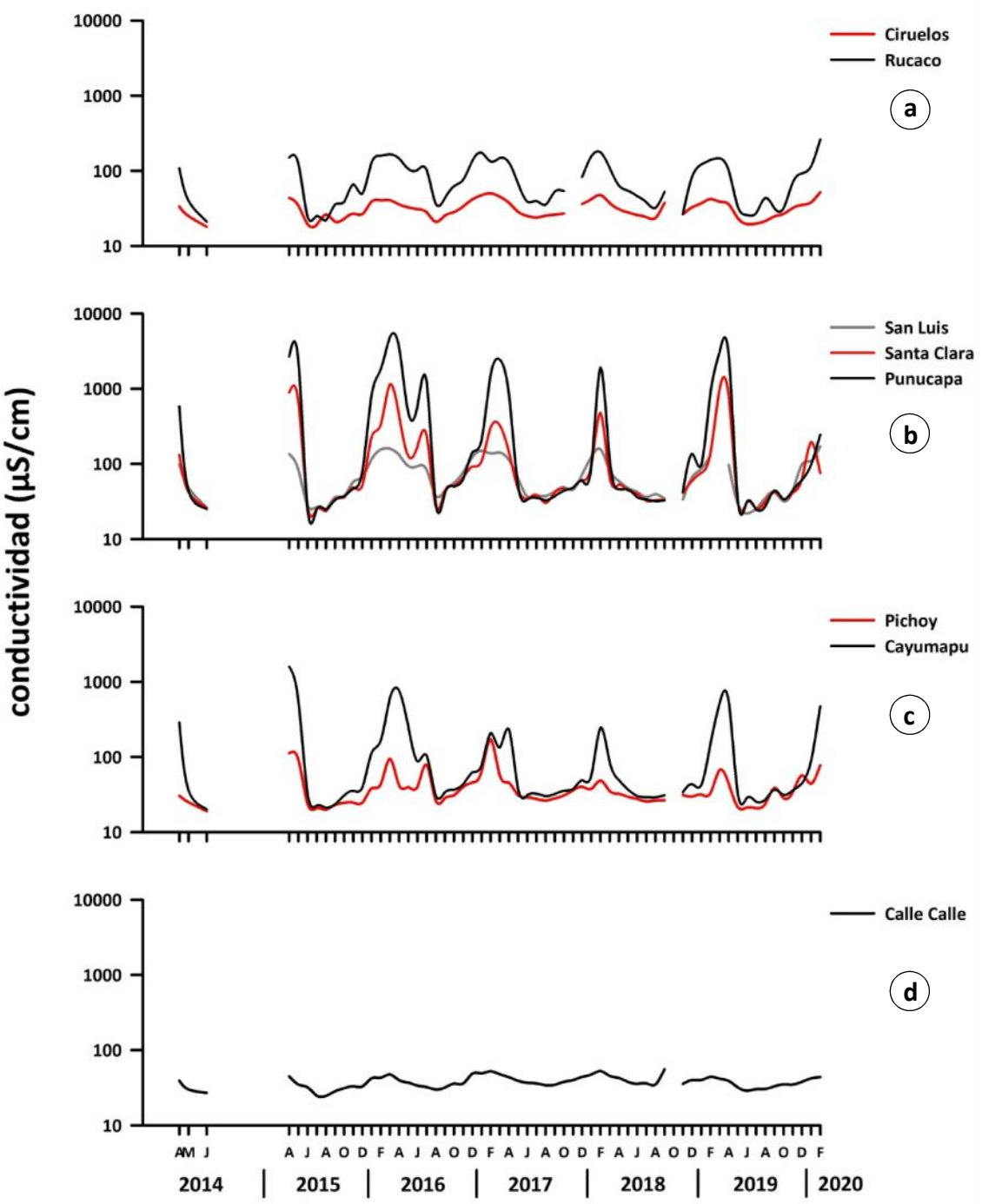


Figura 4.1.1.4. Comparación interanual de la conductividad (µS/cm) en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

Sólidos Disueltos Totales (SDT)

La variabilidad temporal y espacial de las concentraciones de SDT, presentó una tendencia similar a lo descrito para los valores de conductividad del agua superficial, detectándose los valores más altos durante el período estival e inicios del otoño particularmente en la estación Punucapa, sector estuarial del HRC, particularmente durante el periodo estival del año 2016 (Tabla 4.1.1.5 y Fig. 4.1.1.5).

Tabla 4.1.1.5. Comparación interanual de los sólidos disueltos totales (mg/L) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. SD = sin datos debido a problemas técnicos de la sonda de mediciones.

	SDT (mg/L)											
estaciones	**2014**			**2015**								
	abr	**may**	**jul**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	28,0	22,0	17,0	SD	29,3	17,6	16,9	23,4	18,9	19,5	22,1	21,5
2 (sector Rucaco)	90,0	36,0	19,0	SD	104,0	22,1	22,5	19,5	31,2	33,2	53,3	40,3
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	81,0	43,0	23,0	SD	71,1	24,7	24,1	22,3	31,9	31,9	45,5	52,4
4 (sector Santa Clara)	107,0	38,0	23,0	SD	572,0	25,4	22,5	20,8	28,6	29,3	37,3	39,0
5 (sector Punucapa)	465,0	38,0	23,0	SD	2030,0	24,3	21,9	21,5	28,0	29,9	35,5	58,3
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	26,0	24,0	17,0	SD	78,7	22,1	18,6	17,6	20,2	20,8	20,2	18,9
7 (sector Cayumapu)	230,0	33,0	18,0	SD	468,0	29,9	20,8	18,9	23,4	24,1	26,7	28,6
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	31,0	27,0	25,0	SD	28,6	27,3	22,8	22,1	25,4	26,9	27,3	25,4

	SDT (mg/L)											
Estaciones	**2016**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	28,0	29,3	30,6	30,6	28,6	29,9	28,6	18,9	21,5	22,8	26,0	29,9
2 (sector Rucaco)	91,0	114,4	122,9	121,5	90,4	94,9	100,8	33,2	37,1	48,7	57,9	95,7
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	78,9	108,3	115,9	107,9	79,1	88,8	84,5	33,8	37,5	43,6	55,9	83,9
4 (sector Santa Clara)	149,7	226,2	799,4	348,6	107,5	159,7	241,9	25,4	35,8	37,5	44,4	62,0
5 (sector Punucapa)	552,5	1235,0	3419,0	2760,4	406,5	533,0	1211,2	27,3	33,2	36,4	42,3	97,1
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	25,8	29,9	67,6	33,2	34,5	39,0	80,6	24,1	23,4	24,5	26,7	31,0
7 (sector Cayumapu)	75,2	112,9	429,0	585,0	215,6	82,6	104,9	28,0	28,0	27,3	29,5	42,0
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	29,9	29,9	33,8	30,6	29,9	30,6	29,9	27,3	27,3	28,6	27,3	34,5

	SDT (mg/L)											
Estaciones	**2017**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	32,1	34,5	35,1	31,9	27,3	22,5	23,4	23,4	23,4	23,4	SD	28,6
2 (sector Rucaco)	122,9	92,3	111,2	107,9	63,7	34,5	38,8	32,5	46,8	46,8	SD	65,0
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	101,8	96,2	108,1	92,5	58,5	32,5	35,1	33,8	38,4	42,3	38,4	54,6
4 (sector Santa Clara)	72,7	211,0	241,4	115,3	43,3	30,6	36,4	27,7	36,2	39,0	SD	44,2
5 (sector Punucapa)	139,8	1063,8	1744,2	658,7	48,1	30,1	33,2	30,6	32,5	34,5	34,7	44,2
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	42,9	119,7	43,6	36,8	28,6	26,7	27,3	24,7	25,4	26,0	26,7	29,3
7 (sector Cayumapu)	52,0	142,1	99,5	183,7	35,1	29,3	31,2	28,0	28,0	28,0	27,3	35,1
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	35,1	36,4	35,8	34,5	33,2	32,5	32,5	31,0	31,2	32,5	32,5	34,5

	SDT (mg/L)											
Estaciones	**2018**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	31,9	35,1	30,1	27,3	26,7	23,4	22,1	22,8	33,8	SD	21,5	24,1
2 (sector Rucaco)	115,7	130,7	87,5	55,9	50,5	41,6	35,1	30,6	46,8	SD	21,5	61,8
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	89,7	110,9	66,3	50,6	42,9	39,0	34,5	36,4	31,2	SD	24,7	50,1
4 (sector Santa Clara)	67,6	295,4	52,7	44,9	40,3	36,8	30,6	29,9	28,4	SD	26,7	42,3
5 (sector Punucapa)	63,7	1334,7	89,3	38,4	40,7	33,2	31,2	29,3	28,0	SD	31,0	96,2
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	27,3	34,5	28,6	28,0	27,3	26,0	24,7	24,1	24,1	SD	23,4	22,1
7 (sector Cayumapu)	39,4	170,5	67,0	41,0	33,6	28,6	27,7	26,7	26,0	SD	24,5	30,6
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	35,1	37,1	35,1	33,8	32,3	31,9	32,5	31,2	49,4	SD	28,6	29,9

	SDT (mg/L)													
Estaciones	**2019**												**2020**	
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**	**ene**	**feb**
Eje central del río Cruces (sector límnico)														
1 (sector Ciruelos)	27,3	29,9	30,6	30,6	20,8	18,7	18,2	19,5	21,5	22,8	25,4	26,7	29,9	57,7
2 (sector Rucaco)	87,8	100,1	110,9	83,9	33,2	24,5	25,4	39,0	27,3	26,7	54,0	67,4	89,1	185,6
Eje central del río Cruces (área estuarial)														
3 (sector fuerte San Luis)	62,4	89,9	SD	80,6	27,3	20,2	23,4	32,5	36,4	26,7	34,8	71,5	79,3	125,0
4 (sector Santa Clara)	52,0	94,9	728,0	654,3	29,7	28,6	24,1	28,0	33,8	26,0	31,2	43,5	140,0	539,5
5 (sector Punucapa)	67,6	604,5	2294,5	2307,5	30,6	28,6	23,4	24,7	34,5	26,0	33,8	42,3	680,3	1757,2
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)														
6 (sector Pichoy)	21,7	22,8	51,4	36,8	21,0	19,5	20,2	21,5	31,2	28,3	26,0	38,7	30,8	55,5
7 (sector Cayumapu)	28,6	101,8	387,8	442,0	30,2	26,7	24,7	24,1	29,9	24,1	35,7	30,8	62,0	338,8
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)														
8 (sector Calle Calle)	29,9	32,1	31,2	31,2	28,0	26,0	27,5	27,3	28,0	28,6	28,6	29,3	30,6	31,9

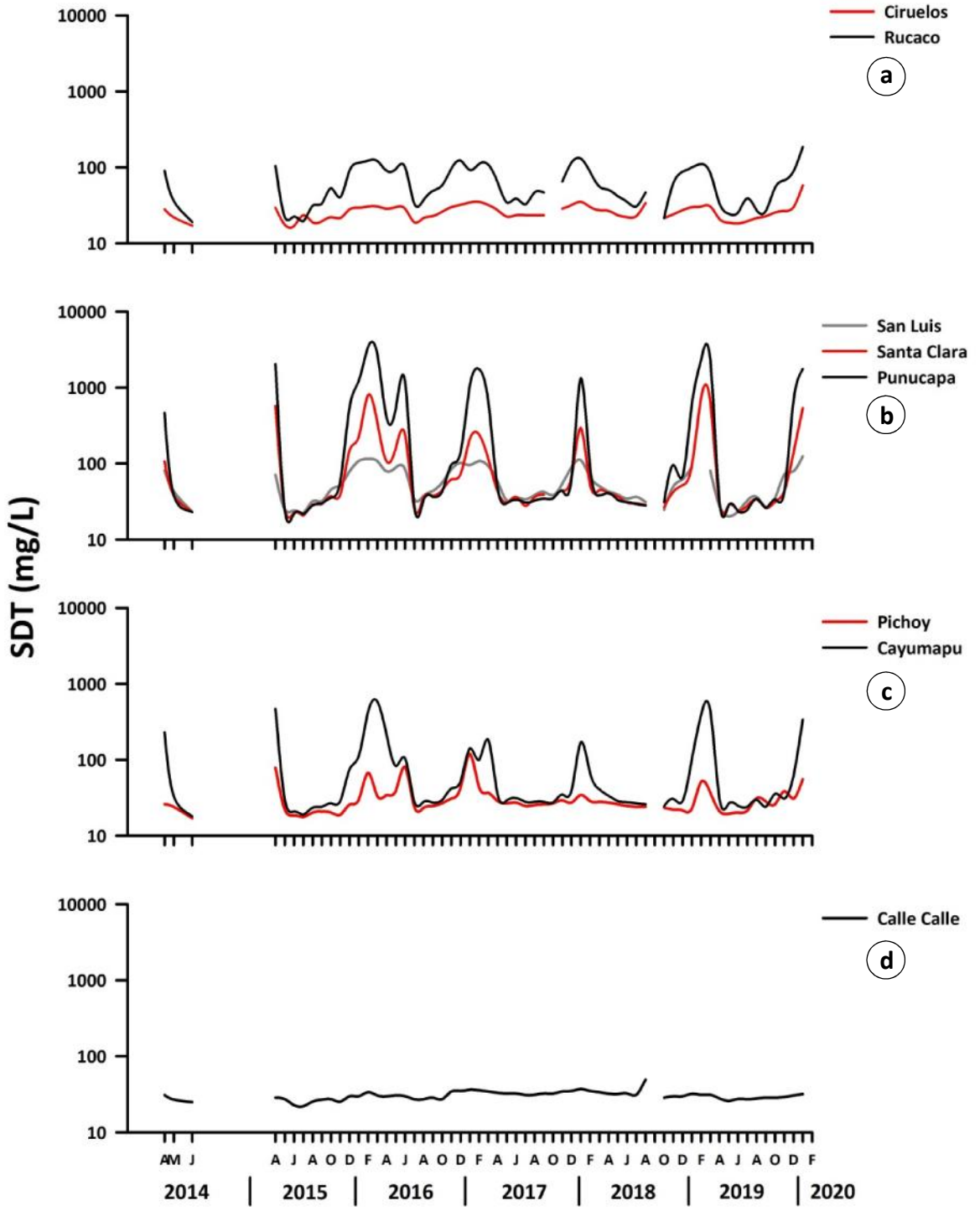


Figura 4.1.1.5. Comparación interanual de los Sólidos Disueltos Totales (SDT) (mg/L) en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

Sólidos Suspendidos Totales (SST) y transparencia del agua

La Tabla 4.1.1.6 y Figura 4.1.1.6 muestran la variabilidad espacio temporal en las concentraciones de SST, durante el periodo 2014 - 2019. En términos generales, las concentraciones de SST fueron más altas en el sector límnico (particularmente en Rucaco) y en los ríos tributarios del HRC, durante las estaciones de otoño e invierno. Durante este último año las concentraciones de SST presentaron un aumento en relación con años anteriores, principalmente en el mes de junio en las estaciones Ciruelos, Rucaco y San Luis, debido probablemente a un evento de precipitación inusual registrado en esa fecha en la región (Tabla 4.1.1.6 y Fig. 4.1.1.6). El aumento de caudal hídrico y precipitaciones durante ese período, resulta probablemente en mayor resuspensión de sedimentos del fondo en estaciones de poca profundidad como las del sector límnico (Ciruelos y Rucaco); más aún, durante el invierno (mayor precipitación) y en comparación con los otros sitios de muestreo, esas estaciones captarían mayor cantidad de sedimentos en sus cauces debido a la menor amplitud de los mismos; *i.e.*, mayor efecto de la escorrentía superficial proveniente de áreas agrícolas aledañas. La Figura 4.1.1.6 muestra que en general, las concentraciones más bajas de SST se estimaron en aguas de la estación ubicada fuera del HRC (río Calle Calle).

Tabla 4.1.1.6. Comparación interanual en la concentración de Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

	SST (mg/L)											
estaciones	**2014**			**2015**								
	abr	**may**	**jul**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	3,9	16,9	20,9	4,8	2,6	7,8	4,5	14,4	6,1	2,6	4,5	8,1
2 (sector Rucaco)	4,5	18,2	18,7	4,3	2,6	8,9	5,6	13,3	8,3	3,6	3,6	25,4
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	1,7	4,3	4,4	3,4	1,6	2,7	3,7	4,6	4,6	4,1	3,5	6,2
4 (sector Santa Clara)	2,5	5,8	14,3	2,9	4,4	3,4	4,1	4,8	1,7	2,9	6,9	4,3
5 (sector Punucapa)	4,2	5,6	7,2	4,3	4,3	2,8	5,3	4,2	3,3	3,7	4,6	5,4
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	4,6	2,5	29,5	3,5	2,5	3,2	6,2	7,2	3,2	2,9	6,4	6,6
7 (sector Cayumapu)	3,2	4,0	7,6	2,5	12,2	4,6	5,2	8,3	6,4	3,5	7,5	7,8
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	2,2	6,2	16,1	2,1	3,6	12,9	14,4	11,3	6,3	2,4	2,0	2,0

	SST (mg/L)											
estaciones	**2016**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	7,1	4,4	3,0	1,5	1,7	4,3	6,3	8,0	2,6	6,9	5,8	4,2
2 (sector Rucaco)	3,5	2,5	2,2	3,2	1,3	1,9	1,7	15,8	2,7	3,4	5,8	7,2
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	3,7	3,6	5,1	3,0	1,9	2,5	1,9	4,7	2,2	3,1	3,1	2,9
4 (sector Santa Clara)	6,7	4,8	4,4	2,1	0,9	2,3	2,7	5,2	2,2	4,6	3,9	3,7
5 (sector Punucapa)	9,2	7,5	9,6	6,9	1,8	4,8	2,4	5,2	2,4	7,9	5,3	5,2
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	7,3	7,7	3,0	2,2	2,1	2,3	2,5	6,6	4,4	5,2	5,0	6,0
7 (sector Cayumapu)	7,8	5,2	4,3	7,0	2,0	2,4	4,2	6,6	2,6	5,3	5,4	5,4
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	1,7	2,3	2,5	2,0	1,2	1,3	1,1	7,6	1,1	1,4	1,3	1,3

	SST (mg/L)											
estaciones	**2017**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	4,1	4,7	2,9	2,1	5,4	8,0	3,9	4,6	2,4	2,4	SD	5,7
2 (sector Rucaco)	4,1	4,4	2,2	2,0	2,2	8,9	3,6	5,6	3,9	4,7	SD	5,7
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	1,9	1,7	1,3	2,0	2,6	7,4	5,7	7,6	3,9	2,4	4,4	4,5
4 (sector Santa Clara)	4,4	3,5	1,9	1,5	1,6	3,3	2,5	2,0	3,0	2,5	SD	4,5
5 (sector Punucapa)	6,9	6,3	4,9	5,4	1,8	2,4	2,8	3,3	2,7	3,0	4,6	6,0
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	4,4	6,5	1,6	1,8	2,7	4,7	3,8	2,8	3,3	4,0	5,4	6,6
7 (sector Cayumapu)	5,2	7,2	4,6	3,1	3,2	5,6	7,3	4,4	4,2	6,8	6,3	8,3
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	1,7	1,3	1,3	3,7	1,9	5,4	2,1	2,6	2,3	2,8	3,8	1,1

	SST (mg/L)											
Estaciones	**2018**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	9,2	5,4	4,2	4,1	2,8	5,7	6,6	13,6	10,5	SD	4,0	3,7
2 (sector Rucaco)	7,6	3,7	3,9	3,3	2,5	5,7	12,9	13,5	11,3	SD	4,1	4,0
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	5,4	2,3	1,8	1,4	5,4	6,2	5,5	4,3	7,2	SD	3,0	2,9
4 (sector Santa Clara)	6,6	7,0	2,7	1,0	1,8	2,0	2,3	2,8	2,4	SD	3,6	10,9
5 (sector Punucapa)	6,2	7,7	3,0	2,0	2,4	1,7	2,1	2,2	3,3	SD	4,7	5,9
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	5,3	3,7	2,3	2,9	3,3	3,4	2,5	2,8	4,1	SD	3,8	9,6
7 (sector Cayumapu)	6,1	5,6	3,4	6,2	3,6	2,5	4,2	4,4	7,1	SD	3,6	6,1
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	2,3	1,8	2,5	1,8	2,0	2,1	3,0	2,1	2,9	SD	3,0	1,6

	SST (mg/L)													
Estaciones	**2019**												**2020**	
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**	**ene**	**feb**
Eje central del río Cruces (sector límnico)														
1 (sector Ciruelos)	5,0	5,6	4,3	2,3	33,7	49,3	7,5	6,9	4,3	8,9	5,3	5,5	6,2	3,5
2 (sector Rucaco)	4,0	4,8	2,1	1,9	25,0	59,2	7,1	7,1	3,9	5,1	5,2	6,0	16,4	10,3
Eje central del río Cruces (área estuarial)														
3 (sector fuerte San Luis)	3,5	2,8	2,9	1,4	17,5	70,0	7,1	7,5	5,5	2,2	4,2	2,4	3,3	4,1
4 (sector Santa Clara)	5,6	5,7	3,2	2,5	5,3	6,7	3,2	2,2	3,3	3,7	5,1	7,6	14,8	11,2
5 (sector Punucapa)	5,6	5,6	4,0	4,4	4,2	2,7	2,9	1,7	10,2	5,0	8,6	10,7	12,7	6,0
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)														
6 (sector Pichoy)	9,4	7,6	3,5	2,1	5,8	13,7	4,2	4,8	3,3	5,4	8,3	6,0	19,4	20,6
7 (sector Cayumapu)	5,2	5,8	3,0	1,3	3,3	3,3	7,5	4,3	3,1	5,7	7,6	8,4	8,7	4,0
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)														
8 (sector Calle Calle)	1,1	2,5	1,5	1,7	2,6	10,1	6,8	1,6	1,6	1,7	1,7	1,3	1,6	1,6

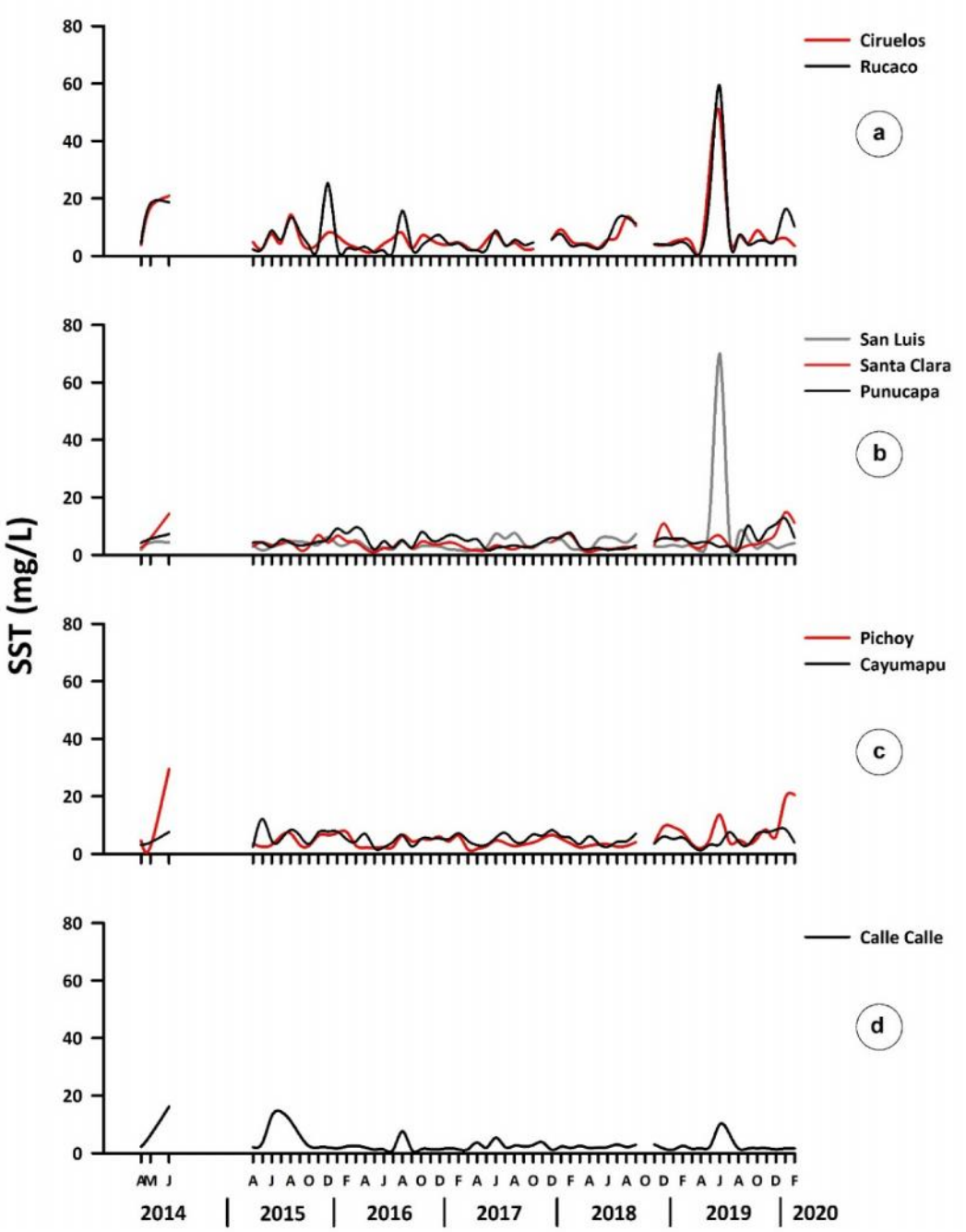


Figura 4.1.1.6. Comparación interanual de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) (mg/L) en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

Transparencia del agua

Los valores más altos de transparencia se observaron en la estación ubicada fuera del HRC (río Calle Calle); la misma que en general ha tenido las concentraciones más bajas de SST durante todo el Programa de Monitoreo Ambiental (*cf.* Tablas 4.1.1.6 y 4.1.1.7 y Fig. 4.1.1.6 y 4.1.1.7). Los datos obtenidos en los sectores Ciruelos y Rucaco, no representan una medida real de transparencia debido a que estos fueron obtenidos desde la orilla del cauce, por la imposibilidad de acceder al centro de este.

Tabla 4.1.1.7. Comparación interanual de la transparencia (m) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. * = debido al bajo caudal del río durante algunos muestreos, no fue posible obtener una medida real de transparencia ya que en estas estaciones el fondo era claramente visualizado y no estaba a más de 30 a 40 cm de profundidad.

	transparencia (m)											
estaciones	**2014**			**2015**								
	abr	**may**	**jul**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	*	0,8	0,7	*	*	1,0	*	*	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	0,9	0,5	*	*	1,0	*	*	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	4,4	2,1	1,5	2,5	SD	2,4	1,3	1,5	2,1	1,9	1,8	1,6
4 (sector Santa Clara)	3,0	1,8	0,8	4,5	3,9	2,4	2,0	1,6	3,3	2,0	2,1	2,5
5 (sector Punucapa)	2,9	2,4	1,3	2,7	2,8	2,5	1,8	2,1	2,9	2,4	2,1	1,7
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	2,0	3,0	0,6	2,4	3,2	2,5	1,5	1,3	2,0	2,6	1,9	1,4
7 (sector Cayumapu)	2,5	2,5	1,0	4,5	4,0	2,3	1,5	1,5	2,1	2,5	1,7	1,7
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	6,6	1,5	1,3	4,0	4,3	1,4	2,5	1,4	1,6	3,8	4,1	4,0

	transparencia (m)											
estaciones	**2016**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	0,7	0,6	*	0,7	0,7	*	*	0,8	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	0,7	0,3	*	0,8	0,7	*	*	0,8	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	1,8	1,7	1,6	1,3	1,7	2,1	4,0	1,1	2,0	3,6	2,3	2,6
4 (sector Santa Clara)	1,8	2,6	2,7	4,5	4,8	4,1	5,1	1,2	4,4	2,8	2,0	2,5
5 (sector Punucapa)	1,4	1,7	2,0	2,3	4,4	2,5	4,3	1,6	3,4	1,5	1,7	2,2
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	1,7	1,8	2,8	3,2	3,3	3,1	3,0	1,4	2,9	2,5	2,7	1,8
7 (sector Cayumapu)	1,6	2,1	2,6	4,8	4,4	3,4	2,2	1,7	3,2	2,2	2,0	1,8
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	5,5	4,1	3,7	4,7	6,7	6,6	7,0	1,7	6,1	6,8	4,1	6,8

	transparencia (m)											
estaciones	**2017**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	0,8	0,7	0,7	1,0	0,9	0,8	1,2	0,8	0,8	0,7	*	0,5
2 (sector Rucaco)	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	1,0	1,0	1,0	0,9	*	1,0
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	2,6	4,5	4,1	4,5	3,9	1,5	2,0	1,1	2,6	3,7	2,8	2,2
4 (sector Santa Clara)	2,3	3,1	5,0	5,3	5,3	2,9	3,0	3,3	2,9	3,7	*	1,4
5 (sector Punucapa)	1,3	2,8	2,3	1,8	3,9	2,9	2,3	2,2	3,2	3,2	2,3	1,4
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	2,0	3,1	3,8	3,1	2,6	1,9	2,3	1,8	2,3	2,3	2,2	1,4
7 (sector Cayumapu)	1,7	2,1	2,3	3,1	2,8	1,6	1,9	2,3	2,2	2,1	1,8	1,4
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	3,9	5,1	5,5	3,9	4,5	2,5	5,3	2,7	4,3	3,3	3,7	6,0

	transparencia (m)											
estaciones	**2018**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	0,8	1,0	0,5	1,1	0,7	1,0	1,0	0,3	1,0	SD	1,0	1,0
2 (sector Rucaco)	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	0,7	0,4	0,8	SD	1,2	1,0
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	1,9	2,3	3,9	4,2	1,4	2,1	1,9	2,1	1,7	SD	2,7	1,0
4 (sector Santa Clara)	1,6	1,8	3,1	3,3	2,9	3,4	3,3	2,8	2,8	SD	2,1	1,2
5 (sector Punucapa)	1,3	1,6	2,5	2,9	2,3	4,1	2,5	2,4	2,0	SD	1,7	1,3
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	1,6	1,9	2,6	2,5	1,8	2,1	2,3	2,1	1,7	SD	2,2	1,1
7 (sector Cayumapu)	1,3	1,5	2,4	1,8	2,2	2,7	2,1	2,1	1,6	SD	1,2	1,1
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	4,0	3,5	3,0	3,8	3,4	4,3	2,8	3,8	3,0	SD	1,7	3,0

	transparencia (m)													
estaciones	**2019**												**2020**	
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**	**ene**	**feb**
Eje central del río Cruces (sector límnico)														
1 (sector Ciruelos)	0,5	0,9	1,0	0,7	0,2	0,3	0,7	0,4	0,5	0,7	0,5	0,5	0,4	0,4
2 (sector Rucaco)	0,7	0,8	1,1	1,0	0,2	0,2	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	0,8	0,7	0,5
Eje central del río Cruces (área estuarial)														
3 (sector fuerte San Luis)	2,0	2,5	SD	4,0	0,6	0,3	1,2	1,4	2,2	3,6	1,9	2,6	1,5	2
4 (sector Santa Clara)	1,6	1,8	2,6	3,4	1,4	1,3	1,7	2,4	3,0	2,0	1,5	1,2	0,7	1,1
5 (sector Punucapa)	1,5	1,4	2,0	2,0	2,1	2,4	2,1	3,2	1,7	1,6	1,1	1,0	0,9	1,5
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)														
6 (sector Pichoy)	1,5	1,3	2,4	2,4	1,1	0,7	1,6	1,4	2,0	1,7	1,1	1,3	0,6	1,0
7 (sector Cayumapu)	1,5	1,5	2,2	3,2	1,8	1,6	1,4	1,8	1,7	1,8	1,1	1,5	0,9	2,0
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)														
8 (sector Calle Calle)	4,9	3,8	3,8	5,2	4,2	1,4	1,7	4,3	5,0	3,6	4,1	5,6	4,1	4,0

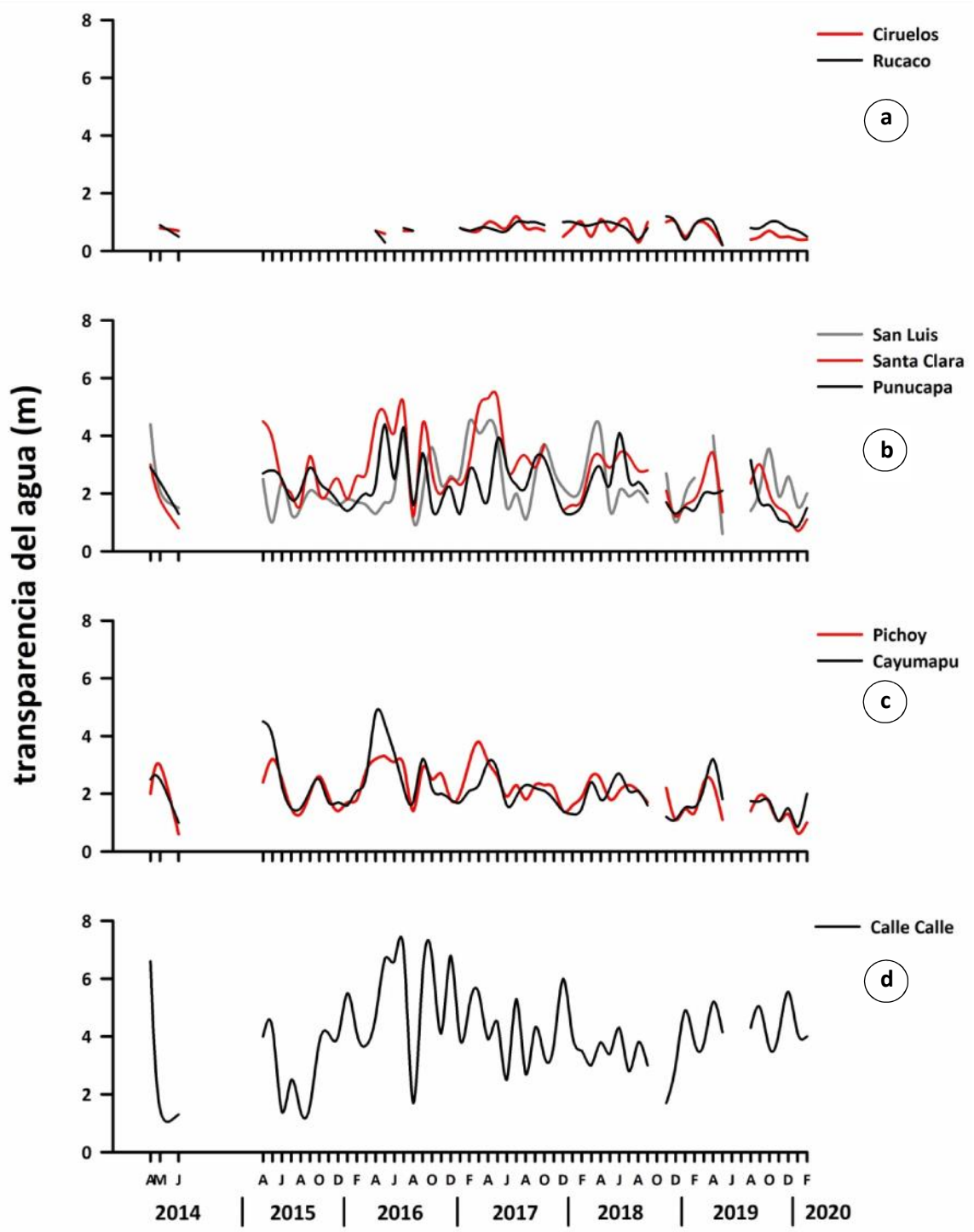


Figura 4.1.1.7. Comparación interanual de la transparencia (m) en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.1.8 muestra los valores promedios de la variabilidad estacional e interanual de los SST y transparencia del agua de cada sector estudiado. No se incluyen en estos análisis las estaciones Ciruelos y Rucaco, ya que los datos obtenidos no representan una medida real de transparencia, debido a que estos fueron obtenidos desde la orilla del cauce, por la imposibilidad de acceder al centro de este.

Tabla 4.1.1.8. Variabilidad interanual (2014-2019) y estacional (abril-julio) de los SST y transparencia del agua: L = sector límnico del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

	SST (mg/L)				**transparencia (m)**			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	4,2	2,8	3,9	2,2	*	3,4	2,3	6,6
julio 2014	19,8	8,6	18,6	16,1	0,6	1,2	0,8	1,3
abril 2016	3,6	3,5	3,0	2,1	*	3,2	3,5	4,0
julio 2015	5,1	4,4	5,7	14,4	*	1,7	1,5	2,5
abril 2016	2,4	4,0	4,6	2,0	0,7	2,7	4,0	4,7
julio 2016	4,0	2,3	3,4	1,1	0,8	4,5	2,6	7,0
abril 2017	2,1	3,0	2,5	3,7	0,9	3,9	3,1	3,9
julio 2017	3,8	3,7	5,6	2,1	1,1	2,7	2,1	5,3
abril 2018	3,7	1,5	4,6	1,8	1,1	3,5	2,2	3,8
julio 2018	9,8	3,3	3,4	3,0	0,9	2,6	2,2	2,8
abril 2019	2,1	2,8	1,7	1,7	0,9	3,1	2,8	5,2
julio 2019	7,3	4,4	5,9	6,8	0,7	1,7	1,5	1,7

La Tabla 4.1.1.9 muestra que las concentraciones de SST fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el periodo de mayor caudal (julio). No se detectaron diferencias significativas ($p>0,05$) entre años y sectores.

Los valores de transparencia del agua fueron significativamente más altos (p<0,05) durante el año 2016, durante el periodo de bajo caudal hídrico (abril) y en la estación río Calle Calle, ubicada fuera del HRC (Tabla 4.1.1.9).

Tabla 4.1.1.9. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de SST y Transparencia en el agua del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019), Sector (Ci= Ciruelos, Ru= Rucaco, SL= San Luis, SC= Santa Clara, Pu= Punucapa, Pi= Pichoy, Ca= Cayumapu y CC= Calle Calle) y Mes (A = abril y J = julio). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor p	Prueba de Tukey
SST (*)(**)	Año (A)	4	22,801	5,700	1,258	0,310	
	Sector (S)	7	39,602	5,657	1,249	0,311	
	Mes (M)	1	67,161	67,161	14,827	**<0,001**	J > A
	Error	28	126,833	4,530			
Transparencia (*)(+)	Año (A)	4	0,295	0,0737	4,170	**0,013**	2016>2015=2017=2018=2019
	Sector (S)	5	0,434	0,0867	4,906	**0,004**	CC>SL=SC=Pu=Pi=Ca
	Mes (M)	1	0,282	0,282	15,951	**<0,001**	A > J
	Error	20	0,354	0,0177			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a $\log_{10}$ o raíz cuadrada; (**) = Cumple al menos un supuesto de ANDEVA. (+) No se ingresaron al análisis los sectores Ciruelos y Rucaco.

Oxígeno disuelto y saturación de oxígeno

Las Tablas 4.1.1.10 y 4.1.1.11 y Figuras 4.1.1.8 y 4.1.1.9, muestran la variabilidad en la concentración y porcentaje de saturación de oxígeno durante las campañas realizadas durante los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019.

Tabla 4.1.1.10. Comparación interanual de la concentración de oxígeno (mg/L) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. SD = sin datos debido a problemas técnicos de la sonda de mediciones.

	concentración de oxígeno (mg/L)											
estaciones	**2014**			**2015**								
	abr	**may**	**jul**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	10,7	10,4	10,4	SD	11,3	11,1	10,7	9,4	11,2	10,8	10,6	10,0
2 (sector Rucaco)	10,8	9,9	10,6	SD	11,9	11,0	10,7	12,1	11,4	11,9	10,9	10,6
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	8,2	9,9	7,7	SD	8,8	6,6	9,0	11,9	10,3	10,7	9,2	8,2
4 (sector Santa Clara)	10,1	11,5	10,5	SD	10,3	10,1	10,7	10,1	11,8	10,2	9,9	10,6
5 (sector Punucapa)	10,0	11,0	10,7	SD	10,1	10,3	10,8	10,8	10,5	9,9	9,8	9,8
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	9,5	10,8	9,1	SD	9,4	9,0	9,7	9,3	10,4	10,4	9,8	10,1
7 (Sector Cayumapu)	7,6	10,7	8,6	SD	9,9	6,6	8,2	8,2	8,9	9,1	8,3	7,3
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	9,6	10,7	11,1	SD	9,7	11,0	11,3	11,5	11,8	11,4	10,3	10,8

	concentración de oxígeno (mg/L)											
estaciones	**2016**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	8,7	8,3	9,2	11,1	11,6	14,4	13,7	12,9	12,4	10,9	9,9	11,9
2 (sector Rucaco)	9,3	8,4	9,0	10,6	12,4	13,6	13,6	13,5	12,3	11,3	9,7	13,0
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	7,8	6,1	7,1	7,5	10,2	11,1	13,0	9,3	11,4	9,1	8,1	9,7
4 (sector Santa Clara)	7,9	8,7	8,9	9,8	9,3	13,8	14,2	12,5	11,7	10,1	8,5	10,4
5 (sector Punucapa)	7,3	8,1	8,9	9,9	10,3	12,4	14,1	11,7	10,5	9,4	8,7	10,3
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	6,6	7,7	7,6	9,0	8,8	11,6	13,4	10,5	10,7	8,6	8,4	10,3
7 (Sector Cayumapu)	5,1	4,1	5,7	7,9	8,8	10,8	12,9	10,0	9,2	8,4	8,0	8,1
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	8,7	8,9	8,9	9,0	10,2	11,6	11,9	12,3	11,9	11,6	9,8	10,7

	concentración de oxígeno (mg/L)											
estaciones	**2017**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	9,5	10,1	12,5	12,6	14,1	12,7	13,9	12,6	12,8	12,6	SD	10,9
2 (sector Rucaco)	9,7	10,5	12,0	12,0	14,6	12,5	14,0	13,9	13,1	13,0	SD	11,4
Eje central del río Cruces (sector estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	8,1	9,9	9,6	11,0	12,9	12,4	13,2	12,6	12,6	13,1	11,9	10,2
4 (sector Santa Clara)	8,1	9,5	10,8	12,1	14,6	11,6	12,5	13,9	13,2	13,1	SD	9,4
5 (sector Punucapa)	8,8	9,4	10,8	12,1	13,1	11,3	12,6	13,3	12,8	12,7	11,2	9,7
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)												
6 (sector Pichoy)	7,5	9,1	9,8	10,9	13,0	10,7	12,1	11,8	12,1	11,3	12,1	9,5
7 (Sector Cayumapu)	5,8	5,6	5,9	8,1	9,3	7,1	9,0	11,5	9,9	9,6	9,6	8,5
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (sector estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	9,7	9,6	10,6	11,0	12,4	12,5	12,9	13,0	13,2	13,2	12,1	11,4

	concentración de oxígeno (mg/L)											
estaciones	**2018**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	9,9	8,3	8,3	11,8	13,7	12,8	12,2	9,1	SD	SD	SD	SD
2 (sector Rucaco)	9,7	8,8	8,8	12,5	13,9	12,8	12,0	9,7	SD	SD	SD	SD
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	8,9	8,5	11,2	11,3	12,1	12,9	13,1	9,2	SD	SD	SD	SD
4 (sector Santa Clara)	9,1	9,4	11,0	11,7	12,3	12,4	12,2	9,3	SD	SD	SD	SD
5 (sector Punucapa)	8,8	9,4	11,2	11,7	12,7	12,4	12,5	7,5	SD	SD	SD	SD
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	8,1	7,9	10,1	10,7	10,7	12,1	11,1	9,0	SD	SD	SD	SD
7 (Sector Cayumapu)	5,1	5,5	8,4	8,1	11,3	10,0	10,6	9,0	SD	SD	SD	SD
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	10,2	9,1	10,4	11,2	12,2	13,2	12,8	9,2	SD	SD	SD	SD

	concentración de oxígeno (mg/L)													
estaciones	**2019**												**2020**	
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**	**ene**	**feb**
Eje central del río Cruces (sector límnico)														
1 (sector Ciruelos)	SD	SD	SD	10,4	11,2	10,5	11,4	10,8	11,2	11,2	10,3	10,3	9,7	9,5
2 (sector Rucaco)	SD	SD	SD	12,0	10,8	SD	13,1	11,8	10,5	11,3	9,9	10,7	8,4	8,6
Eje central del río Cruces (área estuarial)														
3 (sector fuerte San Luis)	SD	SD	SD	9,7	11,4	10,9	11,3	11,7	12,1	11,6	8,7	8,5	8,9	7,7
4 (sector Santa Clara)	SD	SD	SD	10,8	11,1	10,9	11,1	11,6	11,7	11,0	9,5	8,5	9,4	8,8
5 (sector Punucapa)	SD	SD	SD	11,4	10,9	11,2	11,6	11,6	11,1	11,1	9,6	9,6	8,8	8,6
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)														
6 (sector Pichoy)	SD	SD	SD	9,5	10,4	10,1	10,3	11,0	11,2	10,1	9,2	9,2	8,4	7,4
7 (Sector Cayumapu)	SD	SD	SD	9,0	8,9	9,1	8,7	10,3	10,4	9,5	9,0	7,1	5,3	4,1
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)														
8 (sector Calle Calle)	SD	SD	SD	9,5	10,8	11,3	11,3	11,0	11,5	11,3	11,2	10,0	8,5	8,7

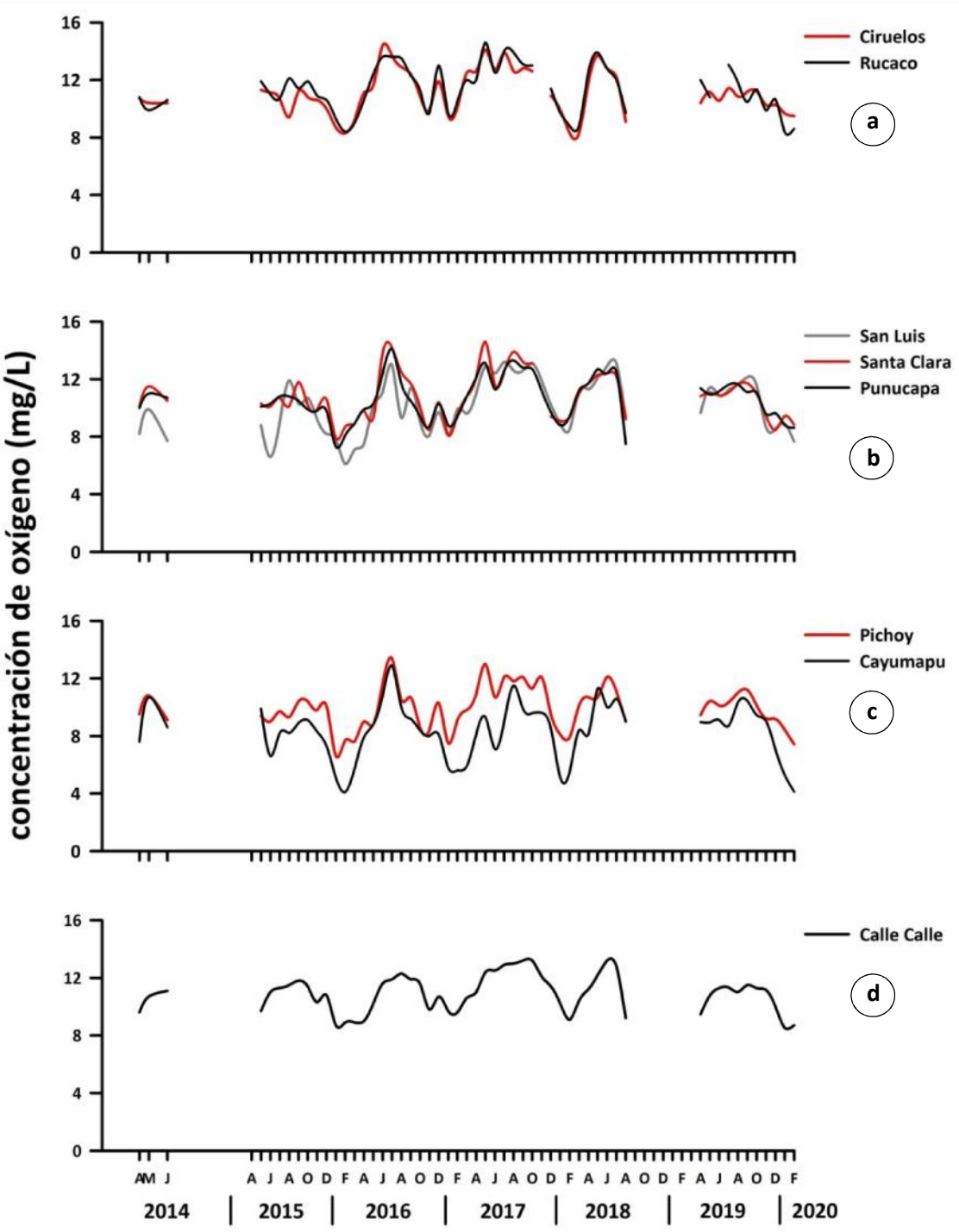


Figura 4.1.1.8. Comparación interanual de la concentración de oxígeno (mg/L) en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

Tabla 4.1.1.11. Comparación interanual de la saturación de oxígeno (%) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

	saturación de oxígeno (%)											
estaciones	**2014**			**2015**								
	abr	**may**	**jul**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	101,5	92,0	92,6	105,9	106,2	98,8	95,5	85,0	101,7	102,6	103,1	100,1
2 (sector Rucaco)	104,4	88,1	94,6	104,3	114,3	98,6	96,2	107,6	104,2	112,0	107,5	104,4
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	79,0	88,7	71,0	71,8	83,2	59,8	80,9	107,0	94,9	101,4	94,8	84,0
4 (sector Santa Clara)	99,3	102,0	94,0	113,7	99,6	89,5	96,7	92,0	111,4	101,0	101,6	116,4
5 (sector Punucapa)	99,2	101,1	95,5	113,1	98,7	91,6	98,8	102,1	100,4	98,0	102,2	106,3
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	90,8	93,4	80,7	90,8	89,6	79,3	87,3	86,0	96,9	98,7	96,3	103,8
7 (sector Cayumapu)	75,7	94,1	75,9	78,0	93,2	59,2	74,0	73,7	85,6	91,3	88,3	81,3
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	96,4	98,1	98,5	97,9	95,8	103,0	101,6	102,4	108,1	105,8	100,1	110,8

	saturación de oxígeno (%)											
estaciones	**2016**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	97,3	91,7	98,5	106,7	108,6	120,7	111,9	116,3	117,9	108,0	100,9	130,4
2 (sector Rucaco)	103,9	93,2	97,2	101,2	117,3	117,8	111,3	123,8	117,3	115,2	101,6	144,6
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	85,4	68,6	78,5	73,3	98,1	95,9	105,7	84,2	110,8	92,2	88,4	112,0
4 (sector Santa Clara)	94,4	100,1	100,7	98,9	89,1	118,2	116,0	112,3	113,9	109,1	100,3	122,7
5 (sector Punucapa)	86,2	95,1	101,1	102,0	100,1	110,3	118,6	103,9	101,6	101,9	102,0	118,3
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	76,5	88,1	84,7	90,5	82,1	96,6	108,1	92,1	103,2	88,6	99,5	120,3
7 (sector Cayumapu)	60,3	47,7	63,4	82,5	83,8	92,3	105,6	95,7	89,7	83,2	93,2	95,8
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	100,3	100,9	99,0	93,1	100,4	106,8	103,5	109,0	111,3	118,7	101,5	119,8

	saturación de oxígeno (%)											
estaciones	**2017**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	108,9	116,0	127,8	118,2	121,6	113,3	115,5	111,1	114,6	115,7	*	109,3
2 (sector Rucaco)	110,5	119,1	129,5	114,0	127,1	112,7	116,2	123,6	118,6	121,5	*	115,4
Eje central del río Cruces (sector estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	94,1	113,0	100,7	106,5	113,0	107,9	113,9	111,3	112,9	123,6	114,4	108,6
4 (sector Santa Clara)	96,6	109,6	115,0	121,2	128,2	104,2	107,7	121,7	121,0	128,1	*	103,5
5 (sector Punucapa)	101,5	107,0	117,7	122,4	112,1	100,9	108,3	116,5	118,5	128,2	121,7	105,2
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)												
6 (sector Pichoy)	88,5	102,9	101,6	105,9	113,1	95,0	100,6	102,7	107,5	107,2	128,8	104,9
7 (sector Cayumapu)	68,4	64,3	62,2	81,8	76,6	61,5	76,3	99,2	92,0	96,7	104,2	93,3
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (sector estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	107,5	108,5	112,9	111,4	116,3	115,0	114,4	116,6	118,3	123,6	118,1	117,0

	saturación de oxígeno (%)											
estaciones	**2018**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	103,9	88,8	118,7	113,1	117,4	112,6	108,1	88,6	61,0	SD	SD	SD
2 (sector Rucaco)	103,9	94,5	129,5	115,3	122,0	113,8	104,6	92,3	37,7	SD	SD	SD
Eje central del río Cruces (área estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	96,7	94,7	110,5	105,2	108,2	112,6	111,7	99,4	109,1	SD	SD	SD
4 (sector Santa Clara)	102,7	108,1	110,6	109,9	110,2	109,2	104,7	99,9	50,0	SD	SD	SD
5 (sector Punucapa)	99,9	106,8	114,6	112,2	114,7	109,0	108,9	79,2	SD	SD	SD	SD
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)												
6 (sector Pichoy)	89,0	88,5	99,1	100,0	94,7	103,7	93,3	98,0	55,0	SD	SD	SD
7 (sector Cayumapu)	59,5	62,2	86,2	78,5	76,6	85,9	90,6	97,2	61,0	SD	SD	SD
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)												
8 (sector Calle Calle)	108,9	101,4	106,7	112,4	112,6	118,9	114,4	99,0	46,3	SD	SD	SD

	saturación de oxígeno (%)													
estaciones	**2019**												**2020**	
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**	**ene**	**feb**
Eje central del río Cruces (sector límnico)														
1 (sector Ciruelos)	SD	SD	SD	98,1	103,6	90,5	99,2	104,5	120,3	106,2	114,0	107,7	98,7	103,6
2 (sector Rucaco)	SD	SD	SD	115,5	97,8	SD	99,1	105,3	98,6	110,4	101,0	109,5	86,0	97,3
Eje central del río Cruces (área estuarial)														
3 (sector fuerte San Luis)	SD	SD	SD	93,3	99,1	94,6	97,2	102,1	110,2	117,9	89,8	93,3	99,2	83,7
4 (sector Santa Clara)	SD	SD	SD	105,2	94,4	96,4	94,9	104,1	117,2	111,0	98,7	98,3	103,7	97,1
5 (sector Punucapa)	SD	SD	SD	111,8	94,4	98,0	99,0	103,7	112,4	115,7	106,4	110,0	98,8	95,9
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)														
6 (sector Pichoy)	SD	SD	SD	90,0	87,9	89,2	85,0	98,0	112,2	99,0	96,5	103,4	95,3	80,8
7 (sector Cayumapu)	SD	SD	SD	88,8	77,4	79,5	73,1	93,7	102,9	96,3	95,4	81,3	60,3	45,6
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)														
8 (sector Calle Calle)	SD	SD	SD	93,7	98,4	102,1	101,6	99,8	108,5	111,0	114,0	103,6	93,6	94,9

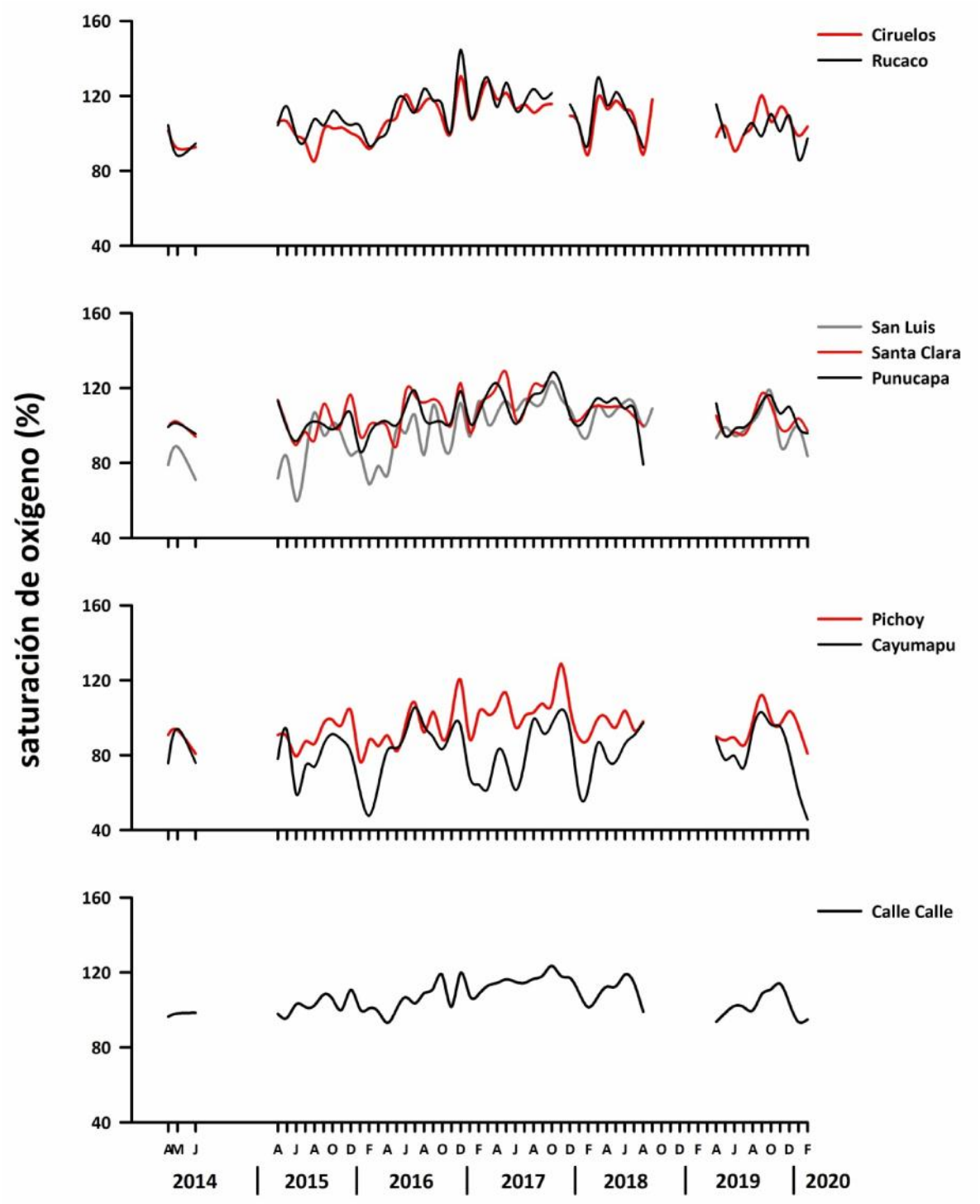


Figura 4.1.1.9. Comparación interanual de la saturación de oxígeno (%) en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.1.12 muestra los valores promedios de la variabilidad estacional e interanual de la concentración y saturación de oxígeno disuelto en aguas superficiales del área de estudio.

Tabla 4.1.1.12. Variabilidad interanual (2014-2019) y estacional (abril- julio) de la concentración y saturación de oxígeno en los sectores de estudio: L = sector límnico del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

	concentración de oxígeno (mg/L)				**saturación de oxígeno (%)**			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	10,8	9,4	8,6	9,6	103,0	92,5	83,3	96,4
julio 2014	10,5	9,6	8,9	11,1	93,6	86,8	78,3	98,5
abril 2015	SD	SD	SD	SD	105,1	99,5	84,4	97,9
julio 2015	10,7	10,2	9,0	11,3	95,9	92,1	80,7	101,6
abril 2016	10,8	9,1	8,5	9,0	103,95	91,4	86,5	93,1
julio 2016	13,7	13,8	13,2	11,9	111,6	113,4	106,9	103,5
abril 2017	12,3	11,7	9,5	11,0	116,1	116,7	93,9	111,4
julio 2017	14,0	12,8	10,6	12,9	115,9	110,0	88,5	114,4
abril 2018	12,2	11,6	9,4	11,2	114,2	109,1	89,3	112,4
julio 2018	12,1	12,6	10,9	12,8	106,4	108,4	92,0	114,4
abril 2019	11,2	10,6	9,2	9,5	106,8	103,5	89,4	93,7
julio 2019	12,2	11,3	9,5	11,3	99,2	97,0	79,1	101,6

La Tabla 4.1.1.13 muestra que las concentraciones de oxígeno fueron significativamente más bajas ($p<0,05$) durante el año 2015, en los meses de menor caudal hídrico (abril) y significativamente más bajas ($p<0,05$) en los ríos tributarios, particularmente el río Cayumapu (Tabla 4.1.1.13).

Los valores de saturación de oxígeno fueron significativamente más bajos ($p<0,05$) durante los años 2015 y 2019 en los ríos tributarios, particularmente el río Cayumapu; no se

observaron diferencias significativas (p>0,05) entre los periodos de menor y mayor caudal hídrico (abril *vs*. julio) (Tabla 4.1.1.13).

T**abla 4.4.1.13.** Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en los valores de oxígeno en aguas superficiales del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019), Sector (Ci= Ciruelos, Ru= Rucaco, SL= San Luis, SC= Santa Clara, Pu= Punucapa, Pi= Pichoy, Ca= Cayumapu y CC= Calle Calle) y Mes (A = abril y J = julio). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor p	Prueba de Tukey
Oxigeno (mg/L)	Año (A)	4	54,106	13,526	29,826	**<0,001**	2017=2018=2016>2019>2015
(*)	Sector (S)	7	54,994	7,856	17,323	**<0,001**	Ci=Ru=SL=SC=Pu=CC=Pi>Ca
	Mes (M)	1	53,628	53,628	118,252	**<0,001**	J > A
	Error	28	12,698	0,454			
Oxigeno (%)	Año (A)	4	5,530	1,383	25,478	**<0,001**	2017=2018=2016>2015=2019
(*)(**)	Sector (S)	7	15,565	2,224	40,976	**<0,001**	Ci=Ru=Pu=SC=CC>SL=Pi>Ca
	Mes (M)	1	0,00101	0,00101	0,0186	0,892	
	Error	28	1,519	0,0543			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a $\log_{10}$ o raíz cuadrada; (**) = Cumple al menos un supuesto de ANDEVA.

Demanda Bioquímica (DBO_5) y Química de Oxígeno (DQO)

Las Tablas 4.1.1.14 y 4.1.1.15 y Figuras 4.1.1.10 y 4.1.1.11, muestran los valores de la demanda bioquímica y química de oxígeno respectivamente.

Tabla 4.1.1.14. Valores de DBO_5 en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

	DBO_5 (mg/L^{-1})				
estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	1,7 (0,7)	1,1 (0,4)	*	0,3 (0,42)	2,7 (0,14)
2 (sector Rucaco)	1,4 (0,6)	0,8 (0,3)	*	0,8 (0,0)	1,7 (0,14)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	0,7 (0,1)	0,7 (0,1)	*	0,9 (0,14)	2,6 (0,85)
4 (sector Santa Clara)	1,3 (0,7)	0,8 (0,0)	2,2 (0,3)	0,3 (0,42)	0,9 (0,42)
5 (sector Punucapa)	0,8 (0,3)	1,1 (0,1)	1,1 (0,1)	1,2 (0,0)	1,5 (0,14)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	1,1 (0,1)	*	2,6 (0,0)	0,8 (0,0)	1,0 (0,28)
7 (río Cayumapu)	0,8 (0,0)	0,9 (0,1)	0,9 (0,1)	1,4 (0,0)	0,6 (0,85)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	2,3 (0,4)	*	*	*	1,6 (0,0)

Continuación tabla **4.1.1.14**

estaciones	DBO_5 (mg/L^{-1}) 2016		2017	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	1,2 (0,0)	1,0 (0,3)	1,4 (0,0)	*
2 (sector Rucaco)	1,4 (0,0)	1,2 (0,0)	1,0 (0,3)	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	1,6 (0,0)	0,4 (0,6)	*	1,4 (0,6)
4 (sector Santa Clara)	0,7 (0,1)	0,9 (0,4)	0,8 (0,2)	*
5 (sector Punucapa)	1,0 (0,3)	0,8 (0,0)	1,8 (0,0)	1,4 (0,4)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	*	1,6 (1,1)	*	0,7 (0,1)
7 (río Cayumapu)	1,6 (0,0)	2,3 (0,1)	1,2 (0,3)	1,2 (0,3)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	*	0,3 (0,4)	*	*

Continuación tabla **4.1.1.14**

estaciones	DBO_5 (mg/L^{-1}) 2018		2019	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	*	1,4	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	1,2 (0,14)	1,1 (0,0	*
5 (sector Punucapa)	*	1,2 (0,07)	1,0 (0,0)	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	*	1,6 (0,35)	1,3 (0,2)	*
7 (río Cayumapu)	*	1,4 (0,49)	1,2 (0,3)	*
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	*	1,5 (0,28)	1,2 (0,1)	*

Tabla 4.1.1.15. Valores de DQO en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	DQO (mg/L^{-1})				
estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	5,0 (0,0)	4,0 (0,0)	7,0 (0,0)	9,0 (1,41)	8,0 (0,0)
2 (sector Rucaco)	6,0 (1,4)	6,0 (3,0)	7,0 (0,0)	7,5 (0,71)	10,0 (0,0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	6,0 (1,4)	4,0 (1,0)	5,0 (0,0)	7,0 (0,0)	10,5 (0,0)
4 (sector Santa Clara)	5,5 (0,7)	5,0 (0,0)	9,0 (0,0)	10,5 (0,7)	7,5 (3,5)
5 (sector Punucapa)	7,5 (2,1)	3,0 (0,0)	6,0 (0,0)	7,5 (0,7)	6,5 (3,5)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	6,0 (0,0)	6,0 (1,0)	12,0 (0,0)	14,5 (0,7)	7,0 (0,0)
7 (río Cayumapu)	7,0 (1,4)	6,0 (0,0)	10,5 (0,7)	11, 0 (0,0)	13,0 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	4,0 (0,0)	5,5 (1,0)	5,5 (0,7)	3,0 (1,4)	4,0 (4,0)

Continuación tabla **4.1.1.15**

	DQO (mg/L^{-1})			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**Julio**	**abril**	**Julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	3,0 (0,0)	3,5 (0,7)	5,0 (0,0)	1,0 (0,0)
2 (sector Rucaco)	7,5 (0,7)	8,5 (0,7)	6,5 (0,7)	1,0 (0,0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	6,0 (1,4)	4,5 (0,7)	7,0 (1,4)	6,0 (0,0)
4 (sector Santa Clara)	9,0 (1,4)	5,0 (0,0)	6,0 (0,0)	5,0 (0,0)
5 (sector Punucapa)	10,5 (0,7)	4,5 (0,7)	6,5 (0,7)	9,0 (1,4)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	7,5 (0,7)	6,5 (0,7)	7,0 (0,0)	2,0 (0,0)
7 (río Cayumapu)	8,5 (0,7)	5,5 (0,7)	6,5 (0,7)	6,0 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	6,0 (1,4)	1,5 (0,7)	4,5 (0,7)	1,0 (0,0)

Continuación tabla **4.1.1.15**

	DQO (mg/L^{-1})			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	8,0 (1,4)	3,5 (0,7)	2,0 (0,0)	*
2 (sector Rucaco)	8,0 (1,4)	5,5 (0,7)	6,5 (0,7)	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	8,5 (0,7)	4,5 (0,7)	4,0 (0,0)	2,5 (0,7)
4 (sector Santa Clara)	9,0 (1,4)	4,5 (0,7)	6,0 (0,0)	*
5 (sector Punucapa)	12,0 (0,0)	5,0 (0,0)	7,0 (0,0)	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	13,5 (0,7)	9,0 (0,0)	2,0	3,5 (0,7)
7 (río Cayumapu)	16,0 (0,0)	10,0 (0,0)	3,5 (0,7)	6,5 (0,7)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	8,0 (1,4)	5,5 (2,1)	*	*

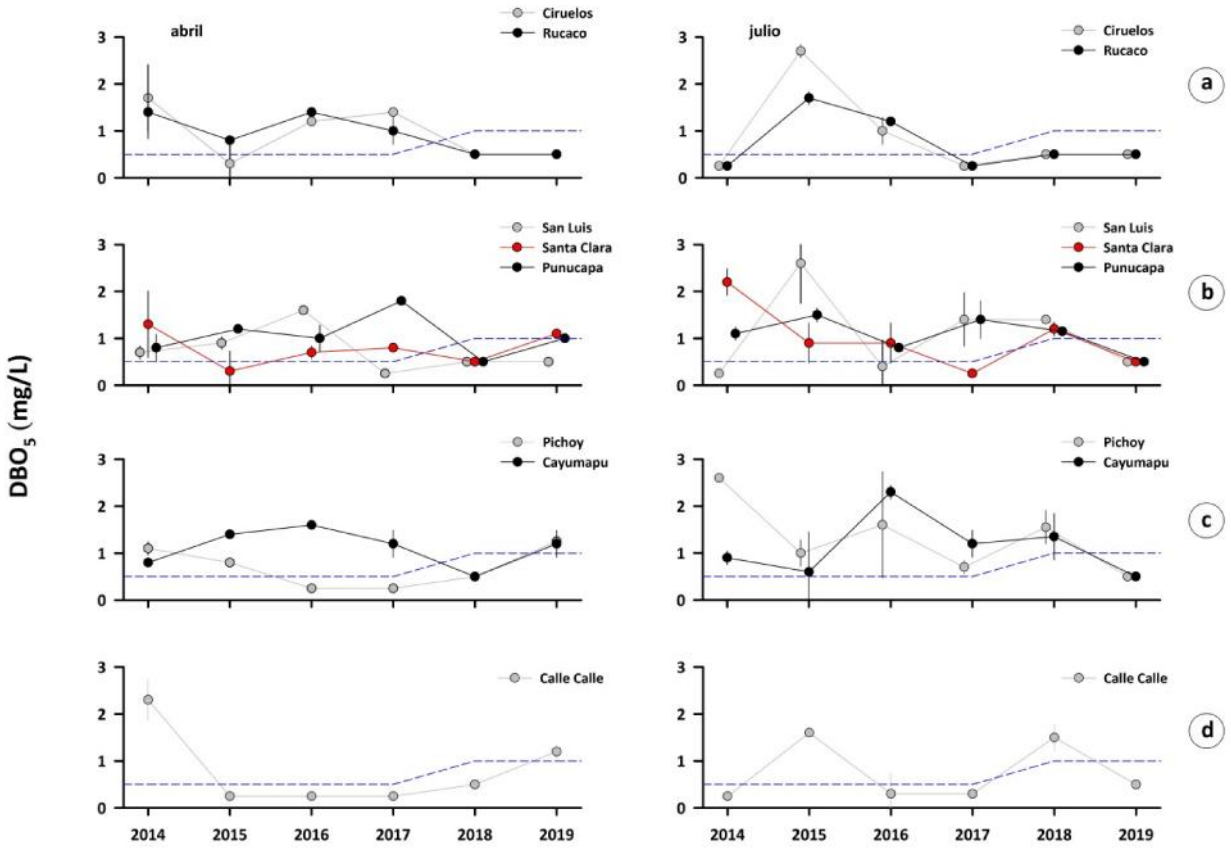


Figura 4.1.1.10. Comparación interanual de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, b) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal. Línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

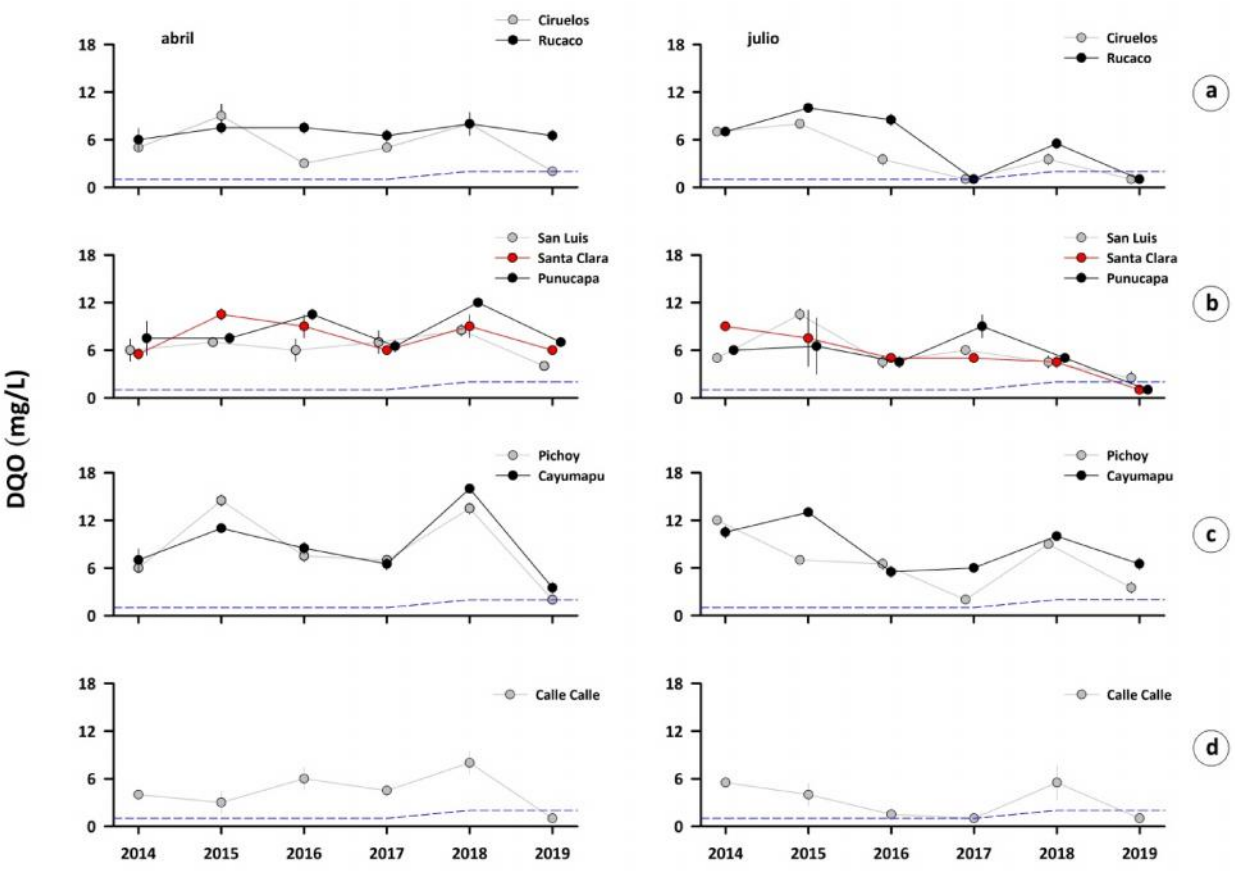


Figura 4.1.1.11. Comparación interanual de la demanda química de oxígeno (DQO) en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, b) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal. Línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.1.16 muestra los valores promedios de la variabilidad estacional e interanual de la demanda bioquímica y química de oxígeno en aguas superficiales del área de estudio.

Tabla 4.1.1.16. Variabilidad interanual (2014-2019) y estacional (abril- julio) de los valores de DBO_5 y DQO en aguas superficiales en los sectores de estudio: L = sector límnico del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

	DBO_5 (mg/L)				**DQO (mg/L)**			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	1,6	0,9	1,0	2,3	5,5	6,3	6,5	4,0
julio 2014	0,3	1,2	1,8	0,3	7,0	6,7	11,3	5,5
abril 2015	0,6	0,8	1,1	0,3	8,3	8,3	12,8	3,0
julio 2015	2,2	1,7	0,8	1,6	9,0	8,2	10,0	4,0
abril 2016	1,3	1,1	0,9	0,3	5,3	8,5	8,0	6,0
julio 2016	1,1	0,7	2,0	0,3	6,0	4,7	6,0	1,5
abril 2017	1,2	0,9	0,7	0,3	5,8	6,5	6,8	4,5
julio 2017	0,3	1,0	1,0	0,3	1,0	6,7	4,0	1,0
abril 2018	0,3	0,3	0,3	0,3	8,0	9,8	14,8	8,0
julio 2018	0,3	1,3	1,7	1,5	4,5	4,7	9,5	5,5
abril 2019	0,5	0,9	1,2	1,2	4,3	5,7	2,8	*
julio 2019	*	*	*	*	*	1,5	5,0	*

Los valores de demanda bioquímica de oxígeno difieren significativamente ($p<0,05$) entre años, siendo los años 2017 y 2019 donde se detectaron las concentraciones más bajas, a su vez la concentración de DBO_5 difiere entre sectores donde Cayumapu presenta concentraciones significativamente más altas ($p<0,05$) que Calle Calle principalmente durante el periodo de mayor caudal hídrico ($p<0,05$) (Tabla 4.1.1.17).

Por su parte, la demanda química de oxígeno presentó valores significativamente más altos ($p<0,05$) durante los años 2015 y 2018, principalmente en el río Cayumapu, tributario del HRC y durante el mes de abril (Tabla 4.1.1.17).

Tabla 4.1.1.17. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en los valores de demanda bioquímica (DBO_5) y química (DQO) de oxígeno en aguas superficiales del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019), Sector (Ci= Ciruelos, Ru= Rucaco, SL= San Luis, SC= Santa Clara, Pu= Punucapa, Pi= Pichoy, Ca= Cayumapu y CC= Calle Calle) y Mes (A = abril y J = julio). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
DBO_5 (*)(***)	Año (A)	5	2,102	0,420	5,348	**<0,001**	2014=2015=2018>2019=2017
	Sector (S)	7	1,236	0,177	2,246	**0,037**	Ca > CC
	Mes (M)	1	0,553	0,553	7,030	**0,009**	J > A
	A × S x M	35	18,947	0,541	6,888	**<0,001**	
	Error	96	7,545	0,0786			
DQO (*)(***)	Año (A)	5	26,348	5,270	154,222	**<0,001**	2015=2018>2014>2016>2017>2019
	Sector (S)	7	16,440	2,349	68,732	**<0,001**	Ca>Pi=Pu=SC=Ru=SL>Ci>CC
	Mes (M)	1	5,259	5,259	153,922	**<0,001**	A > J
	A × S x M	35	12,176	0,348		**<0,001**	
	Error	96	3,280	0,0342			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho. (*) = Datos transformados a $\log_{10}$ o raíz cuadrada; (***) = No cumple supuestos de ANDEVA.

Carbono orgánico total (COT)

La Tabla 4.1.1.18 y Figura 4.1.1.12 muestran la variabilidad de carbono orgánico total (COT) del agua superficial en el área de estudio.

Tabla 4.1.1.18. Concentraciones de carbono orgánico total (COT) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	COT (mg/L)				
estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	0,88 (0,01)	1,49 (0,01)	1,96 (0,05)	1,55 (0,22)	2,04 (0,02)
2 (sector Rucaco)	1,71 (0,07)	1,16 (0,02)	1,73 (0,06)	2,14 (0,08)	2,46 (0,03)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	1,76 (0,27)	1,02 (0,08)	2,28 (0,73)	2,15 (0,15)	1,83 (0,10)
4 (sector Santa Clara)	1,62 (0,19)	1,67 (0,05)	2,78 (0,30)	2,66 (0,01)	1,87 (0,16)
5 (sector Punucapa)	1,77 (0,09)	1,68 (0,00)	2,47 (0,05)	1,82 (0,04)	1,65 (0,09)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	1,42 (0,13)	1,93 (0,00)	3,88 (0,04)	2,42 (0,20)	3,18 (0,13)
7 (río Cayumapu)	1,68 (0,14)	1,33 (0,00)	2,50 (0,04)	1,85 (0,17)	3,42 80,14)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	0,57 (0,08)	1,29 (0,11)	1,39 (0,07)	1,03 (0,15)	1,21 (0,10)

Continuación tabla **4.1.1.18**

	COT (mg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	1,35 (0,07)	2,50 (0,18)	3,9 (0,3)	1,0 (0,0)
2 (sector Rucaco)	2,15 (0,21)	3,95 (0,07)	4,5 (0,1)	3,3 (0,0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	1,60 (0,00)	4,22 (0,49)	4,7 (0,0)	1,7 (0,1)
4 (sector Santa Clara)	2,15 (0,21)	3,79 (0,14)	3,8 (0,1)	2,0 (0,1)
5 (sector Punucapa)	1,80 (0,00)	3,17 (0,44)	4,6 (0,2)	2,5 (0,2)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	2,05 (0,35)	3,25 (0,20)	4,5 (0,1)	4,6 (0,1)
7 (río Cayumapu)	1,95 (0,07)	3,56 (0,42)	4,5 (0,0)	4,5 (0,2)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,73 (0,19)	2,21 (0,18)	3,5 (0,2)	2,7 (0,1)

Continuación tabla **4.1.1.18**

	COT (mg/L)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	2,62 (0,31)	0,96 (0,17)	0,87 (0,02)	1,20 (0,06)
2 (sector Rucaco)	2,74 (0,18)	1,34 (0,15)	2,13 (0,01)	1,36 (0,02)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	2,18 (0,04)	1,08 (0,00)	1,95 (0,24)	1,32 (0,02)
4 (sector Santa Clara)	4,11 (0,11)	1,91 (0,11)	1,76 (0,04)	1,38 (0,18)
5 (sector Punucapa)	3,19 (0,0)	1,34 (0,07)	1,48 (0,11)	1,76 (0,14)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	4,43 (0,33)	2,09 (0,04)	1,55 (0,28)	2,69 (0,09)
7 (río Cayumapu)	4,89 (0,22)	2,45 (0,34)	1,70 (0,06)	3,40 (0,14)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	2,14 (0,33)	1,06 (0,10)	0,77 (0,06)	1,70 (0,08)

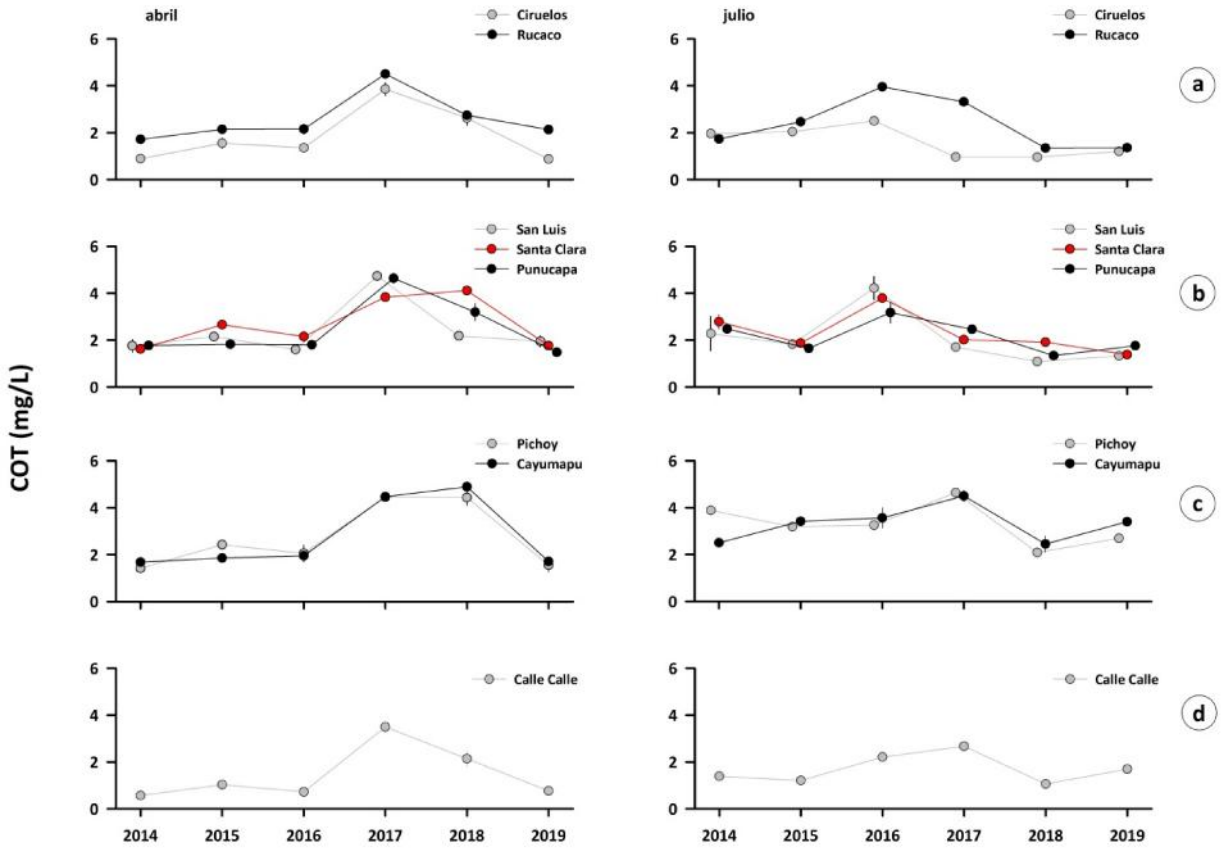


Figura 4.1.1.12. Comparación interanual de la concentración de Carbono Orgánico Total en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y d) en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.1.19 muestra los valores promedios de la variabilidad estacional e interanual de la concentración de COT en aguas superficiales del área de estudio.

Tabla 4.1.1.19. Variabilidad interanual (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019) y estacional (abril-julio) de las concentraciones de carbono orgánico total (COT) en aguas superficiales en los sectores de estudio: L = sector límnico del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

	COT (mg/L)			
	L	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	1,3	1,7	1,6	0,6
julio 2014	1,8	2,5	3,2	1,4
abril 2015	1,8	2,2	2,1	1,0
julio 2015	2,3	1,8	3,3	1,2
abril 2016	1,8	1,9	2,0	0,7
julio 2016	3,2	3,7	3,4	2,2
abril 2017	4,2	4,4	4,5	3,5
julio 2017	2,2	2,1	4,6	2,7
abril 2018	2,7	3,2	4,7	2,1
julio 2018	1,2	1,5	2,3	1,1
abril 2019	1,5	1,7	1,6	0,8
julio 2019	1,3	1,5	3,0	1,7

Los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* indican que las concentraciones de COT fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2017, en los ríos tributarios (Tabla 4.1.1.20). No se observaron diferencias estacionales.

Tabla 4.1.1.20. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en los valores de Carbono Orgánico Total (COT) registrado en aguas del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019), Sector (Ci= Ciruelos, Ru= Rucaco, SL= San Luis, SC= Santa Clara, Pu= Punucapa, Pi= Pichoy, Ca= Cayumapu y CC= Calle Calle) y Mes (A = abril y J = julio). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	P	Prueba de Tukey
COT (*) (***)	Sector (S)	7	46,064	6,581	185,754	**<0,001**	Ca=Pi>Ru=SC>Pu=SL>CC=Ci
	Año (A)	5	67,301	13,460	379,945	**<0,001**	2017>2016=2018>2015>2014>2019
	Mes (M)	1	0,0103	0,0103	0,292	0,590	
	S x A x M	35	19,918	0,569	16,064	**<0,001**	
	Error	96	233,262	0,0354			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*)= Datos transformados Log_{10} o raíz cuadrada (***) = No cumple los supuestos de ANDEVA.

Nutrientes

Amonio, nitrato, nitritos y nitrógeno total.

Las Tablas 4.1.1.21 a 4.1.1.24 y Figura 4.1.1.13 a la 4.1.1.16 muestran la variabilidad del contenido de Amonio, Nitrato, Nitrito y Nitrógeno total en el agua del área de estudio durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC.

No se detectó Nitrito durante los dos primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, no obstante, durante julio del año 2017 este compuesto fue detectado en la mayoría de las estaciones y durante el año 2018 en todas las estaciones, en ambos periodos de muestreos. Así mismo, en la temporada de abril del año 2019, el nitrito fue detectado en todas las estaciones de estudio, a excepción del río Pichoy, caso contrario ocurrió durante la temporada de mayor caudal hídrico, donde este compuesto solo fue detectado en el sector Ciruelos y San Luis (Tabla 4.1.1.23 y Fig. 4.1.1.15).

Tabla 4.1.1.21. Concentración de Amonio ($N\text{-}NH_4$) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

	$N\text{-}NH_4$ (mg /L)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**Julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	0,007 (0,000)	0,015 (0,002)	0,012 (0,000)	0,005 (0,001)	0,012 (0,004)
2 (sector Rucaco)	0,007 (0,001)	0,023 (0,004)	0,009 (0,001)	0,085 (0,003)	0,007 (0,001)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	0,013 (0,000)	0,019 (0,009)	0,007 (0,001)	0,012 (0,002)	0,010 (0,001)
4 (sector Santa Clara)	*	0,006 (0,001)	0,007 (0,000)	0,004 (0,001)	0,007 (0,000)
5 (sector Punucapa)	*	0,011 (0,001)	0,008 (0,002)	*	0,003 (0,000)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	0,003 (0,000)	0,009 (0,001)	0,026 (0,001)	0,008 (0,000)	0,014 (0,006)
7 (río Cayumapu)	*	0,014 (0,006)	0,014 (0,004)	0,008 (0,000)	0,009 (0,001)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	0,005 (0,001)	0,004 (0,000)	0,012 (0,001)	0,011 (0,001)	0,007 (0,001)

Continuación tabla **4.1.1.21**

	$N\text{-}NH_4$ (mg /L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,007 (0,001)	0,005 (0,001)	0,008 (0,002)	0,018 (0,000)
2 (sector Rucaco)	0,056 (0,002)	0,004 (0,001)	0,012 (0,009)	0,020 (0,005)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,009 (0,001)	0,009 (0,000)	0,042 (0,021)	0,030 (0,005)
4 (sector Santa Clara)	0,006 (0,000)	0,003 (*)	0,013 (0,001)	0,015 (0,000)
5 (sector Punucapa)	0,003 (*)	0,011 (0,000)	0,014 (0,003)	0,014 (0,000)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,022 (0,002)	0,010 (0,001)	0,016 (0,006)	0,021 (0,003)
7 (río Cayumapu)	0,008 (0,000)	0,008 (0,001)	0,018 (0,002)	0,026 (0,002)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,018 (0,000)	0,004 (0,001)	0,009 (0,002)	0,007 (0,001)

Continuación tabla **4.1.1.21**

	N-NH4 (mg /L)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,009 (0,001)	0,019 (0,001)	0,007 (0,000)	*
2 (sector Rucaco)	0,010 (0,002)	0,019 (0,001)	0,005	0,008 (0,002)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,012 (0,004)	0,019 (0,001)	0,010 (0,001)	0,006 (0,001)
4 (sector Santa Clara)	0,006 (0,001)	0,015 (0,000)	0,005 (0,000)	0,005
5 (sector Punucapa)	0,005 (0,000)	0,013 (0,000)	0,013 (0,001)	0,006 (0,001)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,011 (0,001)	0,020 (0,001)	0,009 (0,000)	0,009 (0,000)
7 (río Cayumapu)	0,010 (0,001)	0,018 (0,001)	0,010 (0,001)	0,008 (0,001)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	*	0,008 (0,004)	0,013 (0,000)	0,012 (0,001)

Tabla 4.1.1.22. Concentración de Nitrato ($N\text{-}NO_3$) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

	$N\text{-}NO_3$ (mg/L)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	0,126 (0,000)	0,139 (0,004)	0,219 (0,001)	0,128 (0,000)	0,216 (0,001)
2 (sector Rucaco)	0,127 (0,000)	0,134 (0,001)	0,216 (0,001)	0,097 (0,001)	0,169 (0,002)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	0,131 (0,001)	0,126 (0,004)	0,189 (0,005)	0,131 (0,001)	0,158 (0,001)
4 (sector Santa Clara)	0,045 (0,000)	0,084 (0,002)	0,217 (0,005)	0,012 (0,001)	0,173 (0,008)
5 (sector Punucapa)	*	0,044 (0,000)	0,105 (0,004)	*	0,139 (0,004)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	0,048 (0,001)	0,103 (0,001)	0,217 (0,001)	0,019 (0,001)	0,213 (0,003)
7 (río Cayumapu)	0,002 (0,000)	0,073 (0,001)	0,087 (0,001)	0,006 (0,001)	0,083 (0,003)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	0,016 (0,000)	0,066 (0,000)	0,091 (0,001)	0,024 (0,000)	0,100 (0,001)

Continuación tabla **4.1.1.22**

	N-NO3 (mg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,065 (0,001)	0,133 (0,001)	0,088 (0,003)	0,118 (0,000)
2 (sector Rucaco)	0,065 (0,002)	0,135 (0,000)	0,049 (0,001)	0,118 (0,001)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,063 (0,008)	0,049 (0,002)	0,058 (0,001)	0,240 (0,003)
4 (sector Santa Clara)	0,003 (0,000)	0,007 (0,000)	0,027 (0,001)	0,225 (0,006)
5 (sector Punucapa)	*	0,013 (0,000)	0,023 (0,002)	0,212 (0,000)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,011 (0,000)	0,053 (0,001)	0,018 (0,001)	0,129 (0,002)
7 (río Cayumapu)	0,004 (0,001)	0,034 (0,000)	0,020 (0,001)	0,070 (0,000)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,019 (0,001)	0,021 (0,001)	0,043 (0,002)	0,087 (0,002)

Continuación tabla **4.1.1.22**

	N-NO3 (mg/L)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,130 (0,006)	0,180 (0,003)	0,089 (0,001)	0,173 (0,004)
2 (sector Rucaco)	0,115 (0,003)	0,170 (0,001)	0,107 (0,001)	0,170 (0,004)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,122 (0,028)	0,203 (0,000)	0,069 (0,003)	0,190 (0,001)
4 (sector Santa Clara)	0,087 (0,000)	0,218 (0,003)	0,002	0,192 (0,004)
5 (sector Punucapa)	0,036 (0,002)	0,127 (0,004)	0,006 (0,001)	0,217 (0,003)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,061 (0,001)	0,188 (0,000)	0,003 (0,000)	0,185 (0,002)
7 (río Cayumapu)	0,018 (0,001)	0,166 (0,003)	0,006 (0,000)	0,180 (0,001)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,028 (0,004)	0,060 (0,003)	0,038 (0,001)	0,081 (0,001)

Tabla 4.1.1.23. Concentración de Nitrito ($N\text{-}NO_2$) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

	$N\text{-}NO_2$ (mg/L)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	*
2 (sector Rucaco)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	0,002 (0,000)	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	0,002 (0,000)	*	0,002 (0,000)	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	*	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	*	*

Continuación tabla **4.1.1.23**

	$N\text{-}NO_2$ (mg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	0,002
2 (sector Rucaco)	*	*	*	0,002
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	0,002
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	0,002
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	0,002
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	*	*	*	*

Continuación tabla **4.1.1.23**

	$N\text{-}NO_2$ (mg/L)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	*	0,002 (0,000)	0,005 (0,001)	0,002
2 (sector Rucaco)	*	0,003 (0,000)	0,005 (0,000)	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	*	0,002 (0,000)	0,004 (0,000)	0,002 (0,000)
4 (sector Santa Clara)	*	0,003 (0,001)	0,002 (0,000)	*
5 (sector Punucapa)	*	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	*	0,002 (0,000)	*	*
7 (río Cayumapu)	*	0,002 (0,000)	0,002	*
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	*	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	*

Tabla 4.1.1.24. Concentración de Nitrógeno total (N-Total) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	N-Total (mg/L)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	0,214 (0,001)	0,323 (0,017)	0,331 (0,008)	0,225 (0,008)	0,307 (0,006)
2 (sector Rucaco)	0,259 (0,001)	0,335 (0,000)	0,321 (0,002)	0,365 (0,007)	0,306 (0,013)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	0,249 (0,003)	0,254 (0,022)	0,242 (0,001)	0,281 (0,013)	0,308 (0,029)
4 (sector Santa Clara)	0,202 (0,010)	0,209 (0,018)	0,344 (0,001)	0,165 (0,004)	0,284 (0,009)
5 (sector Punucapa)	0,168 (0,000)	0,129 (0,007)	0,241 (0,005)	0,185 (0,001)	0,283 (0,039)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	0,203 (0,000)	0,219 (0,011)	0,471 (0,008)	0,192 (0,007)	0,388 (0,022)
7 (río Cayumapu)	0,190 (0,032)	0,245 (0,032)	0,267 (0,002)	0,184 (0,010)	0,222 (0,011)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	0,082 (0,007)	0,153 (0,012)	0,187 (0,006)	0,122 (0,006)	0,211 (0,004)

Continuación tabla **4.1.1.24**

	N-Total (mg/L)			
Estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,195 (0,023)	0,193 (0,011)	0,181 (0,017)	0,193 (0,018)
2 (sector Rucaco)	0,239 (0,010)	0,229 (0,005)	0,204 (0,006)	0,163 (0,001)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,205 (0,017)	0,242 (0,020)	0,350 (0,009)	0,380 (0,022)
4 (sector Santa Clara)	0,142 (0,014)	0,113 (0,014)	0,148 (0,001)	0,327 (0,005)
5 (sector Punucapa)	0,218 (0,015)	0,162 (0,014)	0,249 (0,009)	0,297 (0,022)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,181 (0,017)	0,156 (0,003)	0,145 (0,008)	0,373 (0,026)
7 (río Cayumapu)	0,226 (0,006)	0,164 (0,013)	0,186 (0,019)	0,312 (0,040)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,140 (0,006)	0,091 (0,007)	0,262 (0,015)	0,112 (0,011)

Continuación tabla **4.1.1.24**

	N-Total (mg/L)			
Estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,243 (0,001)	0,258 (0,001)	0,243 (0,021)	0,330 (0,009)
2 (sector Rucaco)	0,259 (0,010)	0,281 (0,004)	0,227 (0,023)	0,321 (0,001)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,261 (0,001)	0,290 (0,006)	0,190 (0,017)	0,330 (0,012)
4 (sector Santa Clara)	0,229 (0,005)	0,307 (0,002)	0,159 (0,035)	0,336 (0,002)
5 (sector Punucapa)	0,196 (0,004)	0,220 (0,019)	0,245 (0,001)	0,296 (0,001)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,264 (0,005)	0,300 (0,013)	0,207 (0,016)	0,326 (0,004)
7 (río Cayumapu)	0,264 (0,000)	0,291 (0,008)	0,198 (0,024)	0,304 (0,006)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,109 (0,001)	0,107 (0,006)	0,153 (0,033)	0,129 (0,001)

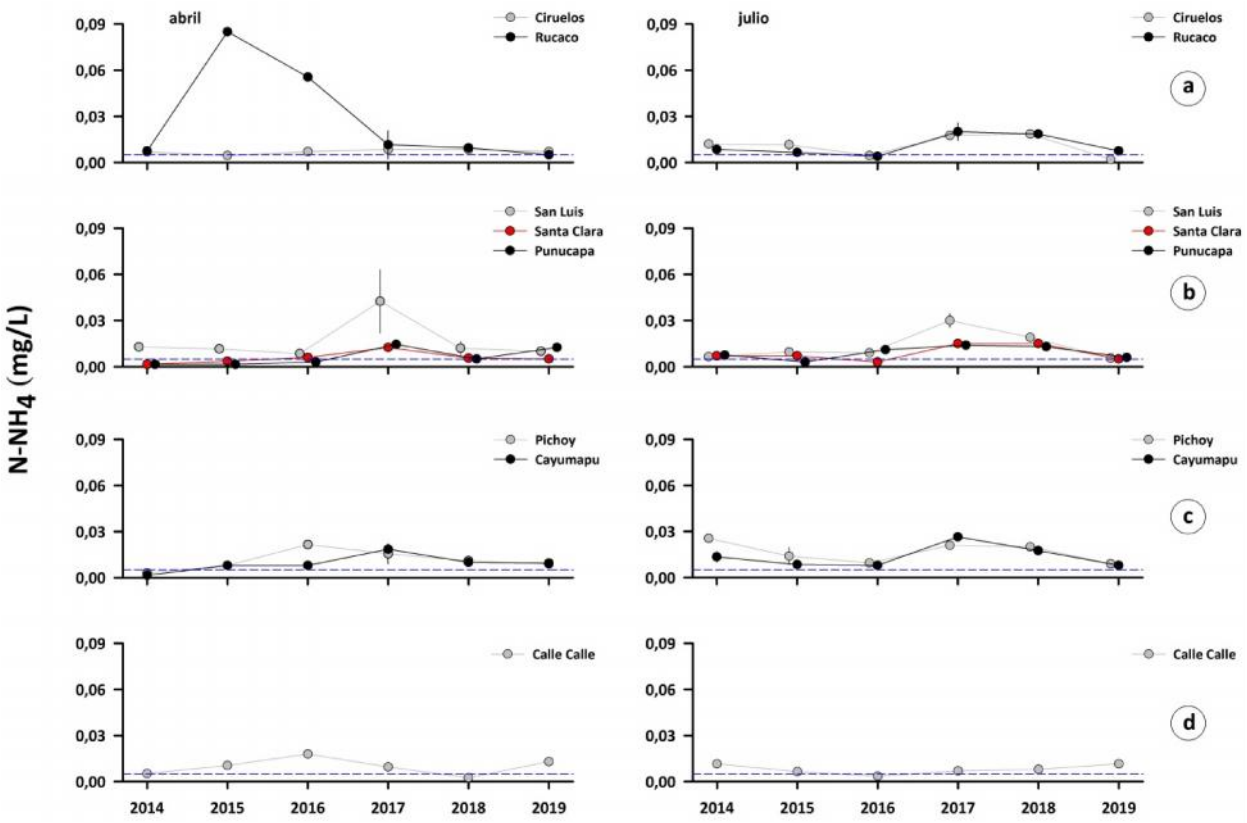


Figura 4.1.1.13. Comparación interanual de la concentración de amonio ($N\text{-}NH_4$) en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal. La línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

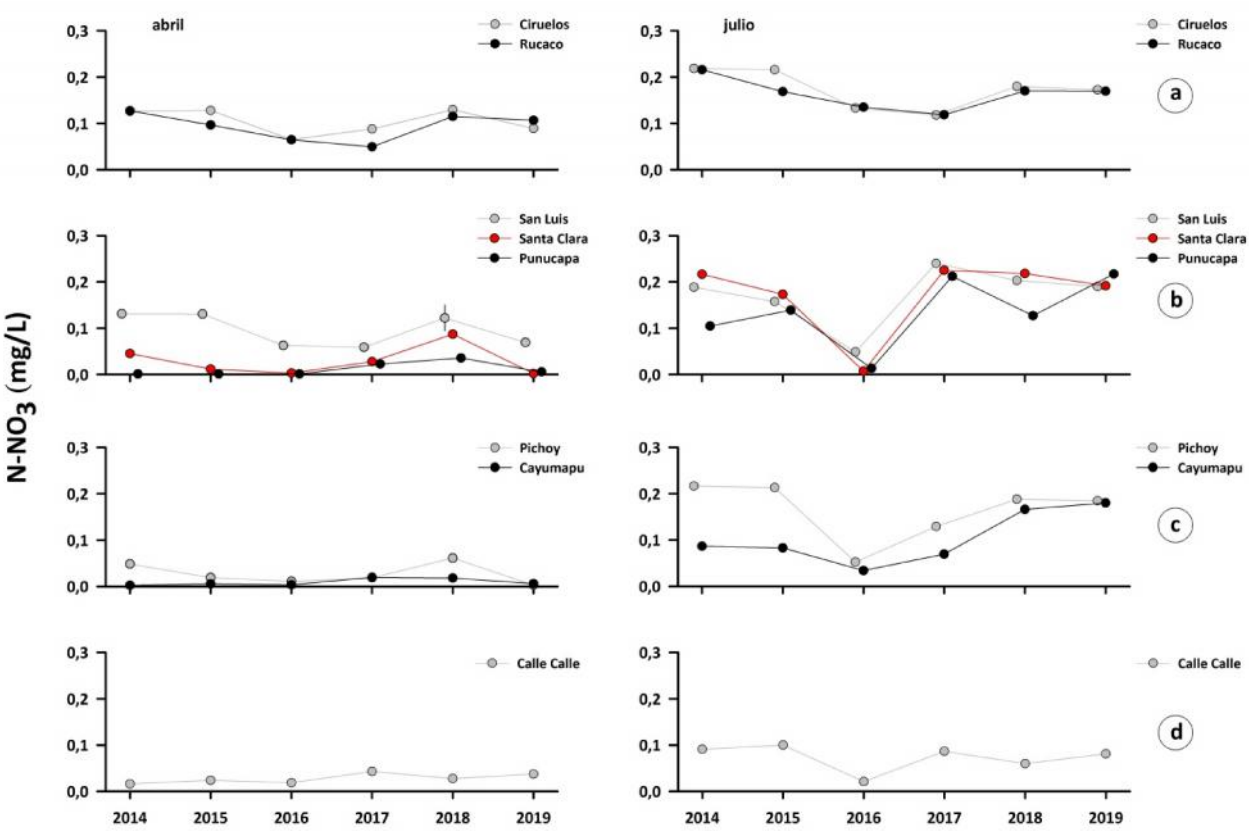


Figura 4.1.1.14. Comparación interanual de la concentración de nitrato ($N\text{-}NO_3$), en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

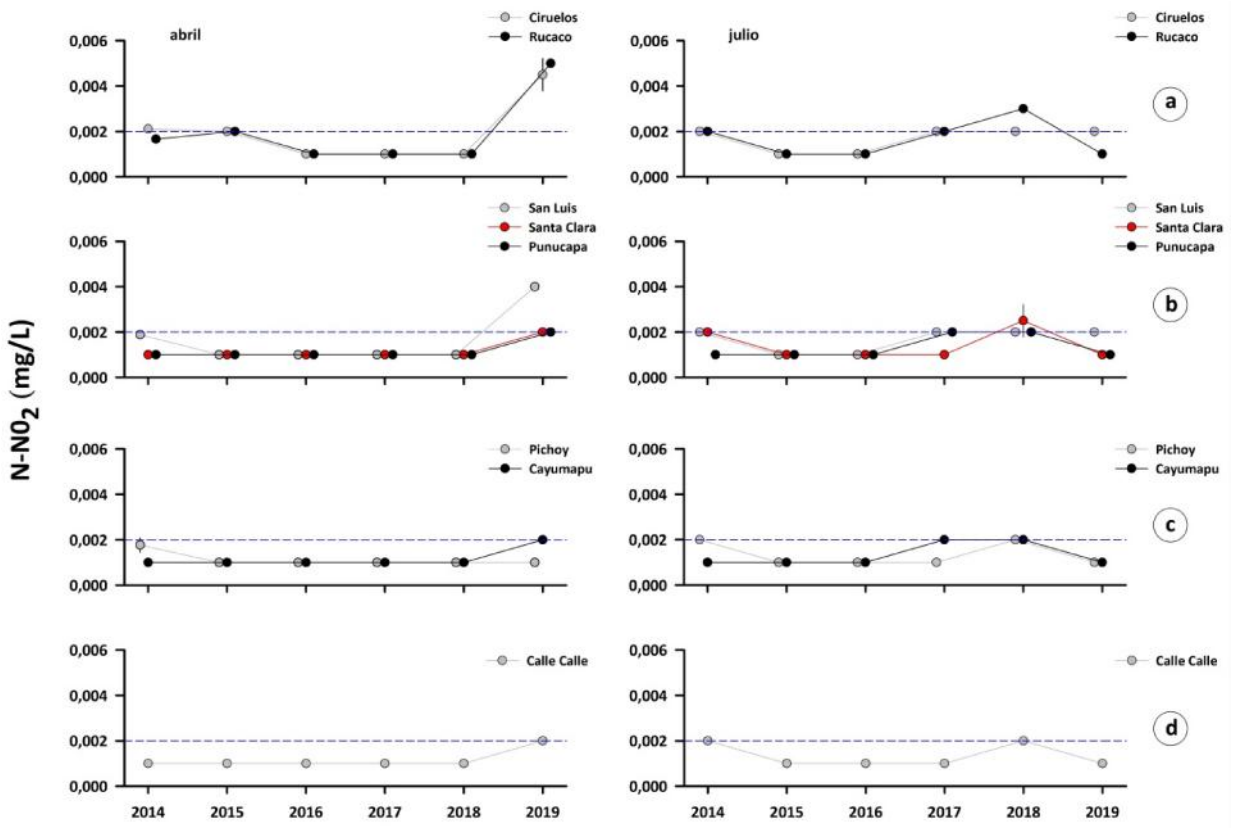


Figura 4.1.1.15. Comparación interanual de la concentración de nitrito ($N\text{-}NO_2$), en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal. La línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

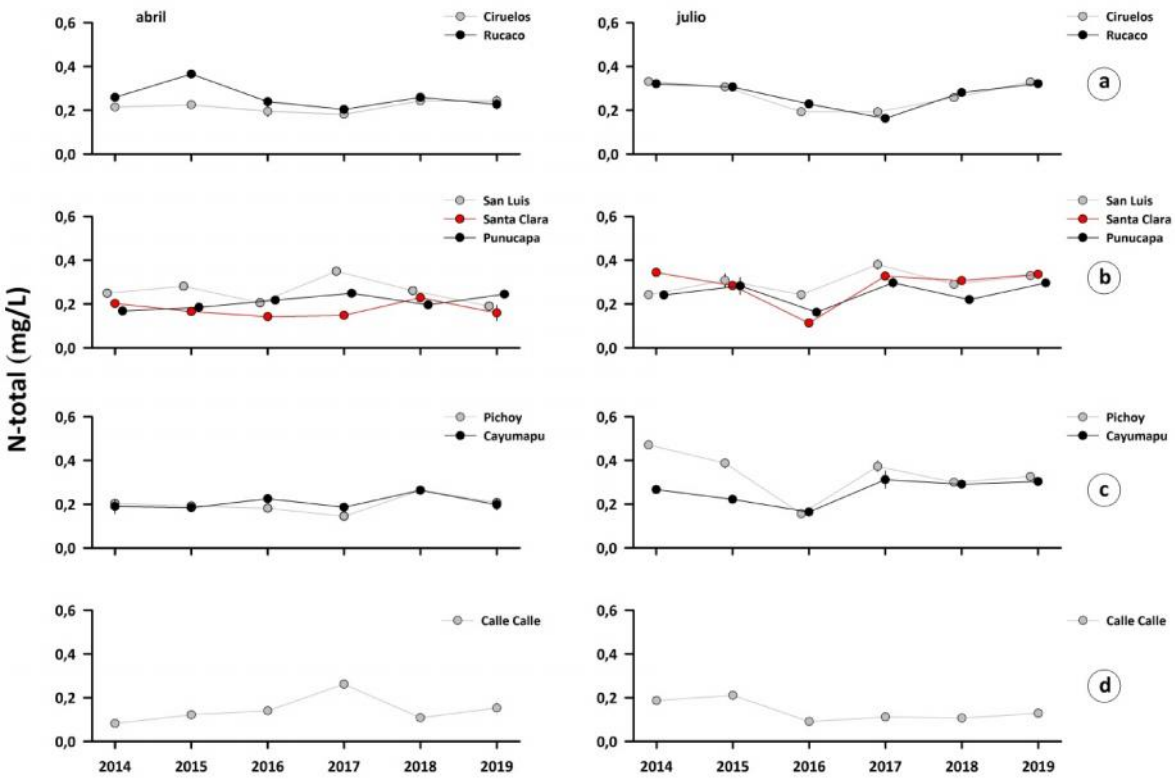


Figura 4.1.1.16. Comparación interanual de la concentración Nitrógeno total (N-total) en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.1.25 muestra los valores promedios de la variabilidad estacional e interanual del contenido de Amonio, Nitrato y Nitrógeno total en aguas del área de estudio, durante los periodos 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. No se realizaron estos análisis para la variable Nitrito, debido a que no fue detectado en la mayor de las campañas realizadas.

Tabla 4.1.1.25. Variabilidad interanual (2014-2019) y estacional (abril- julio) de la concentración de Amonio ($N\text{-}NH_4$), Nitrato ($N\text{-}NO_3$) y Nitrógeno total (N-Total) en aguas superficiales en los sectores de estudio: L = sector límnico del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

	$N\text{-}NH_4$ (mg /L)				$N\text{-}NO_3$ (mg/L)				N-Total (mg/L)			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	0,007	0,005	0,002	0,005	0,127	0,059	0,025	0,016	0,237	0,206	0,197	0,082
julio 2014	0,011	0,007	0,020	0,012	0,218	0,170	0,152	0,091	0,326	0,276	0,369	0,187
abril 2015	0,045	0,006	0,008	0,011	0,113	0,048	0,013	0,024	0,295	0,210	0,188	0,122
julio 2015	0,010	0,007	0,012	0,007	0,193	0,157	0,148	0,100	0,307	0,292	0,305	0,211
abril 2016	0,056	0,006	0,015	0,018	0,065	0,022	0,008	0,019	0,217	0,188	0,204	0,140
julio 2016	0,005	0,007	0,009	0,004	0,134	0,023	0,044	0,021	0,211	0,172	0,160	0,091
abril 2017	0,010	0,023	0,017	0,009	0,069	0,036	0,019	0,043	0,193	0,248	0,166	0,262
julio 2017	0,019	0,020	0,024	0,007	0,118	0,226	0,100	0,087	0,177	0,334	0,342	0,112
abril 2018	0,009	0,008	0,011	0,025	0,122	0,082	0,040	0,028	0,251	0,228	0,264	0,109
julio 2018	0,019	0,016	0,019	0,008	0,175	0,183	0,177	0,060	0,269	0,272	0,295	0,107
abril 2019	0,006	0,009	0,009	0,013	0,098	0,026	0,005	0,038	0,235	0,198	0,203	0,153
julio 2019	0,005	0,006	0,009	0,012	0,171	0,200	0,182	0,081	0,325	0,320	0,315	0,129

El Amonio presento diferencias significativas entre años y sectores, donde concentraciones detectadas el año 2017 fueron significativamente más altas ($p<0,005$) que en otros años, además este compuesto presento concentraciones significativamente más altas ($p<0,05$) en Rucaco. No se detectaron diferencias entre períodos de muestreos (Tabla 4.1.1.26).

Las concentraciones de Nitrato detectadas durante el año 2016 fueron significativamente más bajas ($p<0,05$) que las detectadas durante todos los otros años (Tabla 4.1.1.26). A su vez, las concentraciones de este nutriente fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el periodo de mayor caudal hídrico (julio), en el sector límnico, particularmente en Ciruelos (Tabla 4.1.1.26).

Los contenidos de Nitrógeno total fueron significativamente más bajos (p<0,05) durante el año 2016. Así mismo, este compuesto presento concentraciones significativamente más bajas (p<0,05) durante el mes de abril y en el río Calle Calle, fuera del HRC (Tabla 4.1.1.26).

Tabla 4.1.1.26. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de Amonio ($N\text{-}NH_4$), Nitrato ($N\text{-}NO_3$) y Nitrógeno total (N-Total) registrado en aguas superficiales del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019), Sector (Ci= Ciruelos, Ru= Rucaco, SL= San Luis, SC= Santa Clara, Pu= Punucapa, Pi= Pichoy, Ca= Cayumapu y CC= Calle Calle) y Mes (A = abril y J = julio). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor p	Prueba de Tukey
$N\text{-}NH_4$ (*)(***)	Año (A)	5	0,0384	0,00767	70,780	**<0,001**	2017>2018>2015=2016>2019=2014
	Sector (S)	7	0,0395	0,00564	52,047	**<0,001**	Ru>SL=Pi>Ca>Ci=CC=Pu>SC
	Mes (M)	1	0,000375	0,000375	3,459	0,066	
	A x S x M	35	0,0710	0,00203	18,718	**<0,001**	
	Error	96	0,0104	0,000108			
$N\text{-}NO_3$ (*)(***)	Año (A)	5	0,440	0,0880	2747,102	**<0,001**	2018>2014>2015=2019=2017>2016
	Sector (S)	7	0,787	0,112	3510,136	**<0,001**	Ci>Ru=SL>Pi>CC=SC>Ca=Pu
	Mes (M)	1	1,394	1,394	43523,288	**<0,001**	J > A
	A x S x M	35	0,159	0,00453	141,575	**<0,001**	
	Error	96	0,00307	0,0000320			
N-Total (*)(***)	Año (A)	5	0,129	0,0258	118,667	**<0,001**	2014=2015=2017=2018=2019>2016
	Sector (S)	7	0,376	0,0537	247,154	**<0,001**	SL=Ru=Pi>Ci=Ca=Pu=SC>CC
	Mes (M)	1	0,137	0,137	630,113	**<0,001**	J > A
	A x S x M	35	0,147	0,00420	19,310	**<0,001**	
	Error	96	0,0209	0,000217			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a $\log_{10}$ o raíz cuadrada; (***) = No cumple supuestos de ANDEVA.

Fosfatos y Fósforo total

Las Tablas 4.1.1.27 a 4.1.1.28 y las Figuras 4.1.1.17 y 4.1.1.18 muestran la variabilidad del contenido de Fosfato y Fósforo total en el agua del área de estudio durante los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019.

Tabla 4.1.1.27. Concentración de Fosfato ($P\text{-}PO_4$) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

	$P\text{-}PO_4$ (mg/L)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	0,005 (0,000)	0,004 (0,000)	0,003 (0,000)	0,002 (0,000)	0,003 (0,001)
2 (sector Rucaco)	0,003 (0,000)	0,003 (0,000)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	0,003 (0,000)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	0,002 (0,000)	0,003 (0,000)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	0,003 (0,001)
4 (sector Santa Clara)	*	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	*	0,002 (0,000)
5 (sector Punucapa)	*	0,002 (0,000)	*	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	*	*	*	*	0,004 (0,002)
7 (río Cayumapu)	*	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	*	0,002 (0,000)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	*	0,005 (0,000)	0,003 (0,000)	0,002 (0,000)	0,003 (0,000)

Continuación tabla **4.1.1.27**

	$P\text{-}PO_4$ (mg/L)			
Estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	*	*	0,002 (0,001)	*
2 (sector Rucaco)	0,002 (*)	*	0,002 (*)	0,003 (*)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,002 (0,000)	*	*	0,003 (0,001)
4 (sector Santa Clara)	0,002 (0,000)	*	0,002 (0,001)	0,002 (0,000)
5 (sector Punucapa)	0,003 (0,000)	0,002 (0,000)	*	0,002 (0,000)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	*	*	*	0,003 (0,002)
7 (río Cayumapu)	0,002 (*)	*	0,002 (*)	0,002 (0,000)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,003 (0,000)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	0,003 (0,001)

Continuación tabla **4.1.1.27**

	$P\text{-}PO_4$ (mg/L)			
Estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,004 (0,002)	0,002 (0,000)	0,003 (0,001)	0,003 (0,000)
2 (sector Rucaco)	0,003 (0,000)	0,002 (0,000)	0,003 (0,000)	0,003 (0,000)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	0,004 (0,001)	0,003 (0,000)
4 (sector Santa Clara)	*	0,003 (0,001)	0,003 (0,001)	0,003 (0,000)
5 (sector Punucapa)	*	*	0,004 (0,001)	0,002 (0,000)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	*	*	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)
7 (río Cayumapu)	*	*	0,003 (0,001)	0,002 (0,000)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,002 (0,000)	0,003 (0,001)	0,006 (0,001)	0,004 (0,001)

Tabla 4.1.1.28. Concentración de Fósforo total (P-total) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	P-total (mg/L)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	0,022 (0,001)	0,052 (0,004)	0,039 (0,006)	0,020 (0,001)	0,035 (0,003)
2 (sector Rucaco)	0,019 (0,002)	0,056 (0,002)	0,044 (0,006)	0,025 (0,010)	0,036 (0,001)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	0,013 (0,001)	0,028 (0,007)	0,019 (0,000)	0,016 (0,002)	0,034 (0,004)
4 (sector Santa Clara)	0,015 (0,002)	0,010 (0,011)	0,041 (0,005)	0,011 (0,001)	0,017 (0,001)
5 (sector Punucapa)	0,015 (0,001)	0,017 (0,000)	0,024 (0,000)	0,013 (0,000)	0,015 (0,000)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	0,018 (0,000)	0,015 (0,001)	0,054 (0,004)	0,015 (0,001)	0,026 (0,006)
7 (río Cayumapu)	0,016 (0,003)	0,020 (0,002)	0,026 (0,000)	0,011 (0,001)	0,019 (0,001)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	0,009 (0,002)	0,019 (0,001)	0,024 (0,000)	0,013 (0,000)	0,033 (0,004)

Continuación tabla **4.1.1.28**

	P-total (mg/L)			
Estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,019 (0,001)	0,015 (0,000)	0,012 (0,002)	0,022 (0,004)
2 (sector Rucaco)	0,021 (0,001)	0,013 (0,001)	0,013 (0,000)	0,019 (0,000)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,019 (0,001)	0,015 (0,001)	0,010 (0,003)	0,026 (0,003)
4 (sector Santa Clara)	0,013 (0,001)	0,011 (0,000)	0,007 (0,000)	0,014 (0,000)
5 (sector Punucapa)	0,022 (0,001)	0,013 (0,003)	0,016 (0,004)	0,013 (0,003)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,012 (0,002)	0,013 (0,001)	0,007 (0,000)	0,023 (0,002)
7 (río Cayumapu)	0,016 (0,004)	0,014 (0,001)	0,008 (0,003)	0,024 (0,005)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,017 (0,000)	0,013 (0,001)	0,008 (0,001)	0,009 (0,000)

Continuación tabla **4.1.1.28**

	P-total (mg/L)			
Estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,020 (0,0007)	0,018 (0,0007)	0,165 (0,007)	0,024 (0,001)
2 (sector Rucaco)	0,019 (0,0007)	0,030 (0,0028)	0,013 (0,000)	0,024 (0,001)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,015 (0,0014)	0,022 (0,0035)	0,013 (0,000)	0,025 (0,001)
4 (sector Santa Clara)	0,010 (0,0000)	0,014 (0,0007)	0,013 (0,001)	0,018 (0,001)
5 (sector Punucapa)	0,011 (0,0000)	0,011 (0,0000)	0,017 (0,001)	0,012 (0,000)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,017 (0,0007)	0,014 (0,0000)	0,020 (0,000)	0,016 (0,000)
7 (río Cayumapu)	0,020 (0,0007)	0,015 (0,0007)	0,013 (0,001)	0,015 (0,001)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,011 (0,0000)	0,010 (0,0007)	0,016 (0,000)	0,011 (0,001)

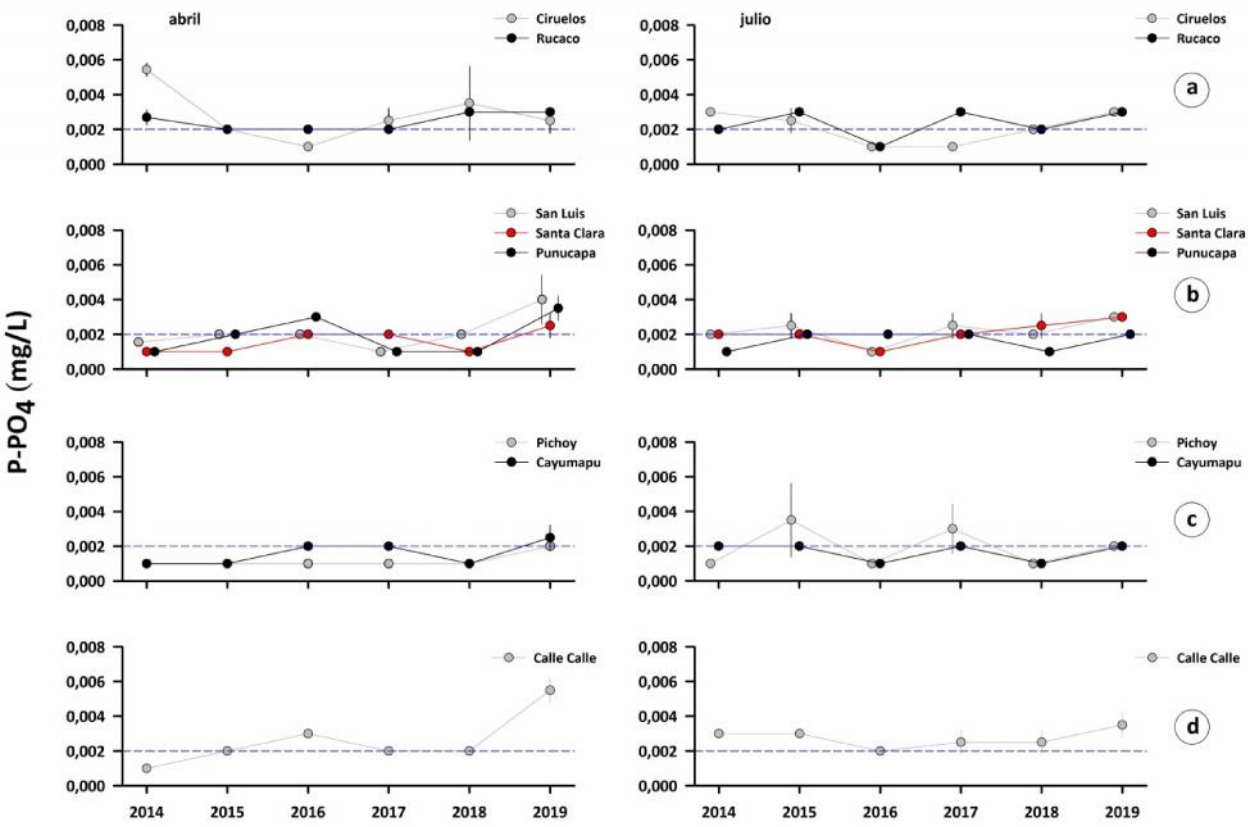


Figura 4.1.1.17. Comparación interanual de la concentración de Fosfato ($P\text{-}PO_4$) en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal. La línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

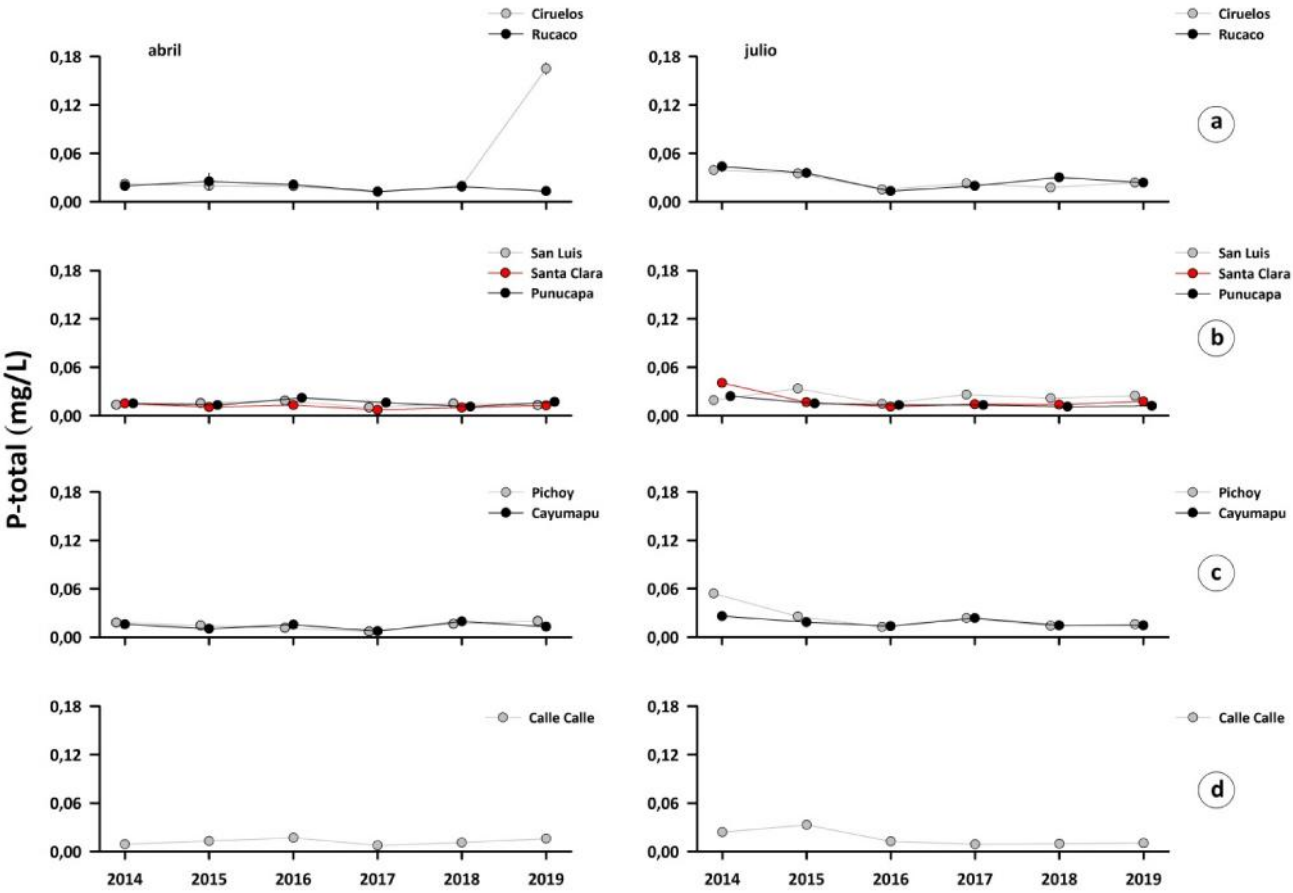


Figura 4.1.1.18. Comparación interanual de la concentración de Fósforo total (P-total) en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal. La línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.1.29 muestra los valores promedios de la variabilidad estacional e interanual del contenido de Fosfato y Fósforo total en aguas del área de estudio, durante los periodos 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019.

Tabla 4.1.1.29. Variabilidad interanual (2014-2019) y estacional (abril- julio) de la concentración de Fosfato ($P\text{-}PO_4$) y Fósforo total (P-total) en aguas superficiales en los sectores de estudio: L = sector límnico del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

	$P\text{-}PO_4$ (mg/L)				**P-total (mg/L)**			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	0,004	0,001	0,001	0,001	0,021	0,014	0,017	0,009
julio 2014	0,003	0,002	0,002	0,003	0,042	0,028	0,040	0,024
abril 2015	0,002	0,002	0,001	0,002	0,023	0,013	0,013	0,013
julio 2015	0,003	0,002	0,003	0,003	0,036	0,022	0,023	0,033
abril 2016	0,002	0,002	0,002	0,003	0,020	0,018	0,014	0,017
julio 2016	0,001	0,001	0,001	0,002	0,014	0,013	0,014	0,013
abril 2017	0,002	0,001	0,002	0,002	0,013	0,011	0,008	0,008
julio 2017	0,002	0,002	0,003	0,003	0,021	0,018	0,024	0,009
abril 2018	0,003	0,001	0,001	0,002	0,019	0,012	0,018	0,011
julio 2018	0,002	0,002	0,001	0,003	0,024	0,015	0,014	0,010
abril 2019	0,003	0,003	0,002	0,006	0,089	0,014	0,017	0,016
julio 2019	0,003	0,003	0,002	0,004	0,024	0,018	0,015	0,011

No se observaron diferencias significativas estacionales en las concentraciones de Fosfatos, por el contrario, las concentraciones de estas sales fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el último año de Monitoreo Ambiental, en el sector límnico del HRC (Ciruelos y Rucaco) y fuera de este (río Calle Calle) (Tabla 4.1.1.30).

Las concentraciones de Fósforo total fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante los años 2014 y 2019, durante el periodo de mayor caudal hídrico (julio) en Ciruelos, sector límnico (Tabla 4.1.1.30).

Tabla 4.1.1.30. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en el valor de Fosfato (P-PO_4) y Fósforo Total (P-total) registrado en aguas superficiales del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019), Sector (Ci= Ciruelos, Ru= Rucaco, SL= San Luis, SC= Santa Clara, Pu= Punucapa, Pi= Pichoy, Ca= Cayumapu y CC= Calle Calle) y Mes (A = abril y J = julio). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba Tukey
P-PO4 (*)(***)	Año (A)	5	0,339	0,0677	15,349	**<0,001**	2019>2014=2015=2016=2017=2018
	Sector (S)	7	0,255	0,0364	8,251	**<0,001**	Ci=Ru=CC>SL=SC=Pu=Pi=Ca
	Mes (M)	1	0,000063	0,000063	0,0144	0,905	
	A x S x M	35	0,362	0,0103	2,342	**<0,001**	
	Error	96	0,424	0,00441			
P-total (*)(***)	Año (A)	5	1,191	0,238	103,443	**<0,001**	2014=2019>2015>2018=2016>2017
	Sector (S)	7	1,586	0,227	98,367	**<0,001**	Ci>Ru>SL=Pi>Ca=Pu=SC>CC
	Mes (M)	1	0,603	0,603	261,925	**<0,001**	J > A
	A x S x M	35	1,159	0,0331	14,378	**<0,001**	
	Error	96	0,221	0,00230			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a $\log_{10}$ o raíz cuadrada; (***) = No cumple supuestos de ANDEVA.

Bacterias coliformes totales y fecales

Las Tablas 4.1.1.31 y 4.1.1.32 y Figura 4.1.1.19 y 4.1.1.20 muestran las concentraciones de Bacterias coliformes totales y fecales, en el agua del área de estudio durante los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019.

Tabla 4.1.1.31. Concentración de Bacterias coliformes totales en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Bacterias coliformes totales (NMP/100 mL)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**Julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	1.895 (1.987)	6.400 (2.121)	3.600 (1.838)	595 (1.485)	6.400 (2.121)
2 (sector Rucaco)	4.100 (1.131)	15.950 (11.384)	2.300 (0)	250 (28)	4.100 (1.131)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	895 (573)	4.900 (0)	465 (332)	1.245 (644)	5.600 (3.253)
4 (sector Santa Clara)	59 (15)	410 (113)	4.345 (5.028)	515 (2.616)	3.200 (141)
5 (sector Punucapa)	640 (212)	4.900 (0)	4.750 (4.455)	1.045 (361)	1.800 (707)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	200 (42)	275 (78)	560 (325)	120 (71)	765 (757)
7 (río Cayumapu)	268 (314)	410 (113)	385 (148)	330 (0)	560 (325)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	230 (0)	3.550 (1.909)	1.895 (1.987)	420 (524)	1.495 (997)

Continuación **Tabla 4.1.1.31.**

	Bacterias coliformes totales (NMP/100 mL)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	480 (438)	230 (141)	2.300 (1.414)	1.045 (361)
2 (sector Rucaco)	480 (438)	150 (28)	895 (573)	490 (0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	1.260 (1.471)	220 (0)	1.045 (361)	1.750 (636)
4 (sector Santa Clara)	1.315 (1.393)	64 (21)	230 (0)	1.095 (856)
5 (sector Punucapa)	7.800 (4.525)	330 (0)	795 (431)	1.395 (1.280)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	105 (36)	79 (0)	230 (0)	1.045 (361)
7 (río Cayumapu)	715 (827)	64 (21)	360 (184)	510 (396)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	170 (85)	5.100 (3.960)	1.045 (361)	640 (2012)

Continuación **Tabla 4.1.1.31.**

	Bacterias coliformes totales (NMP/100 mL)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnico)				
1 (sector Ciruelos)	5.100 (3960)	2.045 (1775)	475 (21)	4.450 (1.344)
2 (sector Rucaco)	3.300 (0,0)	2.200 (1556)	280 (71)	3.500 (0,0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	1.395 (1280)	4.100 (1131)	1.850 (778)	1.500 (283)
4 (sector Santa Clara)	2.000 (424)	490 (0,0)	890 (1146)	2.210 (1.824)
5 (sector Punucapa)	895 (573)	1.045 (361)	385 (148)	1.070 (750)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	625 (233)	665 (615)	285 (64)	595 (148)
7 (río Cayumapu)	1.895 (1987)	2.000 (1838)	1.445 (1351)	580 (170)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	895 (573)	410 (113)	2.950 (778)	2.600 (1.273)

Tabla 4.1.1.32. Concentración de Bacterias coliformes fecales en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Bacterias coliformes fecales (NMP/100 mL)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**Julio**	**Abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnico)					
1 (sector Ciruelos)	355 (191)	465 (332)	410 (113)	140 (42)	790 (0)
2 (sector Rucaco)	345 (163)	1.200 (707)	385 (148)	72 (54)	715 (545)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	41 (11)	410 (113)	40 (13)	36 (18)	895 (573)
4 (sector Santa Clara)	33 (0)	30 (4)	790 (0)	28 (7)	450 (481)
5 (sector Punucapa)	33 (23)	945 (219)	200 (42)	56 (33)	300 (269)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	56 (32)	55 (34)	360 (184)	105 (36)	105 (36)
7 (río Cayumapu)	7 (8)	35 (16)	117 (33)	9 (2)	310 (255)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	76 (76)	3.550 (1.909)	1.095 (856)	200 (42)	200 (42)

Continuación **Tabla 4.1.1.32.**

	Bacterias coliformes fecales (NMP/100 mL)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnico)				
1 (sector Ciruelos)	56 (33)	64 (21)	190 (199)	56 (33)
2 (sector Rucaco)	51 (40)	64 (21)	280 (71)	49 (0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	60 (15)	23 (0)	95 (64)	70 (0)
4 (sector Santa Clara)	33 (0)	5 (0)	56 (33)	36 (18)
5 (sector Punucapa)	1.150 (71)	140 (42)	125 (21)	36 (18)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	20 (4)	20 (4)	56 (33)	95 (64)
7 (río Cayumapu)	18 (6)	6 (3)	18 (7)	127 (146)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	60 (15)	560 (325)	170 (85)	33 (0)

Continuación **Tabla 4.1.1.32.**

	Bacterias coliformes fecales (NMP/100 mL)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnico)				
1 (sector Ciruelos)	360 (184)	795 (431)	40 (13)	945 (219)
2 (sector Rucaco)	290 (85,0)	1290 (1428)	41 (11)	1030 (806)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	49 (0,0)	140 (128)	240 (156)	82 (69)
4 (sector Santa Clara)	33 (0,0)	28 (7)	17 (0,0)	105 (36)
5 (sector Punucapa)	32 (1,0)	410 (113)	41 (11)	36 (18)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	40 (9,0)	13 (0,0)	56 (33)	33 (0,0)
7 (río Cayumapu)	35 (16,0)	41 (11)	9 (1,0)	28 (7)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	52 (26,0)	36 (18)	515 (389)	410 (113)

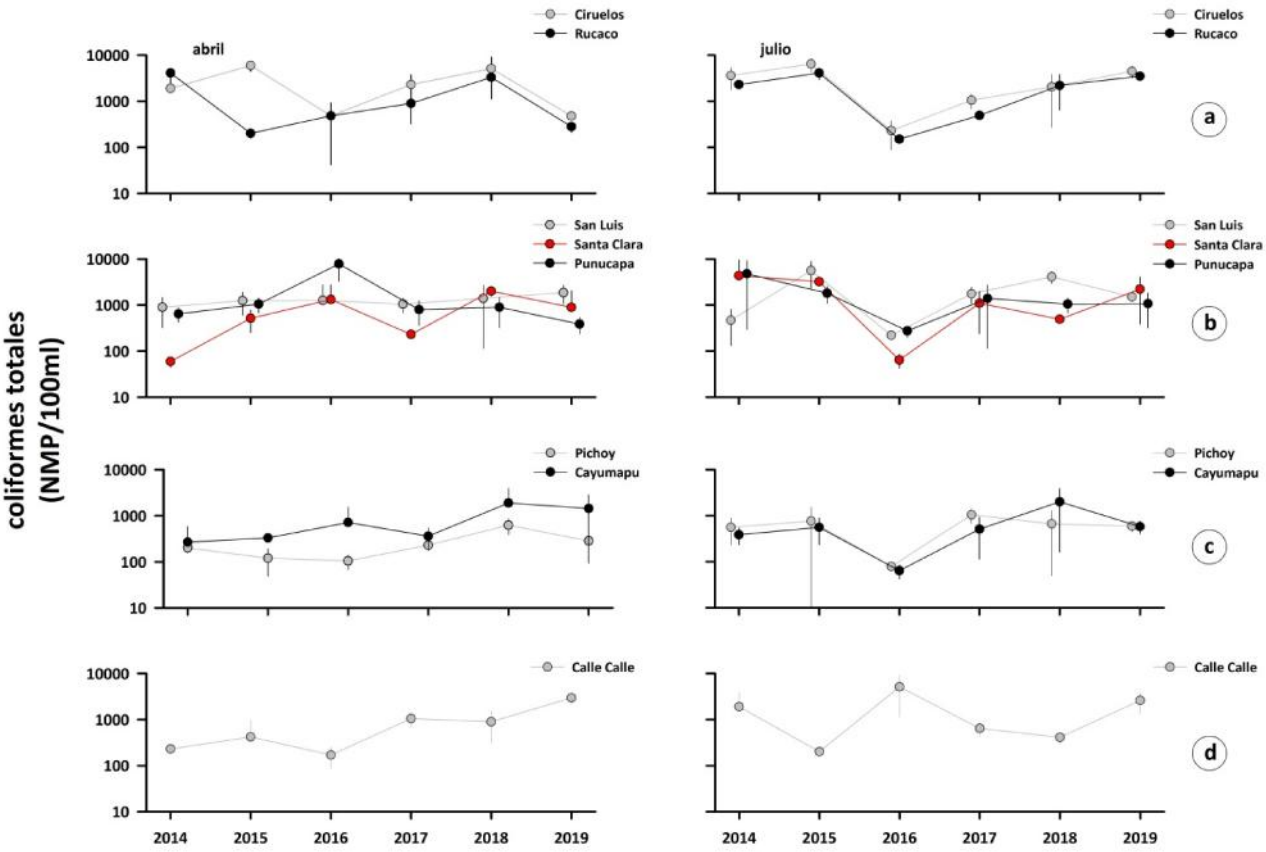


Figura 4.1.1.19. Comparación interanual de la concentración de Bacterias coliformes totales (NMP/100ml) en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

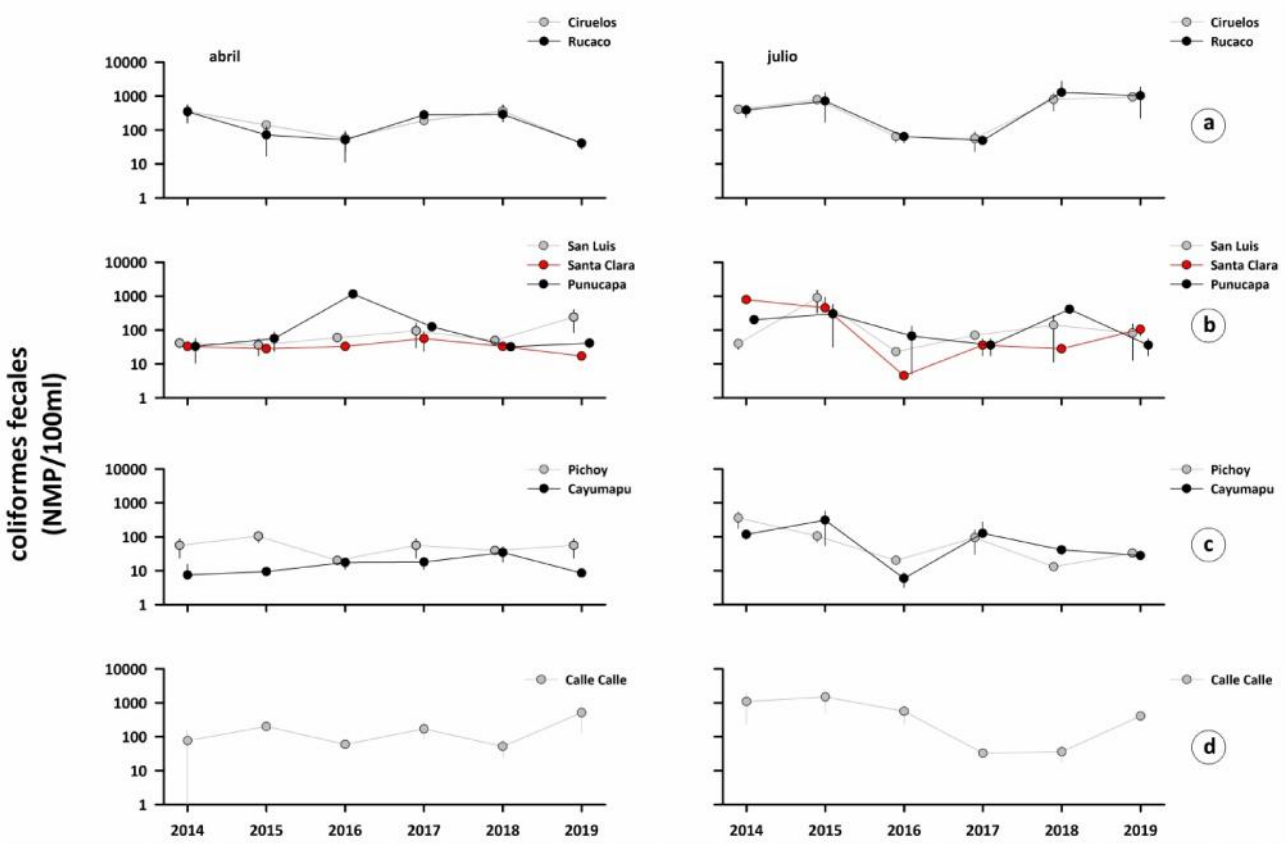


Figura 4.1.1.20. Comparación interanual de la concentración de Bacterias coliformes fecales (NMP/100ml) en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.1.33 muestra los valores promedios de la variabilidad estacional e interanual de la concentración de Bacterias coliformes totales (col. totales) y Bacterias coliformes fecales (col. fecales) en aguas superficiales del área de estudio.

Tabla 4.1.1.33. Variabilidad interanual (2014-2019) y estacional (abril-julio) de las concentraciones de Bacterias coliformes totales (col. totales) y Bacterias coliformes fecales (col. fecales) en aguas superficiales del área de estudio: L = sector límnico del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

	col. totales (NMP/100 mL)				**col. fecales (NMP/100 mL)**			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	2.998	531	234	230	350	36	32	76
julio 2014	2.950	3.187	473	1.895	398	343	239	1.095
abril 2015	423	935	225	420	106	40	57	200
julio 2015	5.250	3.533	663	1.495	753	548	208	200
abril 2016	480	3.458	410	170	54	414	19	60
julio 2016	190	205	72	5.100	64	56	13	560
abril 2017	1.598	690	295	1.045	235	92	37	170
julio 2017	768	1.413	778	640	53	47	111	33
abril 2018	4.200	1.430	1.260	895	325	38	37	52
julio 2018	2.123	1.878	1.333	410	1.043	193	27	36
abril 2019	378	1.042	865	2.950	41	99	32	515
julio 2019	3.975	1.593	588	2.600	988	74	31	410

Las concentraciones de Bacterias coliformes totales fueron significativamente más bajas ($p>0,05$) el año 2016, en los ríos Pichoy y Cayumapu, tributarios del HRC y durante el periodo de menor caudal hídrico (Tabla 4.1.1.34).

Las concentraciones de Bacterias coliformes fecales fueron significativamente más bajas ($p<0,05$) durante los años 2016 y 2017, por el contrario, estas concentraciones fueron

significativamente más altas (p<0,05) en los sectores Ciruelos y Rucaco (área hímnica) y río Calle Calle (fuera del HRC), durante la temporada de mayor caudal hídrico (julio) (Tabla 4.1.1.34).

Tabla 4.1.1.34. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de Bacterias coliformes totales (Col. totales) y bacterias coliformes fecales (Col. fecales) registradas en aguas del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019), Sector (Ci= Ciruelos, Ru= Rucaco, SL= San Luis, SC= Santa Clara, Pu= Punucapa, Pi= Pichoy, Ca= Cayumapu y CC= Calle Calle) y Mes (A = abril y J = julio). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor p	Prueba de Tukey
Col. totales	Año (A)	5	6,698	1,340	12,382	**<0,001**	2014=2015=2017=2018=2019>2016
(*)(***)	Sector (S)	7	9,981	1,413	13,060	**<0,001**	Ci=Ru>SL=SC=Pu=CC>Pi=Ca
	Mes (M)	1	1,228	1,228	11,348	**0,001**	J > A
	A x S x M	35	12,144	0,347	3,207	**<0,001**	
	Error	96	10,386	0,107			
Col. fecales	Año (A)	5	6,021	1,204	17,669	**<0,001**	2015=2014=2018=2019>2016=2017
(**)	Sector (S)	7	17,826	2,547	37,368	**<0,001**	Ru=Ci=CC>Pu=SL=SC=Pi>Ca
	Mes (M)	1	4,007	4,007	58,804	**<0,001**	J > A
	A x S x M	35	12,712	0,363	5,330	**<0,001**	
	Error	96	6,542	0,0681			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a $\log_{10}$ o raíz cuadrada; (***) = No cumple supuestos de ANDEVA.

Cloruro y Sulfato

La Tabla 4.1.1.35 y las Figuras 4.1.1.21 y 4.1.1.22 muestran las concentraciones de los iones Cloruro y Sulfato disueltos en el agua, durante los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019.

La distribución temporal y espacial de las concentraciones de ambos iones muestra un comportamiento similar, observándose una disminución desde los meses de menor a mayor caudal hídrico (abril y julio, respectivamente). Las aguas del sector Ciruelos (sector

límnico) y del río Calle Calle (fuera del HRC), muestran las concentraciones más bajas de estos compuestos durante todo el Programa Monitoreo Ambiental del HRC, a la vez que el agua de los sitios ubicados en el eje central del HRC (sector estuarial) presentaron las concentraciones más altas, particularmente en el sector Punucapa, durante la campaña de abril de los años 2015, 2016 y 2019. A su vez, los datos obtenidos el presente año mostraron un aumento en las concentraciones con respecto al año anterior (Tabla 4.1.1.35 y Figuras 4.1.1.21 y 4.1.1.22).

Tabla 4.1.1.35. Concentración de Cloruro y Sulfato en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Cloruro (mg/L)				
estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	2,8 (0,0)	2,3 (0,1)	2,0 (0,0)	3,8 (0,1)	3,6 (0,4)
2 (sector Rucaco)	16,3 (0,9)	4,1 (0,1)	2,7 (0,0)	19,5 (0,2)	5,0 (0,2)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	12,9 (0,3)	5,0 (0,1)	3,0 (0,0)	17,0 (0,3)	6,0 (0,0)
4 (sector Santa Clara)	23,3 (1,6)	5,2 (0,1)	3,2 (0,0)	249,4 (0,7)	7,8 (1,7)
5 (sector Punucapa)	178,8 (0,9)	6,5 (0,1)	4,2 (0,0)	703,7 (3,4)	5,7 (0,3)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	3,8 (0,1)	3,7 (0,1)	3,2 (0,1)	31,6 (0,3)	6,0 (1,0)
7 (río Cayumapu)	85,6 (0,8)	5,5 (0,0)	3,6 (0,2)	517,3 (2,7)	7,4 (0,30)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	1,5 (0,1)	1,6 (0,0)	2,0 (0,1)	1,8 (0,2)	3,5 (0,2)

Continuación **Tabla 4.1.1.35**

	Cloruro (mg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	5,9 (0,3)	4,5 (0,3)	2,4 (0,1)	2,5 (0,1)
2 (sector Rucaco)	39,7 (2,1)	23,2 (0,9)	16,4 (0,4)	5,2 (0,0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	32,9 (1,3)	20,5 (0,9)	12,9 (0,8)	4,4 (0,0)
4 (sector Santa Clara)	233,5 (5,0)	135,9 (4,7)	23,5 (0,8)	5,9 (0,4)
5 (sector Punucapa)	2258,4 (41,3)	691, 0 (25,9)	220,3 (1,6)	5,1 (0,0)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	12,8 (0,6)	20,2 (0,6)	4,8 (0,1)	4,2 (0,1)
7 (río Cayumapu)	430,6 (10,6)	52,2 (1,8)	53,1 (1,3)	5,3 (0,1)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	4,0 (0,0)	3,3 (0,3)	1,3 (0,0)	2,0 (0,0)

Continuación **Tabla 4.1.1.35**

	Cloruro (mg/L)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	2,1 (0,0)	2,3 (0,2)	3,2 (0,0)	2,3 (0,0)
2 (sector Rucaco)	7,1 (0,1)	4,8 (0,1)	16,4 (0,0)	3,6 (0,1)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	5,9 (0,0)	4,2 (0,1)	14,2 (0,1)	3,4 (0,2)
4 (sector Santa Clara)	5,2 (0,0)	4,6 (0,1)	237,5 (5,9)	3,4 (0,1)
5 (sector Punucapa)	5,3 (0,1)	3,6 (0,1)	1.074,9 (5,5)	3,9 (0,0)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	3,5 (0,0)	3,7 (0,1)	10,0 (0,6)	3,5 (0,0)
7 (río Cayumapu)	6,9 (0,1)	4,2 (0,1)	183,1 (3,2)	4,3 (0,1)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	1,5 (0,0)	1,7 (0,1)	2,1 (0,0)	1,7 (0,0)

Continuación **Tabla 4.1.1.35**

	Sulfatos (mg/L)				
estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	0,9 (0,01)	0,9 (0,00)	0,6 (0,01)	3,3 (0,01)	0,7 (0,03)
2 (sector Rucaco)	13,5 (0,29)	5,1 (0,25)	1,1 (0,04)	40,8 (0,50)	1,8 (0,07)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	11,3 (0,19)	6,7 (0,20)	1,6 (0,02)	34,0 (0,57)	2,2 (0,09)
4 (sector Santa Clara)	9,2 (0,09)	6,2 (0,20)	1,5 (0,01)	89,6 (0,88)	1,7 (0,03)
5 (sector Punucapa)	27,8 (0,91)	2,8 (0,01)	1,6 (0,01)	177,1 (0,80)	1,6 (0,18)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	1,2 (0,02)	1,5 (0,07)	0,9 (0,00)	12,0 (1,07)	1,2 (0,06)
7 (río Cayumapu)	13,9 (0,06)	3,8 (0,06)	1,3 (0,02)	138,3 (0,34)	2,4 (0,03)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	1,7 (0,00)	2,0 (0,03)	1,4 (0,09)	4,9 (0,20)	1,5 (0,02)

Continuación **Tabla 4.1.1.35**

	Sulfatos (mg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	1,3 (0,20)	3,1 (0,08)	1,0 (0,1)	2,2 (0,0)
2 (sector Rucaco)	22,5 (0,53)	20,9 (1,34)	11,5 (0,0)	4,8 (0,2)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	16,2 (0,50)	13,0 (0,38)	10,1 (0,1)	2,9 (0,0)
4 (sector Santa Clara)	26,5 (0,57)	19,6 (0,33)	8,9 (0,0)	3,3 (0,1)
5 (sector Punucapa)	164,9 (3,19)	56,4 (0,20)	34,6 (0,0)	2,2 (0,1)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,7 (0,04)	5,2 (0,45)	1,2 (0,1)	2,7 (0,1)
7 (río Cayumapu)	33,4 (0,24)	8,3 (0,79)	8,9 (0,1)	2,4 (0,2)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	1,2 (0,11)	2,4 (0,38)	1,7 (0,1)	1,7 (0,1)

Continuación **Tabla 4.1.1.35**

	Sulfatos (mg/L)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	2,3 (0,0)	2,6 (0,1)	5,6 (1,6)	0,9 (0,0)
2 (sector Rucaco)	6,2 (0,0)	3,1 (0,1)	7,1 (0,1)	2,1 (0,0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	5,3 (0,0)	2,6 (0,1)	7,3 (0,0)	2,0 (0,1)
4 (sector Santa Clara)	3,9 (0,0)	2,0 (0,0)	32,6 (0,5)	1,9 (0,0)
5 (sector Punucapa)	3,0 (0,1)	2,2 (0,0)	156,4 (3,2)	2,7 (0,1)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	2,2 (0,1)	1,1 (0,0)	1,3 (0,0)	1,7 (0,0)
7 (río Cayumapu)	4,4 (0,0)	1,7 (0,1)	25,9 (1,0)	3,7 (0,1)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	2,4 (0,0)	1,8 (0,0)	2,8 (0,0)	2,3 (0,1)

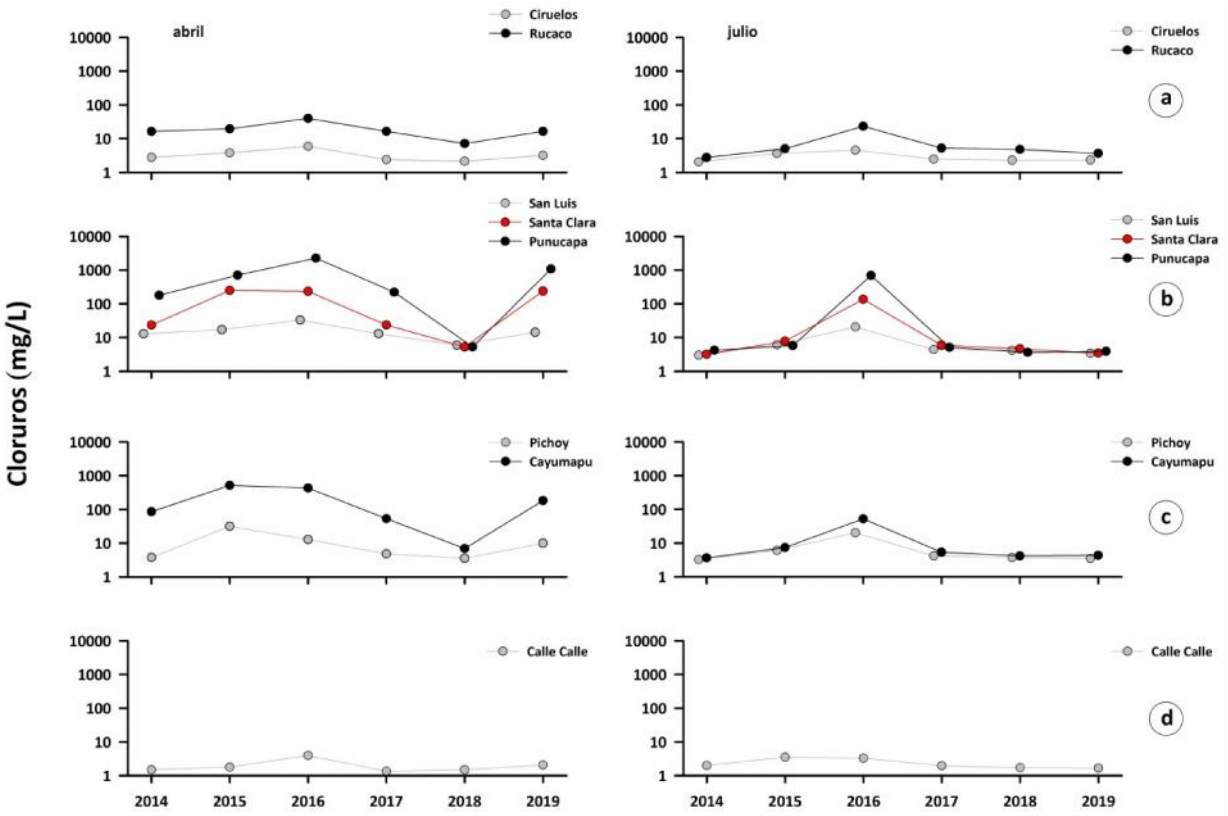


Figura 4.1.1.21. Comparación interanual de Cloruros (mg/L) en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

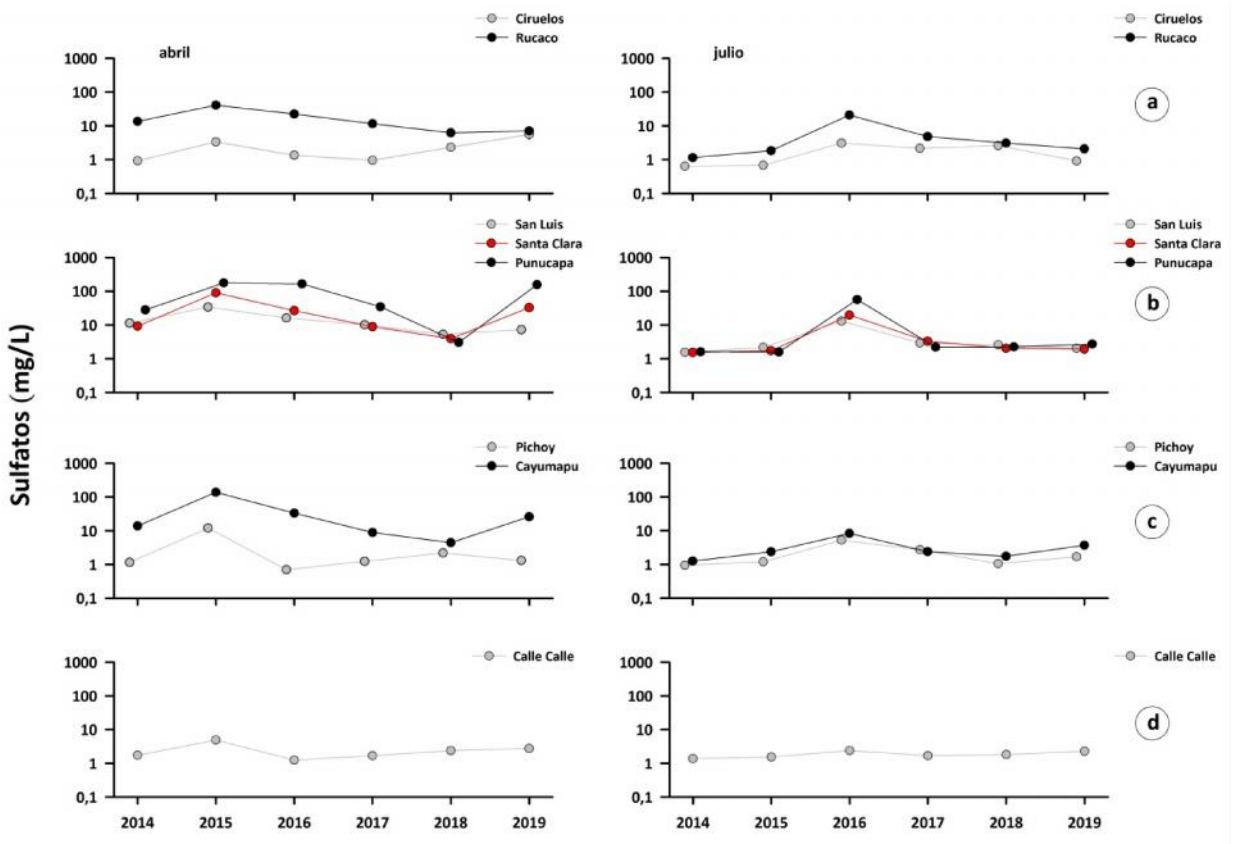


Figura 4.1.1.22. Comparación interanual de Sulfatos (mg/L) en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.1.36 muestra los valores promedios de la variabilidad estacional e interanual en las concentraciones de Cloruros (Cl^-) y Sulfatos (SO_4) en aguas superficiales del área de estudio.

Tabla 4.1.1.36. Variabilidad interanual (2014-2019) y estacional (abril-julio) de las concentraciones de Cloruro (Cl^-) y Sulfatos (SO_4) en aguas superficiales en los sectores de estudio: L = sector límnico del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

	Cloruro (mg/L)				**Sulfatos (mg/L)**			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	9,6	71,7	44,7	1,5	7,2	16,1	7,6	1,7
julio 2014	2,4	3,5	3,4	2,0	0,9	1,6	1,1	1,4
abril 2015	11,7	323,4	274,5	1,8	22,1	100,2	75,2	4,9
julio 2015	4,3	6,5	6,7	3,5	1,3	1,8	1,8	1,5
abril 2016	22,8	841,6	221,7	4,0	11,9	69,2	17,1	1,2
julio 2016	13,9	282,5	36,2	3,3	12,0	29,7	6,8	2,4
abril 2017	9,4	85,6	29,0	1,3	6,3	17,9	5,1	1,7
julio 2017	3,9	5,1	4,8	2,0	3,5	2,8	2,6	1,7
abril 2018	4,6	5,5	5,2	1,5	4,3	4,1	3,3	2,4
julio 2018	3,5	4,1	3,9	1,7	2,8	2,3	1,4	1,8
abril 2019	9,8	442,2	96,5	2,1	6,3	65,4	13,6	2,8
julio 2019	3,0	3,6	3,9	1,7	1,5	2,2	2,7	2,3

Las concentraciones de Cloruros y Sulfatos registradas durante el año 2016 fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las registradas durante el Programa de Diagnóstico Ambiental y los otros cuatro años de Monitoreo (Tabla 4.1.1.37), además, las concentraciones de estos compuestos fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en el eje central estuarial, particularmente en el sector Punucapa, durante las campañas de menor caudal hídrico (Tabla 4.1.1.37).

Tabla 4.1.1.37. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de Cloruro (Cl^-) y Sulfatos (SO_4) registradas en aguas del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019), Sector (Ci= Ciruelos, Ru= Rucaco, SL= San Luis, SC= Santa Clara, Pu= Punucapa, Pi= Pichoy, Ca= Cayumapu y CC= Calle Calle) y Mes (A = abril y J = julio). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor p	Prueba de Tukey
Cloruro (*)(***)	Año (A)	5	20,474	4,095	10126,070	**<0,001**	2016>2015>2019>2017>2014>2018
	Sector (S)	7	38,780	5,540	13700,195	**<0,001**	Pu>Ca>SC>Ru>SL>Pi>Ci>CC
	Mes (M)	1	15,185	15,185	37552,368	**<0,001**	A > J
	A × S x M	35	4,544	0,130	321,033	**<0,001**	
	Error	96	0,0388	0,000404			
Sulfato (*)(***)	Año (A)	5	8,179	1,636	3377,800	**<0,001**	2016>2015>2019>2017>2018=2014
	Sector (S)	7	19,807	2,830	5843,012	**<0,001**	Pu>Ca=SC>Ru>SL>CC>Pi>Ci
	Mes (M)	1	13,387	13,387	27644,921	**<0,001**	A > J
	A × S x M	35	2,797	0,0799	165,032	**<0,001**	
	Error	96	0,0465	0,000484			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a $\log_{10}$ o raíz cuadrada; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

Metales pesados disueltos

Las Tablas 4.1.1.38 a la 4.1.1.40 y la Figura 4.1.1.16 a la 4.1.1.18 muestran la variabilidad espacio temporal en las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disueltos en el agua superficial del área de estudio, durante los años 2014 (Programa de Diagnóstico del HRC), 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 (Programa de Monitoreo Ambiental del HRC).

Tabla 4.1.1.38. Concentración de Hierro disuelto en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Hierro (µg/L)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	111,2 (31,0)	47,2 (5,6)	45,6 (4,3)	138,5 (31,4)	44,8 (19,2)
2 (sector Rucaco)	10,7 (3,7)	47,8 (7,9)	46,6 (12,4)	68,33 (23,0)	45,3 (16,1)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	65,2 (13,6)	46,8 (0,7)	40,0 (6,2)	83,8 (2,2)	64,6 (3,7)
4 (sector Santa Clara)	57,2 (7,4)	100,3 (1,7)	53,9 (12,0)	31,1 (3,2)	64,5 (2,0)
5 (sector Punucapa)	44,0 (2,1)	64,8 (6,7)	52,7 (15,3)	15,5 (2,8)	71,3 (2,1)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	117,5 (38,1)	136,1 (53,8)	63,9 (4,9)	103,9 (0,6)	114,7 (1,8)
7 (río Cayumapu)	93,0 (1,2)	112,0 (24,3)	66,5 (1,2)	34,2 (6,1)	100,1 (34,9)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	23,7 (0,2)	33,2 (0,0)	23,7 (0,2)	43,5 (2,8)	25,2 (9,9)

Continuación **Tabla 4.1.1.38**

	Hierro (µg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	93,7 (2,6)	68,3 (2,6)	141,7 (2,5)	104,1 (20,9)
2 (sector Rucaco)	20,9 (3,9)	22,2 (0,4)	21,3 (0,2)	111,6 (5,4)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	68,9 (7,1)	39,3 (2,1)	114,8 (2,4)	100,7 (25,2)
4 (sector Santa Clara)	45,5 (0,9)	37,0 (0,7)	64,7 (1,3)	110,5 (30,6)
5 (sector Punucapa)	15,7 (0,3)	15,4 (0,3)	22,3 (0,6)	144,6 (5,2)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	90,1 (0,3)	102,1 (0,7)	136,6 (1,1)	167,8 (44,5)
7 (río Cayumapu)	55,0 (1,8)	61,9 (0,3)	77,0 (1,2)	249,2 (20,1)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	33,8 (0,3)	30,5 (1,6)	38,5 (0,4)	35,8 (2,3)

Continuación **Tabla 4.1.1.38**

	Hierro (µg/L)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	187,1 (7,0)	71,3 (0,3)	118,9 (1,0)	70,9 (0,2)
2 (sector Rucaco)	96,7 (0,6)	47,9 (0,6)	13,7 (0,4)	52,5 (0,7)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	184,1 (8,9)	110,2 (0,6)	70,6 (0,2)	68,4 (0,2)
4 (sector Santa Clara)	133,1 (1,1)	127,0 (1,4)	27,6 (1,2)	52,7 (0,8)
5 (sector Punucapa)	141,8 (1,3)	91,4 (1,3)	4,9 (0,1)	53,6 (0,2)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	189,6 (1,3)	170,8 (1,1)	195,0 (1,9)	67,3 (0,3)
7 (río Cayumapu)	189,1 (11,4)	154,6 (2,3)	63,7 (0,2)	96,0 (0,3)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	47,3 (0,3)	22,8 (0,6)	35,5 (0,8)	18,5 (0,1)

Tabla 4.1.1.39. Concentración de Aluminio disuelto en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Aluminio (µg/L)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	9,9 (2,0)	8,2 (1,1)	20,4 (1,4)	10,5 (1,6)	18,6 (4,2)
2 (sector Rucaco)	6,3 (0,6)	11,2 (0,9)	23,4 (7,0)	10,1 (0,4)	18,3 (4,9)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	7,6 (1,5)	11,6 (0,3)	11,9 (1,2)	10,8 (0,4)	20,7 (0,1)
4 (sector Santa Clara)	12,9 (1,4)	14,8 (1,2)	17,9 (2,1)	8,2 (1,1)	21,8 (0,1)
5 (sector Punucapa)	9,0 (0,5)	11,8 (0,8)	13,5 (3,2)	5,7 (0,1)	25,5 (1,0)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	12,6 (1,8)	21,0 (5,3)	28,3 (1,0)	12,0 (0,0)	44,4 (0,7)
7 (río Cayumapu)	6,6 (0,5)	19,2 (2,8)	38,5 (1,6)	1,3 (0,2)	48,7 (14,6)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	5,3 (0,6)	20,0 (1,1)	10,5 (1,7)	6,3 (0,0)	24,6 (6,5)

Continuación **Tabla 4.1.1.39**

	Aluminio (µg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	7,0 (0,01)	4,4 (0,41)	9,5 (0,7)	10,1 (0,5)
2 (sector Rucaco)	7,7 (0,70)	3,9 (0,38)	5,4 (0,2)	11,6 (0,0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	8,2 (0,57)	5,3 (0,73)	10,1 (0,0)	12,6 (2,2)
4 (sector Santa Clara)	11,2 (0,01)	5,1 (0,09)	9,1 (0,1)	15,4 (1,0)
5 (sector Punucapa)	4,1 (0,58)	3,4 (0,71)	8,7 (0,5)	22,2 (0,6)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	7,5 (0,02)	14,4 (0,55)	11,2 (0,1)	28,1 (4,5)
7 (río Cayumapu)	3,6 (0,13)	5,9 (0,03)	4,9 (0,2)	35,6 (0,2)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	7,3 (0,13)	4,3 (0,27)	9,4 (0,6)	10,3 (1,3)

Continuación **Tabla 4.1.1.39**

	Aluminio (µg/L)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	21,7 (0,5)	8,1 (0,9)	7,3 (0,1)	28,3 (0,2)
2 (sector Rucaco)	9,8 (0,2)	10,6 (0,2)	5,0 (0,1)	14,1 (0,3)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	16,4 (0,4)	13,4 (0,3)	6,8 (0,1)	20,9 (0,0)
4 (sector Santa Clara)	16,0 (0,0)	21,6 (0,1)	14,3 (0,3)	17,2 (0,6)
5 (sector Punucapa)	25,7 (0,1)	17,1 (0,3)	5,8 (0,1)	18,2 (0,7)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	41,4 (0,5)	32,3 (0,5)	5,5 (0,1)	23,1 (0,8)
7 (río Cayumapu)	39,4 (0,0)	37,3 (0,9)	2,1 (0,0)	40,0 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	12,0 (0,2)	6,6 (0,1)	2,6 (0,0)	10,9 (0,1)

Tabla 4.1.1.40. Concentración de Manganeso disuelto en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Manganeso (µg/L)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	17,7 (0,3)	4,7 (0,2)	1,4 (0,2)	11,4 (1,1)	2,6 (0,5)
2 (sector Rucaco)	24,4 (0,5)	5,5 (0,5)	1,6 (0,4)	25,3 (0,9)	2,8 (0,2)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	26,5 (1,5)	10,0 (0,1)	2,2 (0,0)	3,5 (0,3)	2,8 (0,0)
4 (sector Santa Clara)	0,9 (0,1)	9,2 (5,5)	2,0 (0,0)	0,2 (0,0)	1,3 (0,0)
5 (sector Punucapa)	1,4 (0,2)	0,8 (0,0)	2,5 (0,3)	1,8 (0,1)	1,5 (0,0)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	27,0 (0,3)	19,1 (0,4)	22,6 (0,9)	19,7 (2,9)	8,8 (0,2)
7 (río Cayumapu)	22,4 (0,2)	4,9 (0,5)	5,4 (0,1)	27,8 (1,9)	9,8 (0,6)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	3,5 (0,1)	0,9 (0,1)	1,8 (0,3)	3,4 (0,0)	2,3 (0,2)

Continuación **Tabla 4.1.1.40**

	Manganeso (µg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	13,5 (0,02)	14,4 (0,28)	8,5 (0,2)	19,1 (0,2)
2 (sector Rucaco)	18,5 (0,29)	16,2 (0,36)	12,0 (0,0)	18,7 (0,5)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	1,5 (0,21)	12,0 (0,92)	5,1 (0,0)	20,8 (1,0)
4 (sector Santa Clara)	0,8 (0,13)	0,4 (0,01)	0,4 (0,0)	9,1 (0,2)
5 (sector Punucapa)	8,6 (0,16)	1,7 (0,02)	0,5 (0,0)	7,6 (0,1)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	13,4 (0,21)	4,1 (0,05)	6,0 (0,0)	37,5 (0,6)
7 (río Cayumapu)	27,7 (0,16)	0,7 (0,02)	4,5 (0,0)	19,7 (0,2)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,6 (0,01)	3,3 (0,23)	1,8 (0,1)	5,3 (0,1)

Continuación **Tabla 4.1.1.40**

	Manganeso (µg/L)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	15,6 (0,3)	11,2 (0,2)	8,2 (0,4)	8,0 (0,0)
2 (sector Rucaco)	16,9 (0,2)	14,2 (0,5)	9,1 (0,1)	7,5 (0,0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	17,5 (0,3)	14,1 (0,2)	10,5 (0,1)	8,5 (0,0)
4 (sector Santa Clara)	5,8 (0,0)	8,6 (0,0)	1,6 (0,0)	4,5 (0,1)
5 (sector Punucapa)	1,4 (0,0)	6,0 (0,4)	17,5 (0,3)	5,0 (0,0)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	27,4 (0,0)	18,6 (0,3)	17,7 (0,5)	13,4 (0,1)
7 (río Cayumapu)	22,1 (0,1)	14,1 (0,0)	17,0 (0,0)	11,8 (0,1)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	1,5 (0,0)	3,7 (0,0)	1,7 (0,0)	2,5 (0,0)

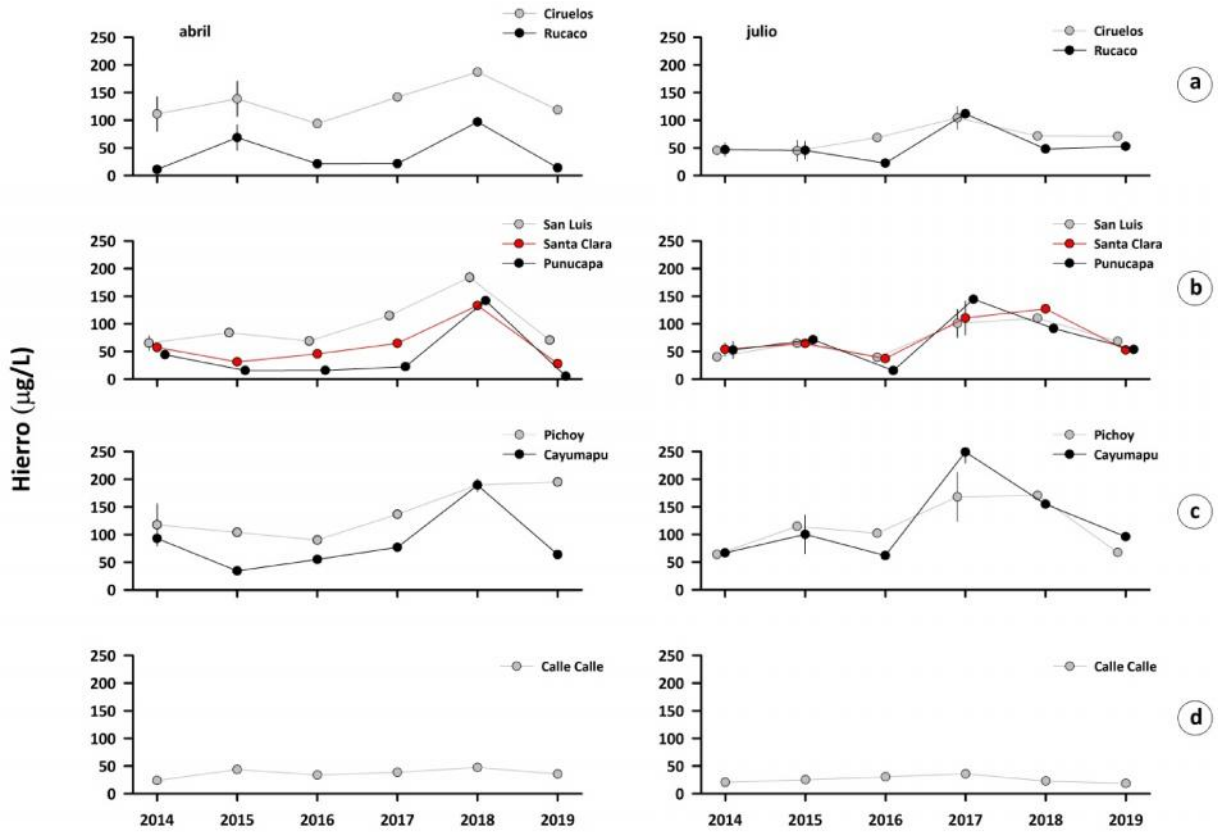


Figura 4.1.1.16. Comparación interanual y estacional de la concentración de Hierro disuelto en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y d) aguas del sector ubicado fuera del humedal.

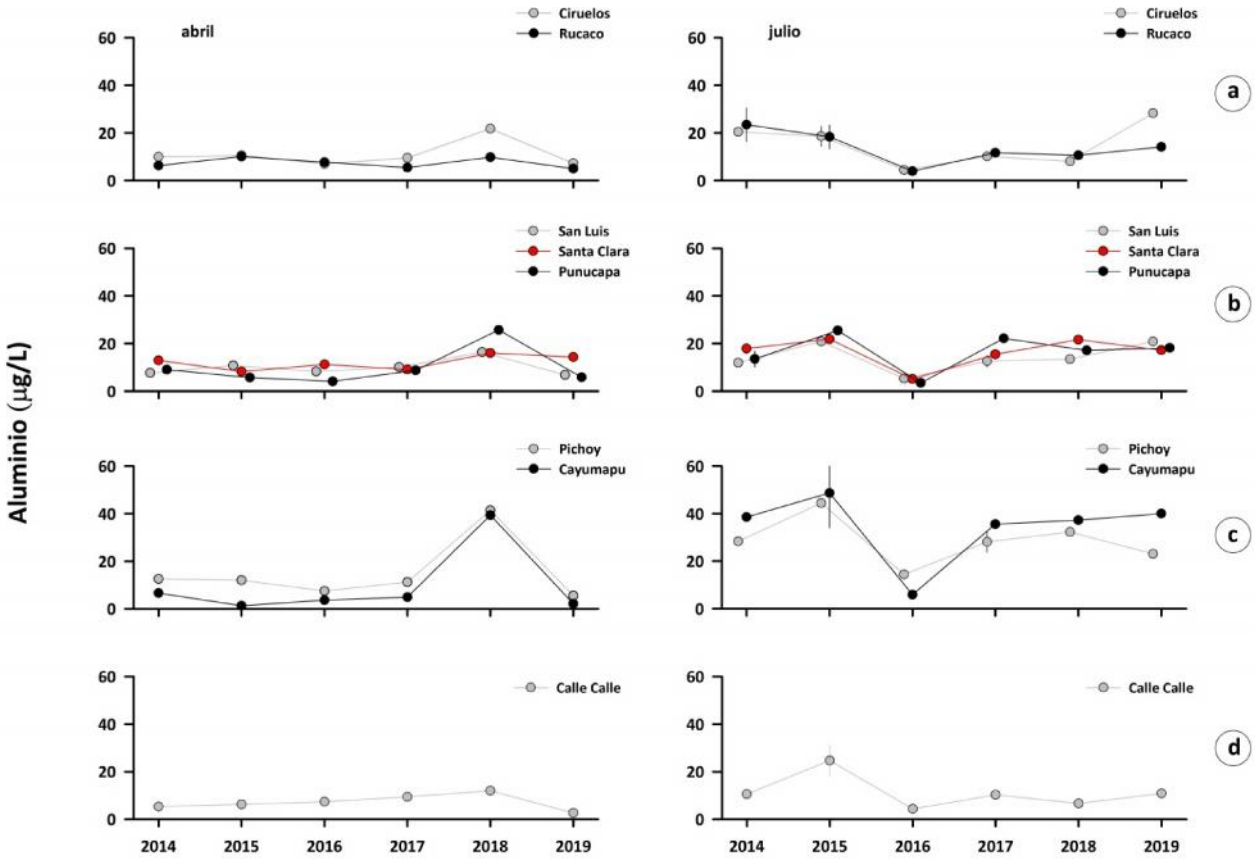


Figura 4.1.1.17. Comparación interanual y estacional de la concentración de Aluminio disuelto en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

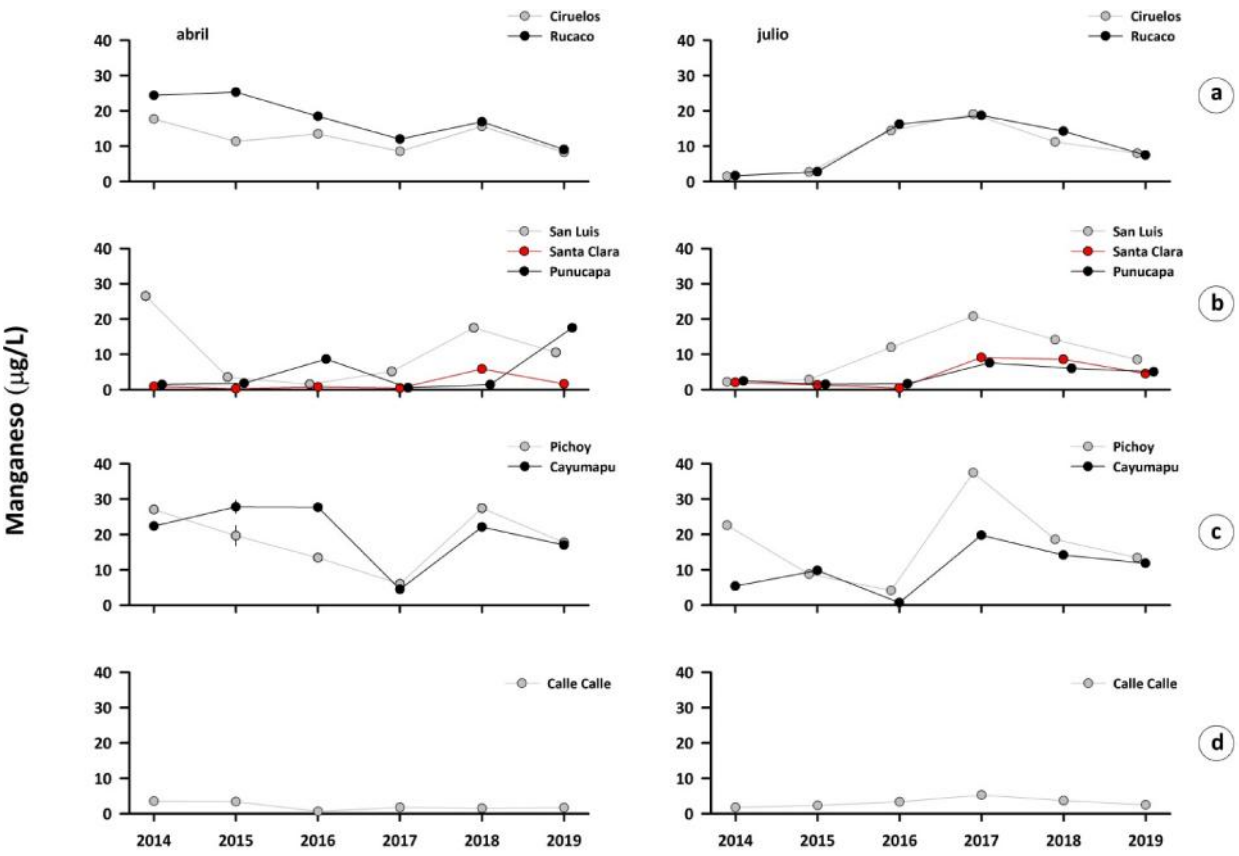


Figura 4.1.1.18. Comparación interanual y estacional de la concentración de Manganeso disuelto en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.1.41 muestra los valores promedios de la variabilidad estacional e interanual de las concentraciones de metales pesados disueltos Hierro, Aluminio y Manganeso en aguas superficiales del área de estudio.

Tabla 4.1.1.41. Variabilidad interanual (2014, 2105, 2016, 2017, 2018 y 2019) y estacional (abril y julio) de las concentraciones de metales pesados disueltos Hierro, Aluminio y Manganeso en aguas superficiales en los sectores de estudio: L = sector límnico del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

	Hierro (µg/L)				**Aluminio (µg/L)**				**Manganeso (µg/L)**			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	61,0	55,5	105,3	23,7	8,1	9,8	9,6	5,3	21,1	9,6	24,7	3,5
julio 2014	46,1	48,9	65,2	23,7	21,9	14,4	33,4	10,5	1,5	2,2	14,0	1,8
abril 2015	103,4	43,5	69,1	43,5	10,3	8,2	6,7	6,3	18,4	1,8	23,8	3,4
julio 2015	45,1	66,8	107,4	25,2	18,5	22,7	46,6	24,6	2,7	1,9	9,3	2,3
abril 2016	57,3	43,3	72,5	33,8	7,3	7,9	5,6	7,3	16,0	3,6	20,5	0,6
julio 2016	45,2	30,6	82,0	30,5	4,1	4,6	10,2	4,3	15,3	4,7	2,4	3,3
abril 2017	81,5	67,3	106,8	38,5	7,5	9,3	8,1	9,4	10,3	2,0	5,3	1,8
julio 2017	107,9	118,6	208,5	35,8	10,9	16,7	31,9	10,3	18,9	12,5	28,6	5,3
abril 2018	141,9	153,0	189,3	47,3	15,8	19,4	40,4	12,0	16,2	8,2	24,8	1,5
julio 2018	59,6	109,5	162,7	22,8	9,3	17,4	34,8	6,6	12,7	9,6	16,4	3,7
abril 2019	66,3	34,4	129,4	35,5	6,1	9,0	3,8	2,6	8,6	9,9	17,4	1,7
julio 2019	61,7	58,2	81,7	18,5	21,2	18,7	31,5	10,9	7,7	6,0	12,6	2,5

La Tabla 4.1.1.42 muestra los resultados de los análisis de ANDEVA factorial y test *a posteriori* de Tukey, llevados a cabo para comparar el efecto de los factores Sector, Año y Mes**.** Estos indican que las concentraciones de Hierro fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2018, particularmente en el río Pichoy. No se detectaron diferencias estacionales significativas ($p>0,05$) en las concentraciones de este metal (Tabla 4.1.1.42).

Las concentraciones de Aluminio disuelto fueron significativamente más bajas ($p<0,05$) durante el año 2016, a su vez, significativamente más altas ($p<0,05$) durante el mes de julio, en los ríos tributarios (Tabla 4.1.1.42). Los valores de Manganeso fueron significativamente más altos ($p>0,05$) en el río Pichoy el año 2018 y durante la temporada de bajo caudal hídrico (Tabla 4.1.1.42).

Tabla 4.1.1.42. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de metales pesados disueltos Hierro (Fe), Aluminio (Al) y Manganeso (Mn) en aguas superficiales del área de estudio. Los factores son Sector (Ci=Ciruelos, Ru=Rucaco, SL=San Luis, SC=Santa Clara, Pu=Punucapa, Pi=Pichoy, Ca=Cayumapu y CC=Calle Calle), Año (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019) y Mes (A=abril y J=julio). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	P	Prueba de Tukey
Fe (*)(***)	Sector (S)	7	621,94	88,849	274,289	**<0,001**	Pi>Ca=Ci>SL>SC>Pu=Ru>CC
	Año (A)	5	387,86	77,572	239,477	**<0,001**	2018>2017>2015=2019>2016=2014
	Mes (M)	1	0,048	0,0481	0,149	0,701	
	S x A x M	35	146,39	4,182	12,912	**<0,001**	
	Error	96	31,09	0,324			
Al (*)(***)	Sector (S)	7	42,624	6,089	142,363	**<0,001**	Ca=Pi>SC>Ci=SL=Pu>Ru>CC
	Año (A)	5	63,887	12,777	298,732	**<0,001**	2018>2015>2014>2017=2019>2016
	Mes (M)	1	57,109	57,109	1335,196	**<0,001**	J > A
	S x A x M	35	22,176	0,634	14,814	**<0,001**	
	Error	96	4,109	0,0428			
Mn (*)(***)	Sector (S)	7	171,593	24,513	5994,20	**<0,001**	Pi>Ca>Ru>Ci>SL>Pu>CC>SC
	Año (A)	5	17,357	3,471	848,862	**<0,001**	2018>2017>2014>2019>2016>2015
	Mes (M)	1	4,023	4,023	983,696	**<0,001**	A > J
	S x A x M	35	54,600	1,560	381,469	**<0,001**	
	Error	96	0,393	0,0041			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados $\log_{10}$ o raíz cuadrada; (***) = No cumple los supuestos del ANDEVA.

Las Tablas 4.1.1.43 a la 4.1.1.48 y Fig. 4.1.1.19 a la 4.1.1.21 muestran la variabilidad espacio temporal en las concentraciones de Cobre, Zinc, Plomo, Cadmio, Arsénico y Mercurio disueltos en el agua superficial del área de estudio, durante los años 2014 (Programa de Diagnóstico del HRC), 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 (Programa de Monitoreo Ambiental del HRC).

Durante el año 2019, Zinc fue detectado en todas a estaciones en ambas campañas de estudio (Tabla 4.1.1.44), misma situación ocurrió con las concentraciones de plomo, excepto en la estación Rucaco durante el periodo de menor caudal hídrico. El Cadmio ha sido detectado en mayo 2014 en Ciruelos y en abril 2015 en los sectores Ciruelo, Rucaco y Pichoy, a su vez, durante el último año de Monitoreo (2019) el Cadmio fue detectado en Punucapa en la campaña de abril (Tabla 4.1.1.46). El Arsénico fue detectado durante el mes de abril del año 2017 en Punucapa (sector estuarial) y en el río Calle Calle (fuera del humedal) y durante el mes de julio del año 2019 en San Luis y Calle Calle, a la vez que concentraciones de Mercurio no han sido detectadas hasta ahora (Tablas 4.1.1.47 y 4.1.1.48).

Tabla 4.1.1.43. Concentración de Cobre disuelto en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Cobre (µg/L)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	0,3 (0,0)	0,3 (0,1)	0,5 (0,0)	0,7 (0,0)	0,7 (0,3)
2 (sector Rucaco)	0,3 (0,0)	0,3 (0,0)	0,6 (0,1)	0,7 (0,0)	0,6 (0,1)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	0,4 (0,1)	0,6 (0,2)	0,4 (0,0)	0,7 (0,0)	0,5 (0,1)
4 (sector Santa Clara)	0,4 (0,0)	0,5 (0,0)	1,6 (1,6)	0,7 (0,0)	0,5 (0,1)
5 (sector Punucapa)	0,5 (0,0)	0,4 (0,0)	0,4 (0,0)	0,7 (0,0)	0,7 (0,1)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	0,4 (0,0)	0,5 (0,1)	0,7 (0,0)	0,7 (0,0)	0,6 (0,0)
7 (río Cayumapu)	0,4 (0,0)	0,6 (0,0)	0,6 (0,0)	0,7 (0,1)	0,9 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río calle Calle)	0,2 (0,0)	0,5 (0,1)	0,3 (0,0)	0,6 (0,0)	0,7 (0,3)

Continuación **Tabla 4.1.1.43**

	Cobre (µg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,8 (0,02)	0,6 (0,03)	0,4 (0,0)	1,0 (0,3)
2 (sector Rucaco)	0,8 (0,02)	0,6 (0,00)	0,9 (0,0)	1,3 (0,0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	1,1 (0,29)	0,7 (0,01)	0,6 (0,0)	1,1 (0,3)
4 (sector Santa Clara)	0,8 (0,29)	0,5 (0,06)	0,4 (0,0)	1,2 (0,0)
5 (sector Punucapa)	1,2 (0,00)	0,6 (0,05)	0,5 (0,0)	1,4 (0,2)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	1,1 (0,23)	0,7 (0,00)	0,5 (0,0)	1,5 (0,2)
7 (río Cayumapu)	0,9 (0,00)	0,7 (0,01)	0,5 (0,0)	1,8 (0,3)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río calle Calle)	0,8 (0,07)	0,8 (0,05)	0,4 (0,0)	1,1 (0,3)

Continuación **Tabla 4.1.1.43**

	Cobre (µg/L)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	1,7 (0,02)	0,6 (0,01)	0,4 (0,00)	0,5 (0,00)
2 (sector Rucaco)	1,7 (0,03)	0,6 (0,00)	0,4 (0,01)	0,8 (0,02)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	2,0 (0,02)	0,6 (0,02)	0,7 (0,00)	0,6 (0,01)
4 (sector Santa Clara)	2,2 (0,03)	0,9 (0,01)	0,5 (0,03)	0,9 (0,03)
5 (sector Punucapa)	1,7 (0,00)	0,6 (0,02)	0,5 (0,02)	0,6 (0,05)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	1,4 (0,01)	0,7 (0,01)	0,7 (0,05)	0,6 (0,00)
7 (río Cayumapu)	2,0 (0,03)	0,8 (0,03)	0,5 (0,00)	0,9 (0,03)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río calle Calle)	2,1 (0,02)	0,6 (0,03)	0,5 (0,00)	0,6 (0,02)

Tabla 4.1.1.44. Concentración de Zinc disuelto en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

	Zinc (µg/L)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	0,82 (0,42)	0,34 (0,04)	0,79 (0,02)	*	*
2 (sector Rucaco)	0,81 (0,40)	0,33 (0,10)	0,55 (0,14)	*	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	0,73 (0,38)	0,51 (0,07)	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	0,36 (0,06)	0,37 (0,07)	0,47	*	*
5 (sector Punucapa)	0,66 (0,65)	0,60 (0,21)	*	0,02 (0,00)	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	0,66 (0,23)	0,39 (0,01)	1,05 (1,11)	0,40	*
7 (río Cayumapu)	0,53 (0,17)	0,30 (0,22)	0,28	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río calle Calle)	0,26 (0,01)	0,21 (0,09)	1,00 (0,27)	*	*

Continuación **Tabla 4.1.1.44**

	Zinc (µg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	1,02 (0,11)	*	1,68 (0,63)
5 (sector Punucapa)	*	*		*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	*	*	1,52 (0,02)	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	1,09 (0,08)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río calle Calle)	*	*	*	1,53 (0,14)

Continuación **Tabla 4.1.1.44**

	Zinc (µg/L)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	2,35 (0,22)	0,18 (0,00)	0,79 (0,07)	1,88 (0,01)
2 (sector Rucaco)	0,38 (0,01)	0,24 (0,02)	0,52 (0,03)	1,76 (0,02)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,97 (0,06)	1,53 (0,52)	3,13 (0,06)	4,19 (0,00)
4 (sector Santa Clara)	1,21 (0,17)	0,58 (0,05)	2,32 (0,05)	1,92 (0,03)
5 (sector Punucapa)	0,07	0,60 (0,45)	1,61 (0,07)	2,09 (0,00)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,84 (0,07)	0,65 (0,02)	0,07 (0,01)	1,02 (0,04)
7 (río Cayumapu)	0,44 (0,02)	0,65 (0,15)	1,58 (0,01)	2,26 (0,01
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río calle Calle)	0,27 (0,02)	0,11 (0,01)	0,06 (0,03)	0,22 (0,10)

Tabla 4.1.1.45. Concentración de Plomo disuelto en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

	Plomo (µg/L)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	*	0,01 (0,00)	0,02 (0,00)	0,02 (0,00)	0,02 (0,02)
2 (sector Rucaco)	*	*	0,02	0,02 (0,00)	0,01 (0,00)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	*	0,01 (0,00)	*	0,03 (0,00)	0,01 (0,00)
4 (sector Santa Clara)	*	0,01 (0,00)	*	0,02 (0,01)	0,01 (0,00)
5 (sector Punucapa)	*	0,02 (0,01)	*	0,01 (0,00)	0,02 (0,00)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	*	0,01 (0,00)	*	0,06 (0,06)	0,01
7 (río Cayumapu)	*	0,01 (0,00)	*	0,02 (0,00)	0,02 (0,00)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río calle Calle)	*	0,01 (0,00)	*	0,02 (0,00)	0,04

Continuación **Tabla 4.1.1.45**

	Plomo (µg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,02 (0,00)	0,03 (0,00)	0,02 (0,00)	0,07 (0,03)
2 (sector Rucaco)	0,02 (0,00)	0,02 (0,00)	*	0,06 (0,00)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,03 (0,02)	0,01 (0,00)	0,03 (0,00)	0,05 (0,03)
4 (sector Santa Clara)	0,02 (0,01)	0,02 (0,00)	0,02 (0,00)	0,03 (0,01)
5 (sector Punucapa)	0,03 (0,01)	0,02 (0,00)	0,02 (0,00)	0,05 (0,02)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,02 (0,00)	0,02 (0,00)	0,02 (0,00)	0,04 (0,01)
7 (río Cayumapu)	0,02 (0,00)	0,01 (0,00)	0,04 (0,00)	0,06 (0,04)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río calle Calle)	0,03 (0,00)	0,04 (0,01)	*	0,05 (0,01)

Continuación **Tabla 4.1.1.45**

	Plomo (µg/L)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,05 (0,00)	*	0,03 (0,00)	0,01 (0,00)
2 (sector Rucaco)	0,03 (0,00)	*	*	0,02 (0,00)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,04 (0,00)	*	0,01 (0,00)	0,02 (0,00)
4 (sector Santa Clara)	0,03 (0,01)	*	0,01 (0,00)	0,02 (0,00)
5 (sector Punucapa)	0,03 (0,00)	*	0,01 (0,00)	0,02 (0,00)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	*	*	0,03 (0,00)	0,01 (0,00)
7 (río Cayumapu)	0,03 (0,00)	*	0,02 (0,00)	0,02 (0,00)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río calle Calle)	0,07 (0,00)	*	0,01 (0,00)	0,02 (0,00)

Tabla 4.1.1.46. Concentración de Cadmio disuelto en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

	Cadmio (µg/L)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	*	0,01 (0,00)	*	0,03	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	0,10	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	*	*	*	0,06	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río calle Calle)	*	*	*	*	*

Continuación **Tabla 4.1.1.46**

	Cadmio (µg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río calle Calle)	*	*	*	*

Continuación **Tabla 4.1.1.46**

	Cadmio (µg/L)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	0,01 (0,00)	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río calle Calle)	*	*	*	*

Tabla 4.1.1.47. Concentración de Arsénico disuelto en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

	Arsénico (µg/L)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	*	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río calle Calle)	*	*	*	*	*

Continuación **Tabla 4.1.1.47**

	Arsénico (µg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	0,24 (0,02)	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río calle Calle)	*	*	0,48 (0,01)	*

Continuación **Tabla 4.1.1.47**

	Arsénico (µg/L)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*
	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	0,23 (0,01)
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río calle Calle)	*	*	*	0,55 (0,00)

Tabla 4.1.1.48. Concentración de Mercurio disuelto en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

	Mercurio (µg/L)				
estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	*	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río calle Calle)	*	*	*	*	*

Continuación **Tabla 4.1.1.48**

	Mercurio (µg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río calle Calle)	*	*	*	*

Continuación **Tabla 4.1.1.48**

	Mercurio (µg/L)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río calle Calle)	*	*	*	*

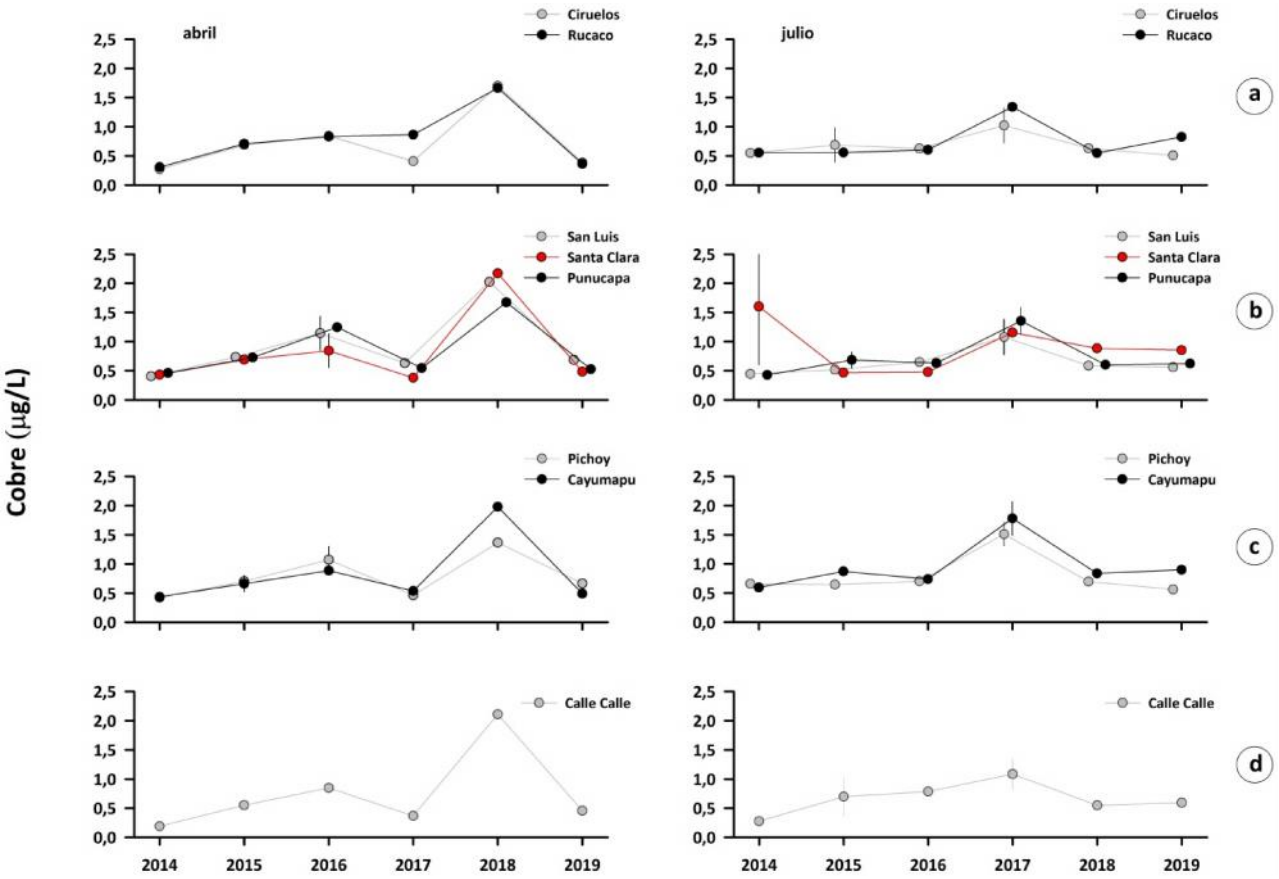


Figura 4.1.1.19. Comparación interanual de la concentración de Cobre disuelto en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

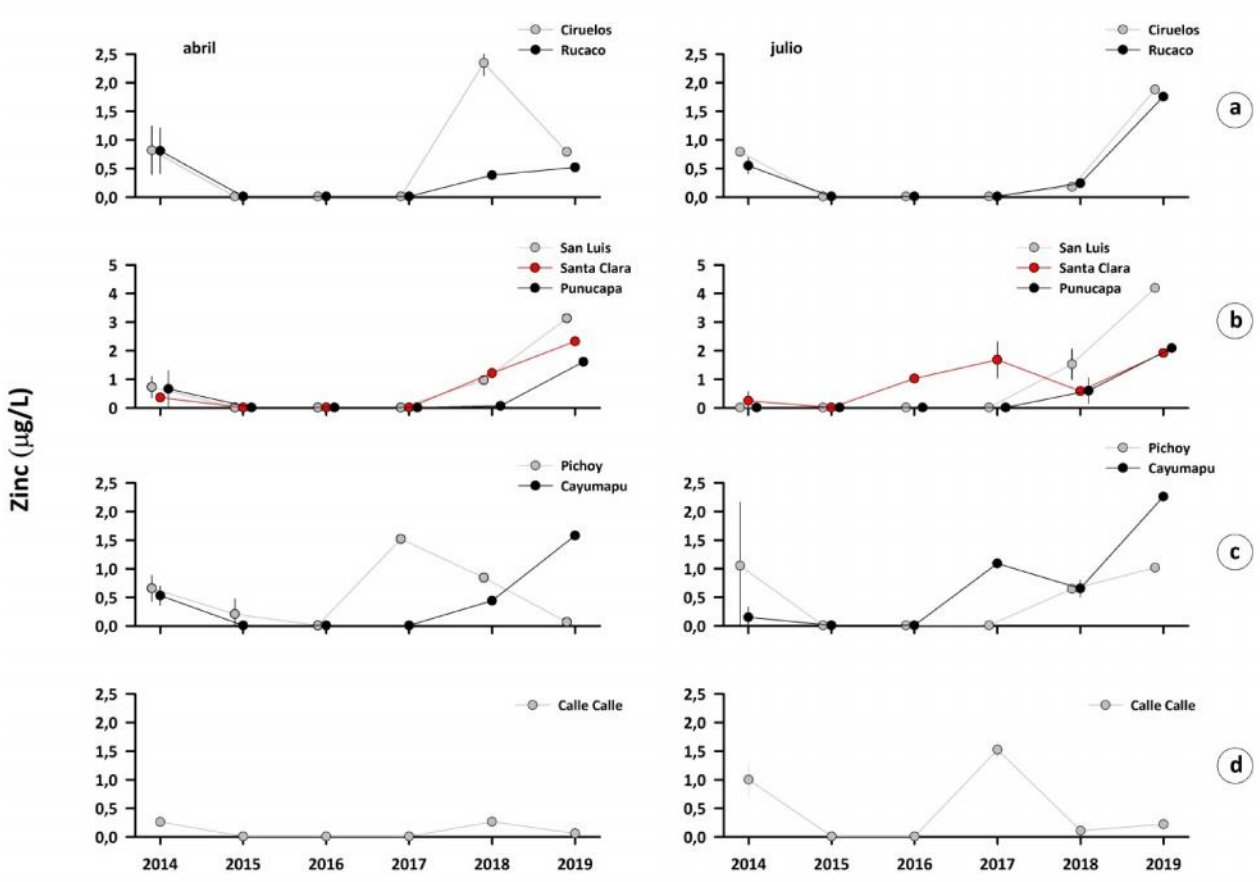


Figura 4.1.1.20. Comparación interanual de la concentración de Zinc disuelto en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

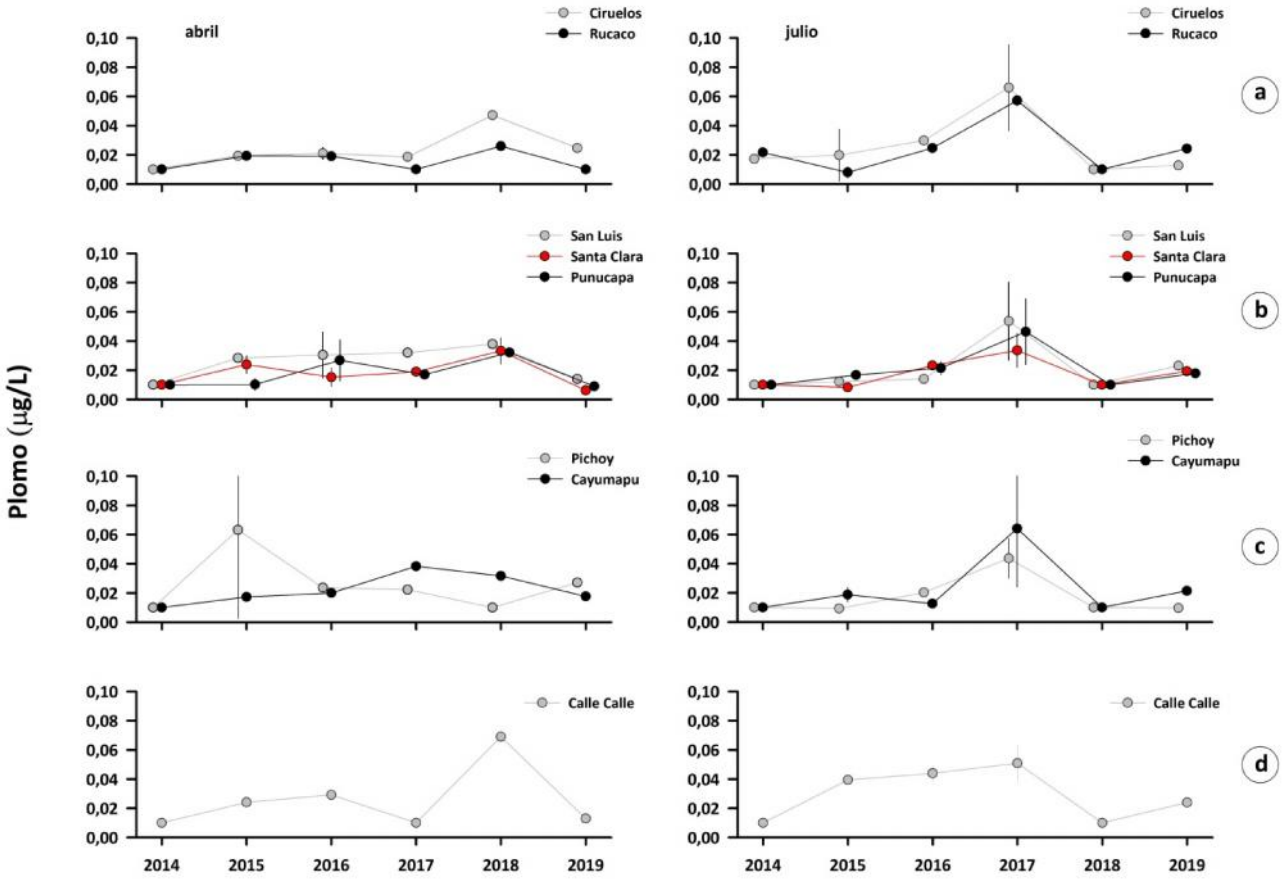


Figura 4.1.1.20. Comparación interanual de la concentración de Plomo disuelto en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.1.49 muestra los valores promedios de la variabilidad estacional e interanual de las concentraciones de metales pesados disueltos Cobre, Zinc y Plomo en aguas superficiales del área de estudio.

Tabla 4.1.1.49. Variabilidad interanual (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019) y estacional (abril y julio) de las concentraciones de metales pesados disueltos Cobre, Zinc y Plomo en aguas superficiales en los sectores de estudio: L = sector límnico del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

	Cobre (µg/L)				Zinc (µg/L)				Plomo (µg/L)			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	0,3	0,4	0,4	0,2	0,82	0,58	0,60	0,26	*	*	*	*
julio 2014	0,6	0,8	0,7	0,3	0,67	0,47	0,67	1,00	0,02	*	*	*
abril 2015	0,7	0,7	0,7	0,6	*	*	0,40	*	0,02	0,02	0,04	0,02
julio 2015	0,7	0,6	0,8	0,7	*	*	*	*	0,02	0,01	0,02	0,04
abril 2016	0,8	1,1	1,0	0,8	*	*	*	*	0,02	0,02	0,02	0,03
julio 2016	0,6	0,6	0,7	0,8	*	1,02	*	*	0,03	0,02	0,02	0,04
abril 2017	0,7	0,5	0,5	0,4	*	*	1,52	*	0,02	0,02	0,03	*
julio 2017	1,2	1,2	1,7	1,1	*	1,68	1,09	1,53	0,06	0,04	0,05	0,05
abril 2018	1,7	2,0	1,7	2,1	1,37	0,89	0,65	0,27	0,04	0,04	0,02	0,07
julio 2018	0,6	0,7	0,8	0,5	0,21	0,91	0,65	0,11	*	*	*	*
abril 2019	0,4	0,6	0,6	0,5	0,66	2,35	0,82	0,06	0,02	0,01	0,02	0,01
julio 2019	0,7	0,7	0,7	0,6	1,82	2,73	1,64	0,22	0,02	0,02	0,02	0,02

La Tabla 4.1.1.50 muestra los resultados de los análisis de ANDEVA factorial y test *a posteriori* de Tukey, llevados a cabo para comparar el efecto de los factores Sector, Año y Mes**.** No se consideraron el Cadmio, Arsénico y Mercurio en los análisis factoriales, debido a los escasos o nulos registros de datos obtenidos durante el periodo de estudio. Las concentraciones de Cobre detectadas en Cayumapu fueron significativamente más altas ($p<0,05$), a su vez estas concentraciones fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2018 que en años anteriores. No se detectaron diferencias significativas ($p<0,05$) estacionales (Tabla 4.1.1.50).

Las concentraciones de Zinc detectadas en las estaciones San Luis y Santa Clara fueron significativamente más altas ($p<0,005$) que las registradas en las otras seis estaciones. Durante el año 2019 las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las detectadas en años anteriores y

significativamente más altas (p<0,05) durante el periodo de mayor caudal hídrico (julio) (Tabla 4.1.1.50).

Las concentraciones de Plomo detectadas durante el Programa de Diagnóstico Ambiental fueron significativamente más bajas (p<0,05) que las encontradas durante los años 2015 al 2019 del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC. Las concentraciones de este metal detectadas en el río Calle Calle fueron significativamente superiores (p<0,005) que lo detectado en la estación Santa Clara. A su vez, no se encontraron diferencias significativas entre campañas (Tabla 4.1.1.50).

Tabla 4.1.1.50. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de metales pesados Cobre, Zinc y Plomo disueltos en aguas superficiales del área de estudio. Los factores son Sector (Ci=Ciruelos, Ru=Rucaco, SL=San Luis, SC=Santa Clara, Pu=Punucapa, Pi=Pichoy, Ca=Cayumapu y CC=Calle Calle), Año (2014-2015-2016-2017-2018 y 2019), Mes de muestreo (A=abril y J=julio). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	P	Prueba de Tukey
Cu (*)(***)	Sector (S)	7	0,805	0,115	3,121	**0,005**	Ca>Ci=CC
	Año (A)	5	11,685	2,337	63,384	**<0,001**	2018>2017=2016>2015>2019=2014
	Mes (M)	1	0,130	0,130	3,538	0,063	
	S x A x M	35	2,074	0,0593	1,607	**0,036**	
	Error	96	3,540	0,0369			
Zn (*)(***)	Sector (S)	7	1,832	0,262	18,569	<0,001	SC=SL>Ca=Pi=Ci=Ru>Pu=CC
	Año (A)	5	23,152	4,630	328,525	<0,001	2019>2018>2014>2017>2016=2015
	Mes (M)	1	0,178	0,178	12,646	<0,001	J > A
	S x A x M	35	7,145	0,204	14,484	<0,001	
	Error	96	1,353	0,0141			
Pb (*)(***)	Sector (S)	7	0,0135	0,00193	3,399	**0,003**	CC > SC
	Año (A)	5	0,110	0,0220	38,782	**<0,001**	2017>2016=2018=2015>2019>2014
	Mes (M)	1	0,000216	0,000216	0,381	0,538	
	S x A x M	35	0,0586	0,00168	2,956	**<0,001**	
	Error	96	0,0544	0,000567			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados $\log_{10}$ o raíz cuadrada; (***) = No cumple los supuestos del ANDEVA.

Metales pesados particulados

Las Tablas 4.1.1.51 a la 4.1.1.53 y las Figuras 4.1.1.18 a la 4.1.1.20 muestran la variabilidad espacio temporal en las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso particulado en el agua superficial del área de estudio, durante los años 2014 (Programa de Diagnóstico del HRC), 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 (Programa de Monitoreo Ambiental del HRC).

Tabla 4.1.1.51. Concentración de Hierro particulado en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

Estaciones	**Hierro (µg/g)**				
	2014			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	119.527 (10.850)	60.206 (1.540)	69.100 (3.012)	98.605 (18.799)	80.368 (36)
2 (sector Rucaco)	127.230 (27.561)	60.530 (1.539)	85.519 (6.609)	85.333 (333)	82.250 (6.748)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	159.483 (7.301)	83.002 (8.772)	81.850 (7.672)	105.089 (31.969)	81.362 (1.496)
4 (sector Santa Clara)	65.804 (1.949)	58.997 (256)	92.697 (430)	41.920 (3.046)	109.792 (6.255)
5 (sector Punucapa)	52.039 (2.642)	51.435 (2.824)	94.179 (1.702)	59.268 (4.454)	100.698 (11.111)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	156.069 (23.378)	108.666 (53.391)	79.760 (4.820)	93.154 (1.758)	118.331 (6.790)
7 (río Cayumapu)	66.307 (6.141)	64.629 (1.551)	84.967 (1.659)	49.518 (1.924)	100.262 (2.550)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	64.638 (23.788)	39.052 (2.052)	51.783 (467)	59.673 (17.747)	57.768 (1.730)

Continuación **Tabla 4.1.1.51**

	Hierro (µg/g)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	217.230 (1.949)	107.703 (90.143)	36.335 (14.229)	191.509 (30.337)
2 (sector Rucaco)	188.569 (75.198)	150.692 (95.744)	30.537 (2.173)	172.767 (59.165)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	159.713 (180)	210.461 (17.472)	65.609 (3.399)	182.179 (116)
4 (sector Santa Clara)	142.727 (31.712)	85.793 (4.742)	34.912 (16.537)	150.784 (11.148)
5 (sector Punucapa)	81.509 (9.702)	107.298 (812)	18.560 (2.754)	148.614 (7.671)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	203.717 (11.951)	126.825 (45.570)	38.051 (420)	148.384 (483)
7 (río Cayumapu)	78.344 (1.130)	98.329 (7.544)	22.248 (460)	127.270 (8.564)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	40.706 (3.583)	155.772 (55.730)	22.246 (140)	46.198 (5.254)

Continuación **Tabla 4.1.1.51**

	Hierro (µg/g)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	84.644 (11.501)	65.996 (1.239)	237.975 (77.095)	76.028 (4.465)
2 (sector Rucaco)	259.055 (215.105)	69.490 (208)	260.660 (17.758)	73.176 (2.711)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	133.470 (58.310)	83.073 (3.243)	308.903 (24.849)	71.976 (3.996)
4 (sector Santa Clara)	102.422 (6.076)	133.055 (32.121)	167.752 (6.142)	80.357 (13.776)
5 (sector Punucapa)	48.249 (74.765)	133.052 (32.740)	121.162 (15.407)	95.550 (10.562)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	121.467 (12.979)	188.729 (28.595)	133.688 (740)	125.985 (31.830)
7 (río Cayumapu)	53.096 (17.878)	113.965 (2.263)	114.138 (32.849)	91.983 (3.316)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	58.004 (6.453)	52.758 (3.284)	75.752 (13.351)	46.293 (2.326)

Tabla 4.1.1.52. Concentración de Aluminio particulado en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

Estaciones	**Aluminio (µg/g)**				
	2014			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	84.230 (8.752)	59.507 (1.528)	116.150 (4.446)	98.838 (117.723)	88.195 (16.044)
2 (sector Rucaco)	75.520 (5.500)	61.246 (1.498)	124.234 (1.5907)	32.439 (30.039)	93.200 (8.873)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	105.237 (43)	65.495 (6.528)	101.954 (26.672)	90.473 (58.106)	181.520 (87.347)
4 (sector Santa Clara)	54.370 (3.537)	59.584 (1.738)	100.934 (1.276)	115.402 (44.186)	94.509 (14.249)
5 (sector Punucapa)	47.656 (3.301)	61.979 (1.465)	98.845 (368)	116.558 (86.078)	59.790 (3.255)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	88.029 (23.562)	71.654 (13.682)	111.112 (10.073)	28.524 (19.417)	72.417 (7.038)
7 (río Cayumapu)	56.208 (7.884)	49.938 (3.371)	126.119 (3.710)	19.123 (4.077)	77.851 (3.914)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	83.408 (11.219)	48.114 (4.984)	81.481 (564)	70.354 (8.005)	60.112 (4.783)

Continuación **Tabla 4.1.1.52**

	Aluminio (µg/g)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	170.827 (133.591)	17.866 (365)	414.367 (415.441)	15.338 (17.073)
2 (sector Rucaco)	115.186 (36.788)	15.148 (9.911)	36.530 (8.051)	17.749 (1.887)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	104.452 (4.112)	30.311 (6.486)	53.488 (19.800)	18.866 (4.251)
4 (sector Santa Clara)	72. 443 (38.290)	60.026 (2.392)	47.606 (26.901)	38.441 (9.823)
5 (sector Punucapa)	32.617 (5.087)	54.027 (7.878)	17.332 (3.527)	38.872 (6.728)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	40.338 (13.483)	736 (48)	79.069 (52.597)	38.768 (6.343)
7 (río Cayumapu)	34.744 (4.054)	1.068 (122)	67.754 (24.192)	58.188 (1.888)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	44.179 (3.152)	3.540 (1.305)	155.771 (167.433)	41.562 (4.713)

Continuación **Tabla 4.1.1.52**

	Aluminio (µg/g)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	19.349 (9.731)	77.440 (4.472)	121.257 (10.594)	61.537 (9.941)
2 (sector Rucaco)	25.628 (29.275)	50.370 (7.057)	129.910 (38.702)	57.555 (18.784)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	13.918 (17.247)	65.786 (13.236)	137.593 (16.634)	79.197 (4.968)
4 (sector Santa Clara)	14.114 (2.981)	142.814 (132.002)	114.176 (32.652)	21.538
5 (sector Punucapa)	26.282 (1.709)	207.217 (20.427)	81.903 (20.115)	81.815 (20.458)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	34.320 (9.282)	93.313 (9.320)	87.267 (27.050)	83.647 (8.124)
7 (río Cayumapu)	125.167 (35.789)	147.096 (12.041)	311.306 (282.188)	66.168 (10.545)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	13.844 (7.562)	131.288 (109.799)	242.780	52.633 (7.879)

Tabla 4.1.1.53. Concentración de Manganeso particulado en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Manganeso (µg/g)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	8.054 (447)	1.045 (38)	613 (27)	6.657 (72)	2.603 (110)
2 (sector Rucaco)	7.665 (1.239)	1.005 (48)	1.712 (1.413)	5.294 (1.247)	2.392 (138)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	11.685 (109)	2.804 (1.044)	1.942 (119)	8.858 (207)	2.965 (219)
4 (sector Santa Clara)	5.982 (145)	2.519 (171)	1.888 (25)	4.488 (568)	3.241 (89)
5 (sector Punucapa)	3.797 (333)	1.153 (97)	1.570 (24)	5.220 (856)	3.071 (195)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	7.331 (1.792)	2.196 (1.235)	860 (465)	3.544 (328)	4.279 (152)
7 (río Cayumapu)	3.182 (386)	1.505 (168)	634 (30)	602 (47)	1.695 (77)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	3.673 (625)	817 (23)	834 (27)	4.825 (1.508)	1.156 (77)

Continuación **Tabla 4.1.1.53**

	Manganeso (µg/g)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	5.912 (402)	1.045 (929)	4.913 (2.056)	2.324 (68)
2 (sector Rucaco)	1.853 (1)	1.061 (632)	3.062 (336)	2.737 (302)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	15.390 (2.636)	3.308 (931)	19.506 (4.360)	2.078 (67)
4 (sector Santa Clara)	10.264 (2.384)	2.569 (238)	8.127 (3.625)	1.470 (283)
5 (sector Punucapa)	2.262 (279)	1.444 (19)	3.262 (949)	1.553 (254)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	4.795 (274)	2.952 (890)	4.742 (184)	3.286 (87)
7 (río Cayumapu)	2.244 (141)	2.647 (208)	4.605 (184)	1.067 (64)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	4.520 (255)	2.732 (927)	4.090 (11)	971 (69)

Continuación **Tabla 4.1.1.53**

	Manganeso (µg/g)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	3.474 (333)	4.223 (111)	10.146 (4.822)	3.080 (181)
2 (sector Rucaco)	9.346 (8.562)	3.334 (121)	8.898 (7.758)	2.983 (44)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	9.820 (3.964)	6.024 (972)	8.846 (1.318)	3.176 (213)
4 (sector Santa Clara)	6.998 (1.684)	4.642 (1.349)	10.408 (674)	2.740 (329)
5 (sector Punucapa)	5.982 (1.494)	3.834 (1.078)	3.721 (460)	2.398 (227)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	4.684 (594)	7.252 (1.918)	4.578 (393)	4.454 (1.006)
7 (río Cayumapu)	1.892 (577)	3.109 (298)	2.537 (422)	1.633 (39)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	7.518 (1.337)	1.689 (51)	4.013 (490)	1.087 (31)

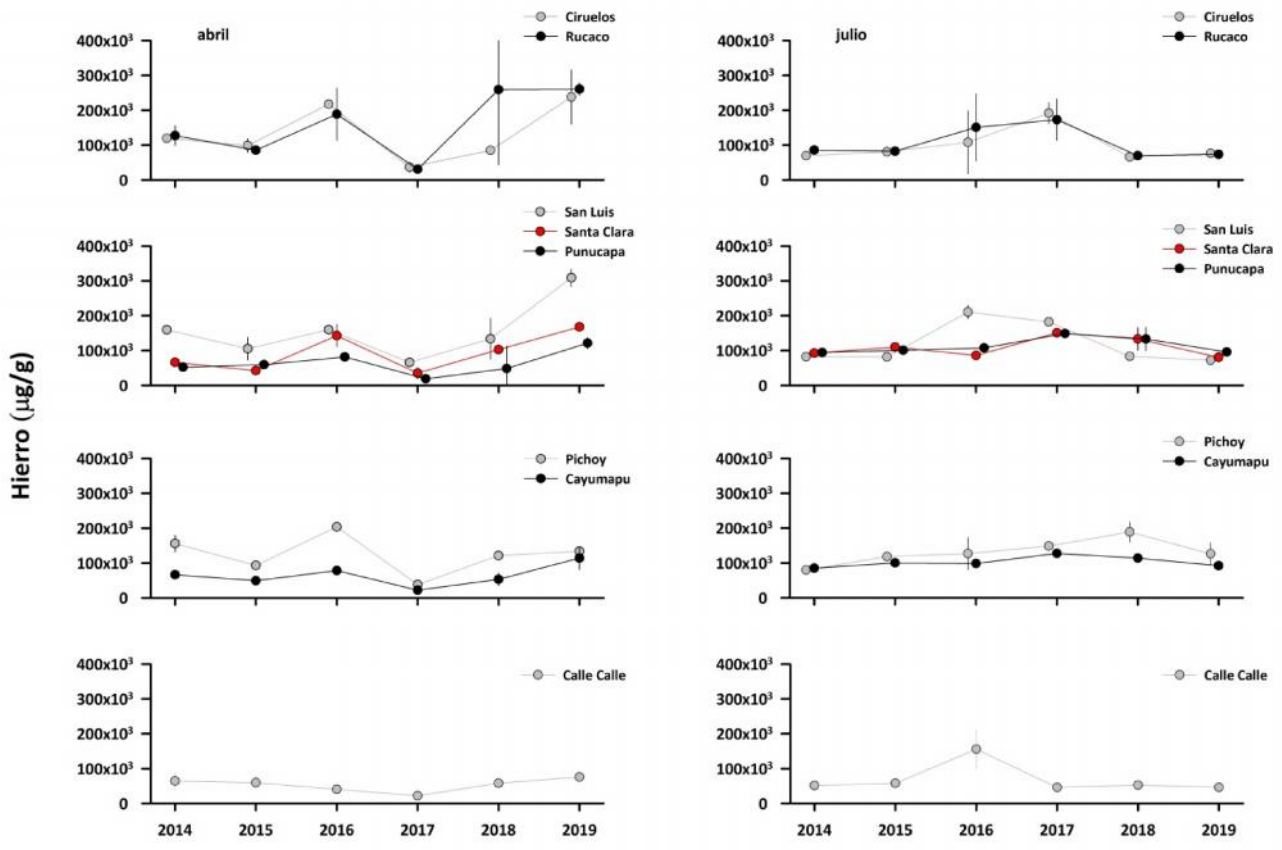


Figura 4.1.1.18. Comparación interanual de la concentración de Hierro particulado en aguas superficiales del sector a) límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

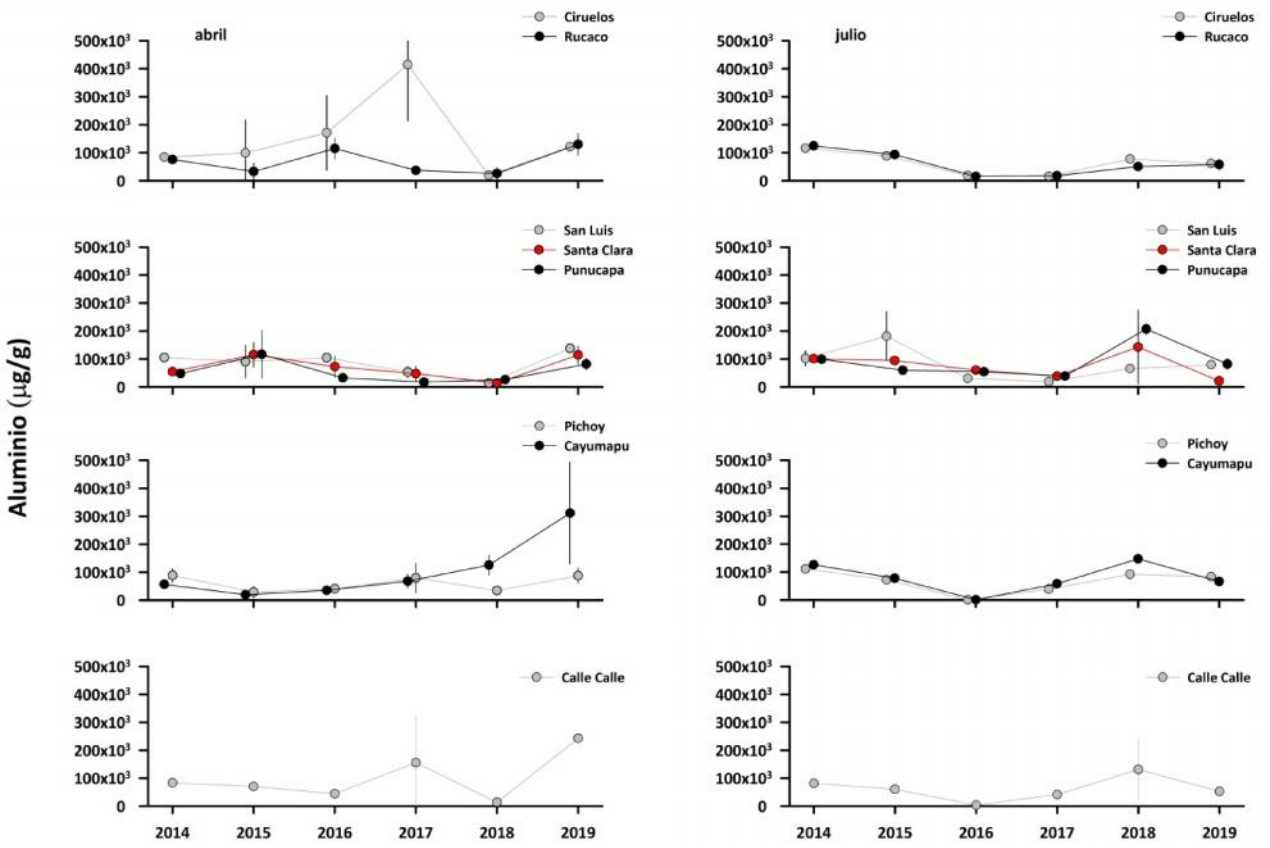


Figura 4.1.1.19. Comparación interanual de la concentración de Aluminio particulado en aguas superficiales del sector a) límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

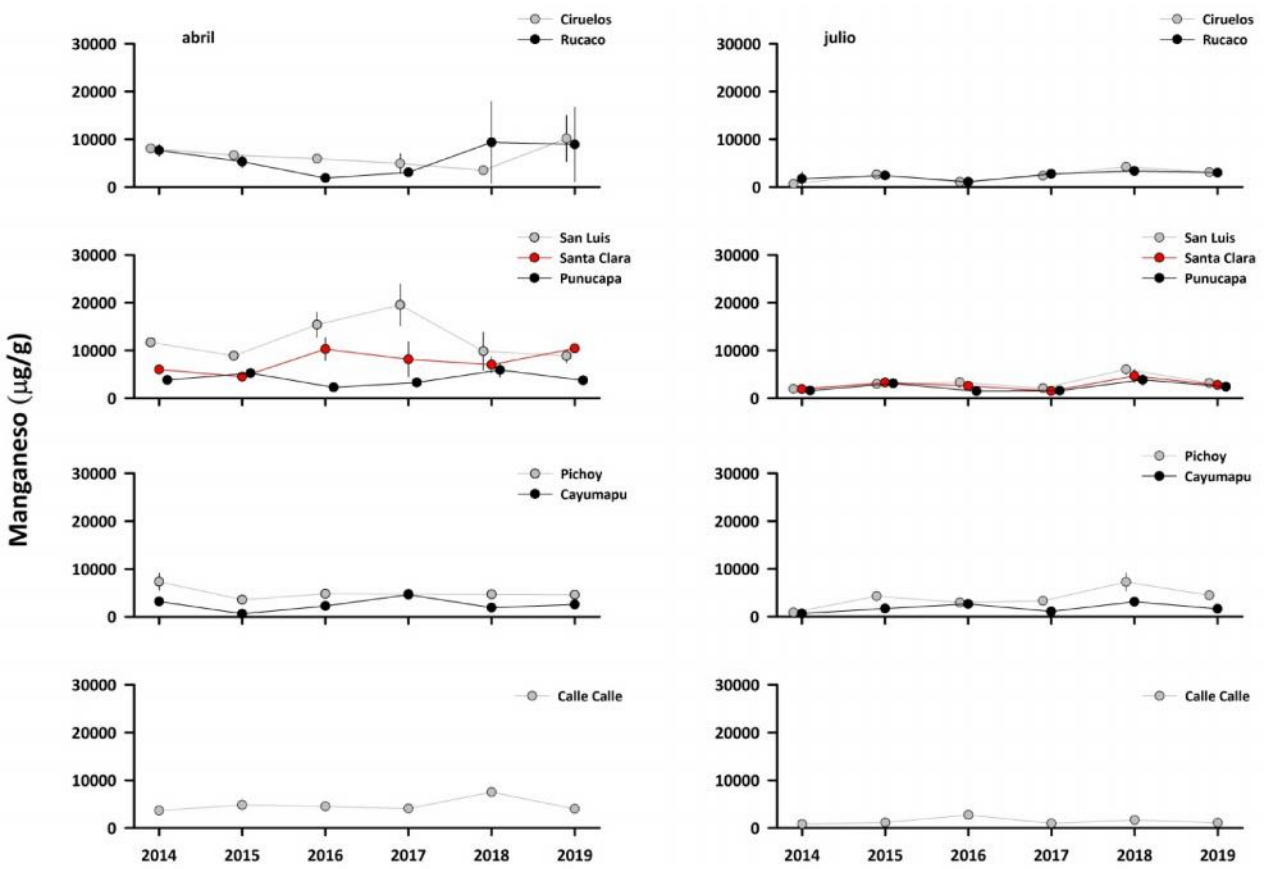


Figura 4.1.1.20. Comparación interanual de la concentración de Manganeso particulado en aguas superficiales del sector a) límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.1.54 muestra los valores promedios de la variabilidad estacional e interanual de las concentraciones de metales pesados particulados Hierro, Aluminio y Manganeso en aguas superficiales del área de estudio.

Tabla 4.1.1.54. Variabilidad interanual (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019) y estacional (abril y julio) de las concentraciones de metales pesados particulados Hierro, Aluminio y Manganeso en aguas superficiales en los sectores de estudio: L = sector límnico del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

	Hierro (µg/g^{-1})				Aluminio (µg/g^{-1})				Manganeso (µg/g^{-1})			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	123.379	92.442	111.188	64.638	79.875	69.088	72.119	83.408	7.860	7.155	5.257	3.673
julio 2014	77.310	89.575	82.364	51.783	120.192	100.578	118.616	81.481	1.163	1.800	747	834
abril 2015	91.969	68.759	71.336	59.673	65.639	107.478	23.824	70.354	5.976	6.189	2.073	4.825
julio 2015	81.309	97.284	109.297	57.768	90.698	111.940	75.134	60.112	2.498	3.092	2.987	1.156
abril 2016	202.900	127.983	141.030	40.706	143.006	69.837	37.541	44.179	3.882	9.305	3.519	4.520
julio 2016	129.197	134.517	112.577	155.772	16.507	48.121	902	3.540	1.053	2.440	2.800	2.732
abril 2017	33.436	39.694	30.150	22.246	225.449	39.475	73.412	155.771	3.988	10.298	4.674	4.090
julio 2017	182.138	160.526	137.827	46.198	16.544	32.060	48.478	41.562	2.531	1.700	2.177	971
abril 2018	171.850	94.713	87.281	58.004	22.488	18.105	79.743	13.844	6.410	7.570	3.288	7.518
julio 2018	67.743	116.393	151.347	52.758	63.905	138.606	119.704	131.288	3.778	4.833	5.181	1.689
abril 2019	249.317	199.272	123.913	75.752	125.533	111.224	199.287	242.780	9.522	7.658	3.558	4.013
julio 2019	74.603	82.628	108.984	46.293	59.546	60.850	74.908	52.633	3.031	2.771	3.044	1.087

La Tabla 4.1.1.55 muestra los resultados de los análisis de ANDEVA factorial y test *a posteriori* de Tukey, llevados a cabo para comparar el efecto de los factores Año, Sector y Mes**.**

Las concentraciones de Hierro particulado fueron significativamente más bajas (p<0,05) en el río Calle Calle, fuera del humedal (Tabla 4.1.1.55). A su vez las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas (p<0,05) durante los años 2016 y 2019, principalmente durante el periodo de mayor caudal (p<0,05).

Las concentraciones de Aluminio particulado no presentaron diferencias significativas (p<0,05) entre las estaciones en estudio, pero si entre años de estudio, donde fueron significativamente más bajas (<0,05) durante el año 2016, por el contrario, estas concentraciones fueron significativamente más altas (p<0,05) durante el mes de abril, periodo de menor caudal hídrico (Tabla 4.1.1.55).

Las concentraciones de Manganeso fueron significativamente más altas en la estación San Luis (p>0,05), a su vez significativamente más altas durante los últimos tres años de monitoreo, principalmente en el mes de abril (Tabla 4.1.1.55).

Tabla 4.1.1.55. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de metales particulados Hierro (Fe), Aluminio (Al) y Manganeso (Mn) registradas en aguas del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019), Mes (A = abril, J = julio) y Sector (Ci=Ciruelos, Ru=Rucaco, SL=San Luis, SC=Santa Clara, Pu=Punucapa, Pi=Pichoy, Ca=Cayumapu y CC=Calle Calle). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Fe (*)(***)	Sector (S)	7	2,431	0,347	15,391	**<0,001**	Ci=Ru=SL=Pu>SC=Pi=Ca>CC
	Año (A)	5	1,610	0,322	14,268	**<0,001**	2019=2016>2018=2015=2014>2017
	Mes (M)	1	0,292	0,292	12,920	**<0,001**	J > A
	S x A x M	35	1,703	0,0487	2,157	**0,002**	
	Error	96	2,166	0,0226			
Al (*)(***)	Sector (S)	7	0,532	0,0759	1,522	0,169	
	Año (A)	5	7,496	1,499	30,037	**<0,001**	2019=2014=2015>2017=2018>2016
	Mes (M)	1	0,273	0,273	5,470	**0,021**	A > J
	S x A x M	35	5,971	0,171	3,418	**<0,001**	
	Error	96	4,791	0,0499			
Mn (*)(***)	Sector (S)	7	4,103	0,586	39,543	**<0,001**	SL>SC=Pi>Ci=Ru>Pu=CC>Ca
	Año (A)	5	1,248	0,250	16,844	**<0,001**	2018=2019=2017>2014=2015=2016
	Mes (M)	1	6,863	6,863	463,063	**<0,001**	A > J
	S x A x M	35	2,119	0,0606	4,085	**<0,001**	
	Error	96	1,423	0,0148			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados $\log_{10}$ o raíz cuadrada; (***) = No cumple supuestos de ANDEVA.

Cobre, Zinc y Plomo

Las Tablas 4.1.1.56 a la 4.1.1.58 y la Figura 4.1.1.21 a la 4.1.1.23 muestran la variabilidad espacio temporal en las concentraciones de Cobre, Zinc y Plomo particulado en el agua superficial del área de estudio, durante los años 2014 (Programa de Diagnóstico del HRC), 2015 al 2019 (Programa de Monitoreo Ambiental del HRC).

Tabla 4.1.1.56. Concentración de Cobre particulado en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Cobre (µg/g)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	148 (10)	62 (9)	88 (8)	154 (67)	90 (8)
2 (sector Rucaco)	157 (41)	55 (2)	93 (6)	133 (7)	98 (11)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	238 (26)	45 (5)	45 (5)	188 (93)	124 (58)
4 (sector Santa Clara)	138 (45)	48 (4)	63 (1)	95 (22)	159 (3)
5 (sector Punucapa)	111 (32)	42 (4)	43 (2)	258 (75)	104 (23)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	157 (84)	51 (11)	48 (3)	101 (3)	377 (205)
7 (río Cayumapu)	103 (18)	33 (2)	44 (2)	86 (17)	77 (6)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	192 (31)	41 (1)	38 (0)	224 (0)	87 (27)

Continuación **Tabla 4.1.1.56**

	Cobre (µg/g)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	204 (119)	39 (29)	95 (90)	157 (32)
2 (sector Rucaco)	124 (43)	60 (11)	133 (131)	170 (5)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	72 (3)	110 (18)	127 (34)	158 (26)
4 (sector Santa Clara)	58 (20)	77 (9)	35 (27)	107 (17)
5 (sector Punucapa)	67 (11)	102 (11)	85 (5)	88 (1)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	35 (12)	77 (45)	57 (9)	106 (24)
7 (río Cayumapu)	20 (3)	95 (4)	34 (9)	87 (6)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	48 (7)	235 (100)	128 (55)	132 (5)

Continuación **Tabla 4.1.1.56**

	Cobre (µg/g)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	51,8 (8,0)	70,3 (2,8)	163,5 (52,5)	93,8 (5,8)
2 (sector Rucaco)	169,1 (137,8)	113,4 (8,6)	303,4 (296,9)	79,6 (1,1)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	56,5 (35,3)	92,4 (2,6)	129,3 (10,6)	92,7 (1,6)
4 (sector Santa Clara)	131,7 (87,1)	63,3 (10,9)	122,8 (19,3)	100,8 (14,6)
5 (sector Punucapa)	86,9 (8,9)	100,1 (11,5)	143,0 (9,1)	118,4 (0,8)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	45,0 (7,9)	74,9 (5,9)	67,6 (15,2)	95,3 (21,5)
7 (río Cayumapu)	87,9 (92,2)	61,3 (0,9)	97,1 (5,0)	65,5 (3,5)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	*	58,5 (7,9)	432,6 (65,6)	66,0 (5,2)

Tabla 4.1.1.57. Concentración de Zinc particulado en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Zinc (µg/g)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	211 (41)	234 (67)	196 (16)	1.563 (309)	161 (11)
2 (sector Rucaco)	284 (0,4)	142 (10)	213 (11)	1.390 (239)	209 (47)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	646 (42)	87 (17)	213 (17)	1.243 (0,4)	238 (55)
4 (sector Santa Clara)	189 (67)	103 (24)	133 (14)	1.148 (287)	361 (16)
5 (sector Punucapa)	107 (23)	172 (164)	118 (0)	1.206 (75)	384 (133)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	304 (67)	148 (31)	119 (35)	1.084 (507)	272 (36)
7 (río Cayumapu)	65 (5)	150 (55)	136 (11)	1.125 (450)	244 (26)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	704 (31)	82 (21)	127 (22)	2.028 (304)	99 (4)

Continuación **Tabla 4.1.1.57**

	Zinc (µg/g)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	604 (97)	171 (6)	1.018 (17)	986 (196)
2 (sector Rucaco)	429 (296)	193 (10)	543 (57)	868 (173)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	240 (56)	279 (46)	1.109 (142)	575 (86)
4 (sector Santa Clara)	518 (226)	129 (37)	904 (472)	331 (288)
5 (sector Punucapa)	216 (203)	213 (27)	349 (89)	198 (23)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	325 (209)	216 (50)	319 (65)	77 (11)
7 (río Cayumapu)	366 (189)	179 (8)	435 (35)	319 (43)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	441 (345)	325 (314)	797 (238)	298 (185)

Continuación **Tabla 4.1.1.57**

	Zinc (µg/g)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	737 (647)	*	1.467 (88)	216 (44)
2 (sector Rucaco)	1.157 (630)	117 (1)	2.622 (1.832)	247 (48)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	722 (227)	*	1.050 (204)	302 (37)
4 (sector Santa Clara)	1.832 (1.357)	1.164 (263)	5.108 (1.673)	269 (152)
5 (sector Punucapa)	579 (322)	2.241 (454)	938 (317)	549 (88)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	151 (60)	*	669 (541)	396 (232)
7 (río Cayumapu)	346 (180)	133 (19)	326 (326)	278 (54)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	367 (348)	707 (36)	*	394 (220)

Tabla 4.1.1.58. Concentración de Plomo particulado en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal superficiales, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Plomo (µg/g)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	18 (2,4)	12 (0,2)	18 (0,3)	15 (1,4)	12 (0,6)
2 (sector Rucaco)	20 (3,2)	12 (0,9)	21 (0,3)	15 (1,4)	13 (1,6)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	24 (1,7)	10 (0,3)	14 (1,4)	60 (56)	13 (0,9)
4 (sector Santa Clara)	10 (1,6)	11 (0,5)	18 (1,1)	12 (1,7)	19 (0,8)
5 (sector Punucapa)	11 (1,0)	18 (10)	16 (0,0)	17 (6,2)	20 (4,7)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	17 (6,1)	47 (37)	20 (0,1)	18 (0,2)	17 (0,9)
7 (río Cayumapu)	11 (3,6)	15 (2,4)	17 (0,7)	12 (5,5)	13 (0,5)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	28 (20,0)	9 (0,5)	14 (0,7)	21 (3,8)	16 (4,4)

Continuación **Tabla 4.1.1.58**

	Plomo (µg/g)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	91 (64)	6 (3)	59 (40)	128 (1)
2 (sector Rucaco)	43 (19)	7 (2)	75 (68)	39 (11)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	20 (10)	78 (46)	78 (1)	39 (3)
4 (sector Santa Clara)	19 (9)	18 (3)	49 (5)	45 (4)
5 (sector Punucapa)	18 (3)	41 (9)	37 (15)	35 (1)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	27 (25)	14 (1)	35 (3)	26 (1)
7 (río Cayumapu)	7 (2)	19 (2)	81 (25)	25 (4)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	10 (9)	34 (33)	58 (0)	44 (11)

Continuación **Tabla 4.1.1.58**

	Plomo (µg/g)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	16 (2,9)	10 (0,6)	70 (29)	27 (11)
2 (sector Rucaco)	41 (21,9)	14 (0,4)	80 (78)	19 (6)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	15 (4,6)	13 (0,8)	49 (4)	23 (8)
4 (sector Santa Clara)	68 (59,4)	49 (45,9)	40 (6)	40 (7)
5 (sector Punucapa)	18 (5,5)	29 (4,8)	34 (7)	27 (1)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	14 (0,7)	23 (0,6)	19 (6)	31 (8)
7 (río Cayumapu)	13 (4,0)	14 (2,0)	21 (2)	18 (1)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	60 (31,2)	18 (2,5)	26 (2)	20 (4)

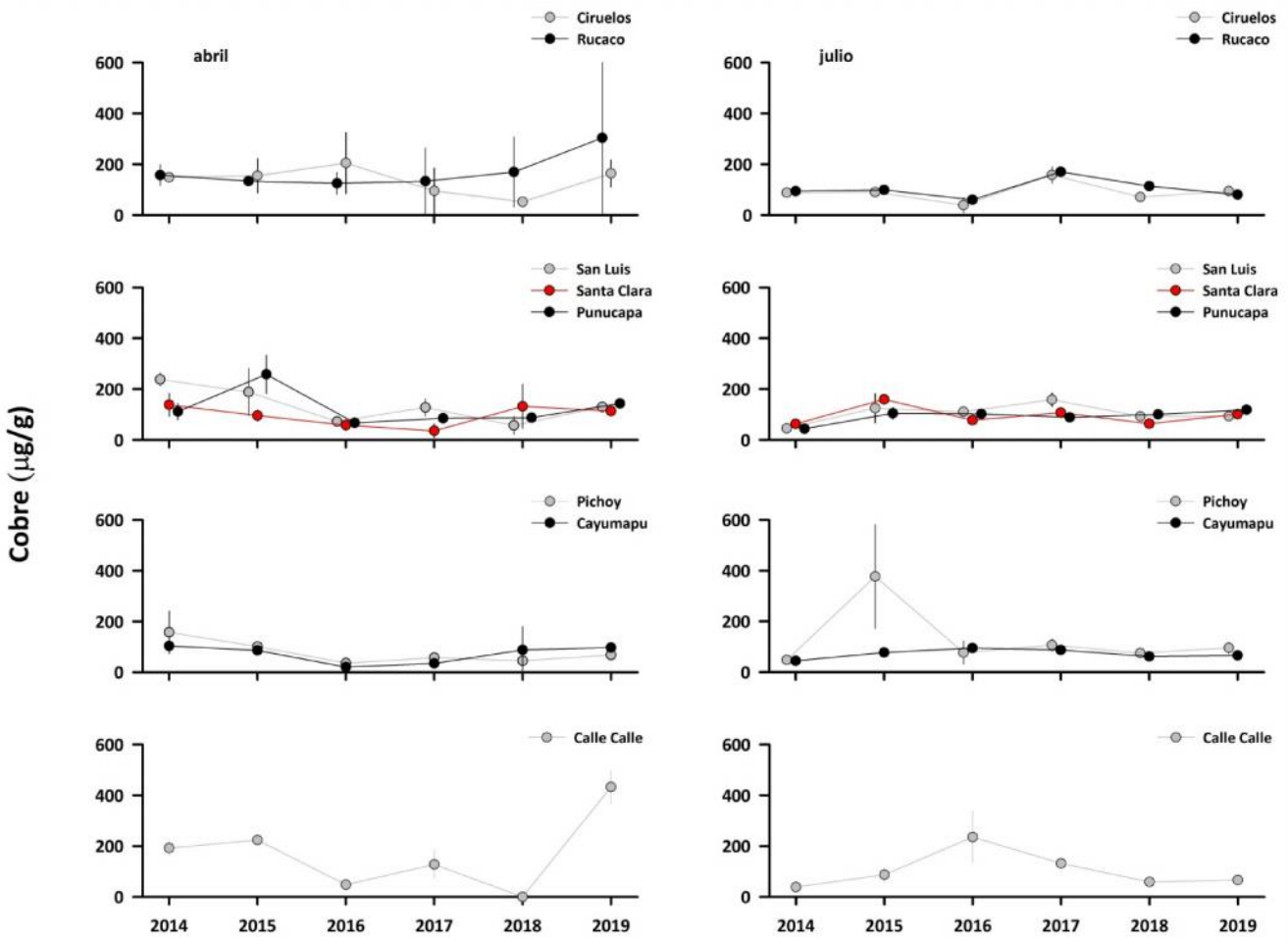


Figura 4.1.1.19. Comparación interanual de la concentración de Cobre particulado en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

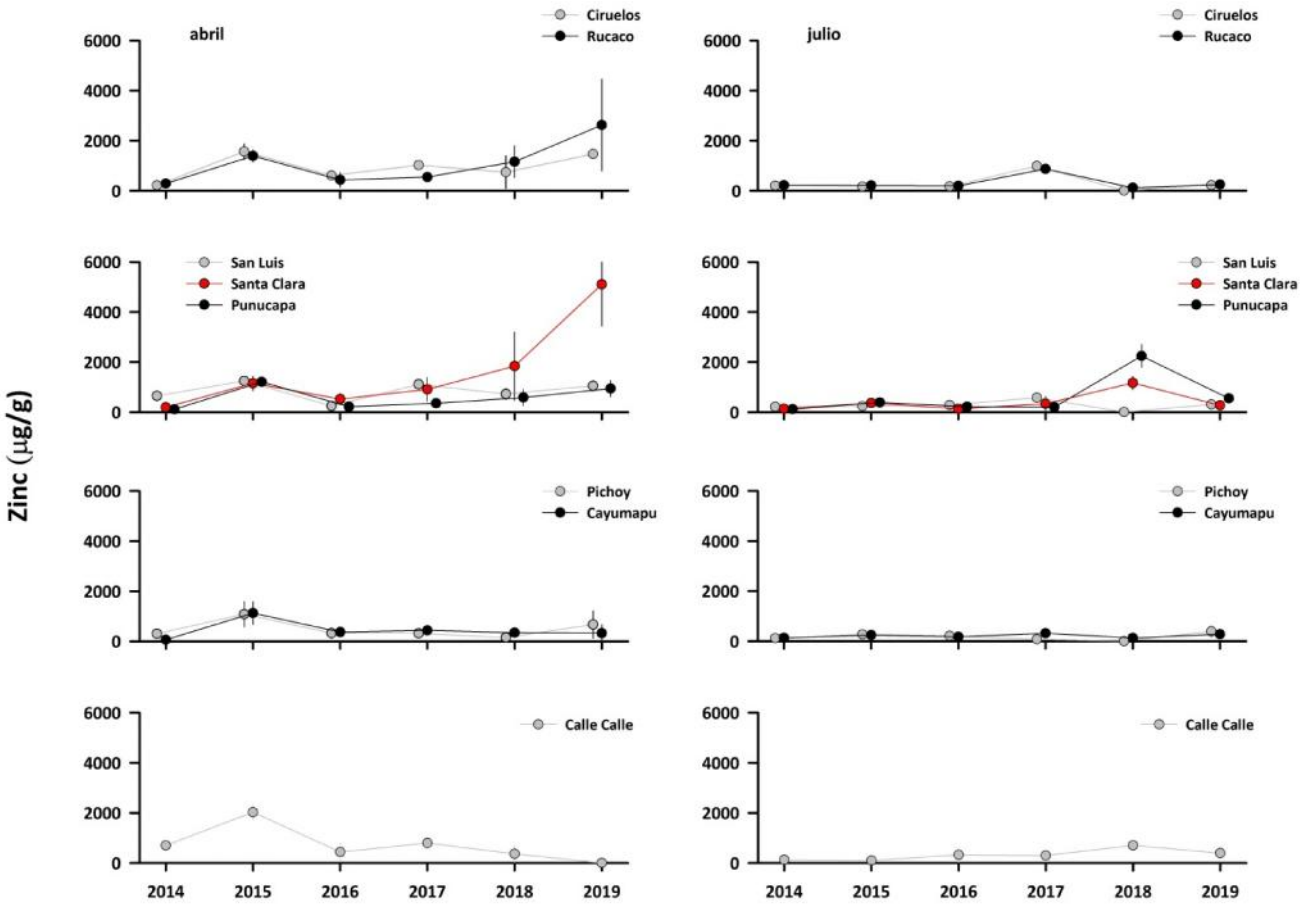


Figura 4.1.1.20. Comparación interanual de la concentración de Zinc particulado en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal

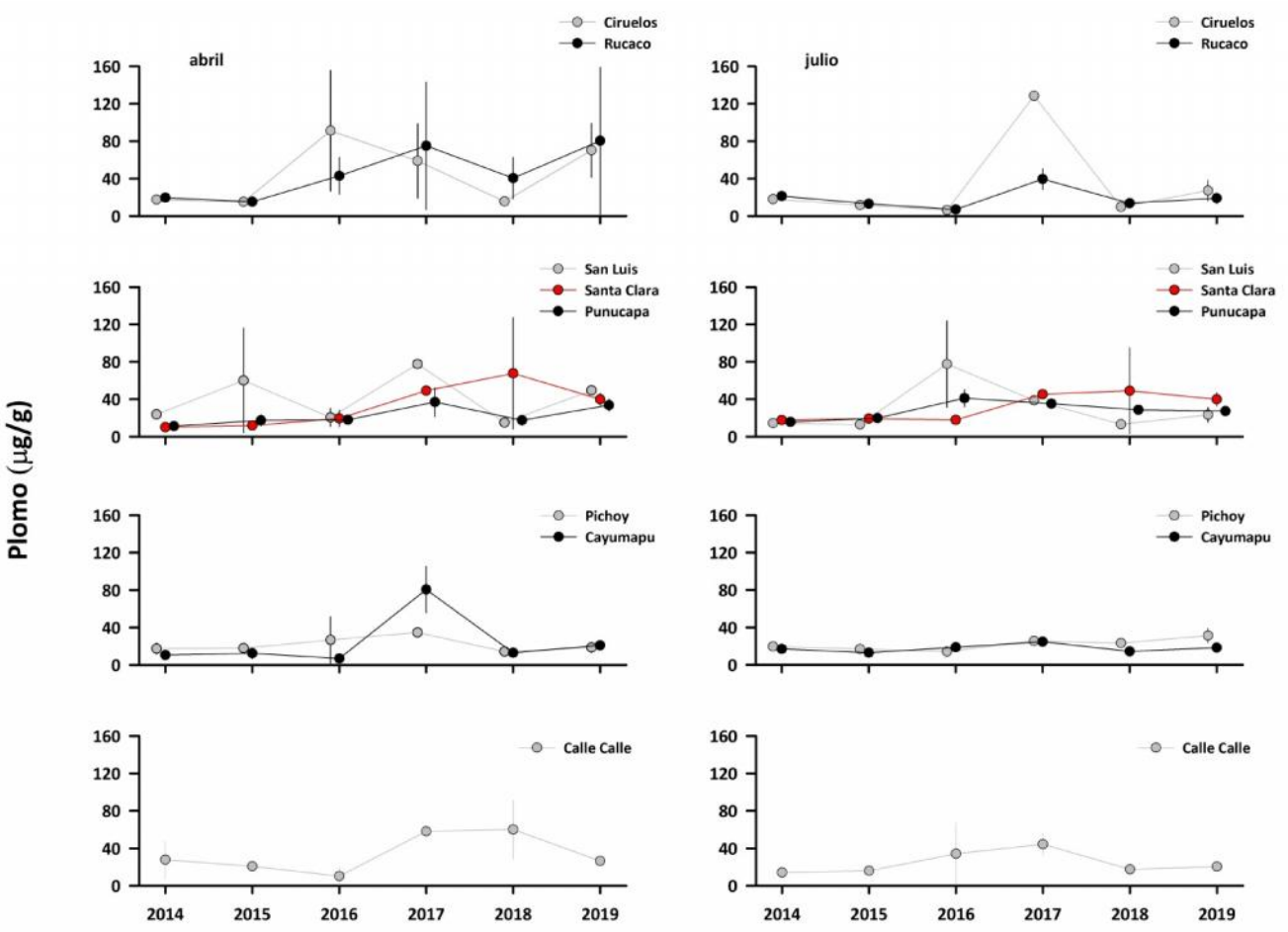


Figura 4.1.1.21. Comparación interanual de la concentración de Plomo particulado en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.1.59 muestra los valores promedios de la variabilidad estacional e interanual de las concentraciones de Cobre, Zinc y Plomo particulado en aguas superficiales del área de estudio

Tabla 4.1.1.59. Variabilidad interanual (2014, 2015, 2016, 2017, 2108 y 2019) y estacional (abril y julio) de las concentraciones de metales pesados particulados Cobre, Zinc y Plomo en aguas superficiales, en los sectores de estudio: L = sector límnico del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

	Cobre (µg/g)				**Zinc (µg/g)**				**Plomo (µg/g)**			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	153	162	130	192	248	314	185	704	19	15	14	28
julio 2014	91	50	46	38	205	155	128	127	20	16	19	14
abril 2015	144	180	94	224	1.477	1.199	1.105	2.028	15	30	15	21
julio 2015	94	129	227	87	185	328	258	99	13	17	15	16
abril 2016	164	65	28	48	516	325	346	441	67	19	17	10
julio 2016	49	96	86	235	182	207	197	325	7	45	16	34
abril 2017	114	82	46	128	781	787	377	797	67	55	58	58
julio 2017	164	118	97	132	927	368	198	298	84	40	26	44
abril 2018	110	92	66	0,05	947	1.045	249	367	28	33	14	60
julio 2018	92	85	68	59	59	1.135	67	707	12	30	19	18
abril 2019	234	128	82	433	2044	2365	498	*	75	41	20	26
julio 2019	87	104	81	66	232	373	337	394	23	30	25	20

La Tabla 4.1.1.60 muestra los resultados de los análisis de ANDEVA factorial y test *a posteriori* de Tukey, llevados a cabo para comparar el efecto de los factores Año, Sector y Mes**.**

Las concentraciones de Cobre particulado detectadas en las estaciones Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, fueron significativamente más bajas ($p<0,05$) que las encontradas

en otras estaciones (Tabla 4.1.1.60). De igual forma, estas concentraciones fueron significativamente más bajas ($p<0,05$) durante el año 2018 que las detectadas en otros años, no se encontraron diferencias entre temporadas.

Las concentraciones de Zinc particulado detectadas en las estaciones de los ríos tributarios fueron significativamente más bajas ($p<0,05$) que las observadas en el sector límnico, eje central del HRC y fuera de este; a su vez estas concentraciones fueron significativamente más bajas ($p<0,05$) durante el programa de Diagnóstico Ambiental y el segundo año de Monitoreo. Por el contrario, estas concentraciones fueron más altas durante el periodo de menor caudal hídrico (Tabla 4.1.1.60).

Las concentraciones de Plomo particulado encontradas en las estaciones de los ríos tributarios fueron significativamente más bajas ($p<0,05$) que las observadas en las estaciones ubicadas en el interior del HRC y fuera de este (Tabla 4.1.1.60). A su vez estas concentraciones fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2017, particularmente durante la campaña de abril (Tabla 4.1.1.60).

Tabla 4.1.1.60. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de metales particulados Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Plomo (Pb) registradas en aguas del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019), Mes (A = abril, J = julio) y Sector (Ci=Ciruelos, Ru=Rucaco, SL=San Luis, SC=Santa Clara, Pu=Punucapa, Pi=Pichoy, Ca=Cayumapu y CC=Calle Calle). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	P	Prueba de Tukey
Cu (*)(***)	Sector (S)	7	1,645	0,235	8,618	**<0,001**	Ci=Ru=SL=SC=Pu>Pi=Ca=CC
	Año (A)	5	3,553	0,711	26,049	**<0,001**	2015=2019>2014=2016=2017>2018
	Mes (M)	1	0,00276	0,00276	0,101	0,751	
	S x A x M	35	9,068	0,259	9,499	**<0,001**	
	Error	96	2,618	0,0273			
Zn (*)(***)	Sector (S)	7	1950,736	278,677	11,230	**<0,001**	Ci=Ru=SL=SC=Pu=CC>Pi=Ca
	Año (A)	5	3419,617	683,923	27,560	**<0,001**	2015=2017=2019>2018>2014=2016
	Mes (M)	1	4617,387	4617,387	186,067	**<0,001**	A > J
	S x A x M	35	5293,849	151,253	6,095	**<0,001**	
	Error	96	2382,312	24,816			
Pb (*)(***)	Sector (S)	7	0,762	0,109	3,332	**0,003**	Ci=Ru=SL=SC=Pu=CC>Pi=Ca
	Año (A)	5	5,182	1,036	37,719	**<0,001**	2017>2019>2018=2014=2015=2016
	Mes (M)	1	0,257	0,257	7,867	**0,006**	A > J
	S x A x M	35	3,756	0,107	3,285	**<0,001**	
	Error	96	3,137	0,0327			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados $\log_{10}$ o raíz cuadrada; (***) = No cumple supuestos de ANDEVA.

Cadmio, Arsénico y Mercurio

Las Tablas 4.1.1.61 a la 4.1.1.63 y la Figura 4.1.1.20 muestran la variabilidad espacio temporal en las concentraciones de Cadmio, Arsénico y Mercurio particulado en el agua superficial del área de estudio, durante los años 2014 (Programa de Diagnostico del HRC), 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 (Programa de Monitoreo Ambiental del HRC).

Tabla 4.1.1.61. Concentración de Cadmio particulado en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis, * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

	Cadmio (µg/g)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	*	0,24 (0,14)	0,21 (0,01)	0,44 (0,02)	0,38 (0,02)
2 (sector Rucaco)	*	0,15 (0,05)	0,28 (0,03)	0,47 (0,01)	0,39 (0,12)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	*	0,13 (0,02)	*	0,71 (0,07)	0,48 (0,12)
4 (sector Santa Clara)	*	0,17 (0,12)	0,17 (0,01)	0,45 (0,06)	0,92 (0,00)
5 (sector Punucapa)	*	0,09	0,12 (0,01)	0,7 (0,02)	1,17 (0,50)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	*	0,13	0,18 (0,05)	2,56 (3,2)	0,65 (0,02)
7 (río Cayumapu)	*	0,02	0,14 (0,01)	0,21 (0,10)	0,56 (0,06)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	*	0,05 (0,00)	0,10 (0,01)	0,82 (0,13)	0,19 (0,01)

Continuación **Tabla 4.1.1.61**

Estaciones	Cadmio (µg/g)			
	2016		2017	
	abril	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,91 (0,08)	0,13 (0,12)	*	0,31 (0,06)
2 (sector Rucaco)	0,48 (0,35)	0,30 (0,33)	0,09 (*)	0,39 (0,21)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,40 (0,09)	0,27 (0,09)	*	0,85 (0,06)
4 (sector Santa Clara)	0,33 (0,07)	0,20 (0,00)	*	0,29 (0,07)
5 (sector Punucapa)	0,28 (0,02)	0,19 (0,03)	0,18 (*)	0,45 (0,02)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,58 (0,27)	0,20 (0,03)	0,23 (0,08)	0,52 (0,00)
7 (río Cayumapu)	0,07 (0,05)	0,21 (0,00)	0,10 (*)	0,47 (0,07)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	*	0,52 (0,22)	*	0,29 (0,01)

Continuación **Tabla 4.1.1.61**

	Cadmio (µg/g)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,90 (0,26)	0,37	2,73 (2,08)	*
2 (sector Rucaco)	1,30 (0,91)	*	*	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,92 (0,32)	1,02 (0,08)	*	*
4 (sector Santa Clara)	0,89 (0,41)	0,18 (0,02)	1,82 (1,03)	*
5 (sector Punucapa)	0,70 (0,51)	*	0,83 (0,34)	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,53 (0,12)	4,49 (0,15)	0,74 (0,20)	*
7 (río Cayumapu)	0,30 (0,13)	*	0,75 (0,26)	*
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	2,48 (0,22)	*	1,06 (0,19)	*

Tabla 4.1.1.62. Concentración de Arsénico particulado en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

	Arsénico (µg/g)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	*	18 (0,2)	18 (0,7)	*	*
2 (sector Rucaco)	*	16 (0,8)	18 (0,2)	*	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	16 (0,0)	20 (0,5)	*	*
5 (sector Punucapa)	*	30 (0,2)	23 (2,5)	*	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	*	*	15 (1,2)	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	*	18 (0,0)	20 (0,7)	*	*

Continuación **Tabla 4.1.1.62**

	Arsénico (µg/g)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	*	*	*	*

Continuación **Tabla 4.1.1.62**

	Arsénico (µg/g)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	*	*	*	*

Tabla 4.1.1.63. Concentración de Mercurio particulado en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

	Mercurio (µg/g)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	*	0,06 (0,0)	0,10 (0,0)	*	1,18 (0,2)
2 (sector Rucaco)	*	0,07 (0,0)	0,08 (0,0)	*	0,17 (0,2)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*	0,32 (0,0)
4 (sector Santa Clara)	*	0,05 (0,0)	0,05 (0,0)	*	1,05 (0,2)
5 (sector Punucapa)	*	*	0,08 (0,0)	*	0,61 (0,1)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	*	*	0,13 (0,0)	*	0,65 (0,1)
7 (río Cayumapu)	*	*	0,12 (0,0)	*	0,56 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	*	*	0,02 (0,0)	*	0,24 (0,0)

Continuación **Tabla 4.1.1.63**

	Mercurio (µg/g)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,67	0,19 (0,02)	0,51	0,18 (0,02)
2 (sector Rucaco)	0,29 (0,10)	0,67 (0,70)	0,29 (0,04)	0,17 (0,01)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,75 (0,07)	0,24 (0,12)	0,14 (0,01)	0,25 (0,01)
4 (sector Santa Clara)	*	0,18 (0,00)	0,01	0,45 (0,34)
5 (sector Punucapa)	0,15 (0,01)	0,10 (0,11)	0,23 (0,01)	0,27 (0,09)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	*	0,20 (0,04)	0,38 (0,01)	0,23 (0,03)
7 (río Cayumapu)	*	0,19 (0,00)	0,36 (0,01)	0,17 (0,02)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	*	0,31 (0,09)	0,53 (0,03)	*

Continuación **Tabla 4.1.1.63**

	Mercurio (µg/g)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,54 (0,02)	5,63 (1,65)	1,42 (0,05)	0,31 (0,01)
2 (sector Rucaco)	0,83 (0,06)	1,28 (0,40)	0,86 (0,15)	0,53 (0,31)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	2,00 (1,56)	2,34 (1,41)	0,35 (0,23)	0,35 (0,02)
4 (sector Santa Clara)	0,57 (0,18)	1,97 (1,69)	0,30 (0,09)	0,54 (0,59)
5 (sector Punucapa)	1,37 (0,50)	3,83 (2,59)	0,24 (0,02)	0,50 (0,10)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,52 (0,05)	4,12 (0,83)	0,32 (0,08)	0,55 (0,21)
7 (río Cayumapu)	0,41 (0,08)	3,76 (0,70)	0,28 (0,18)	0,34 (0,02)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	1,20 (0,72)	2,40 (1,49)	0,29 (0,12)	0,80 (0,26)

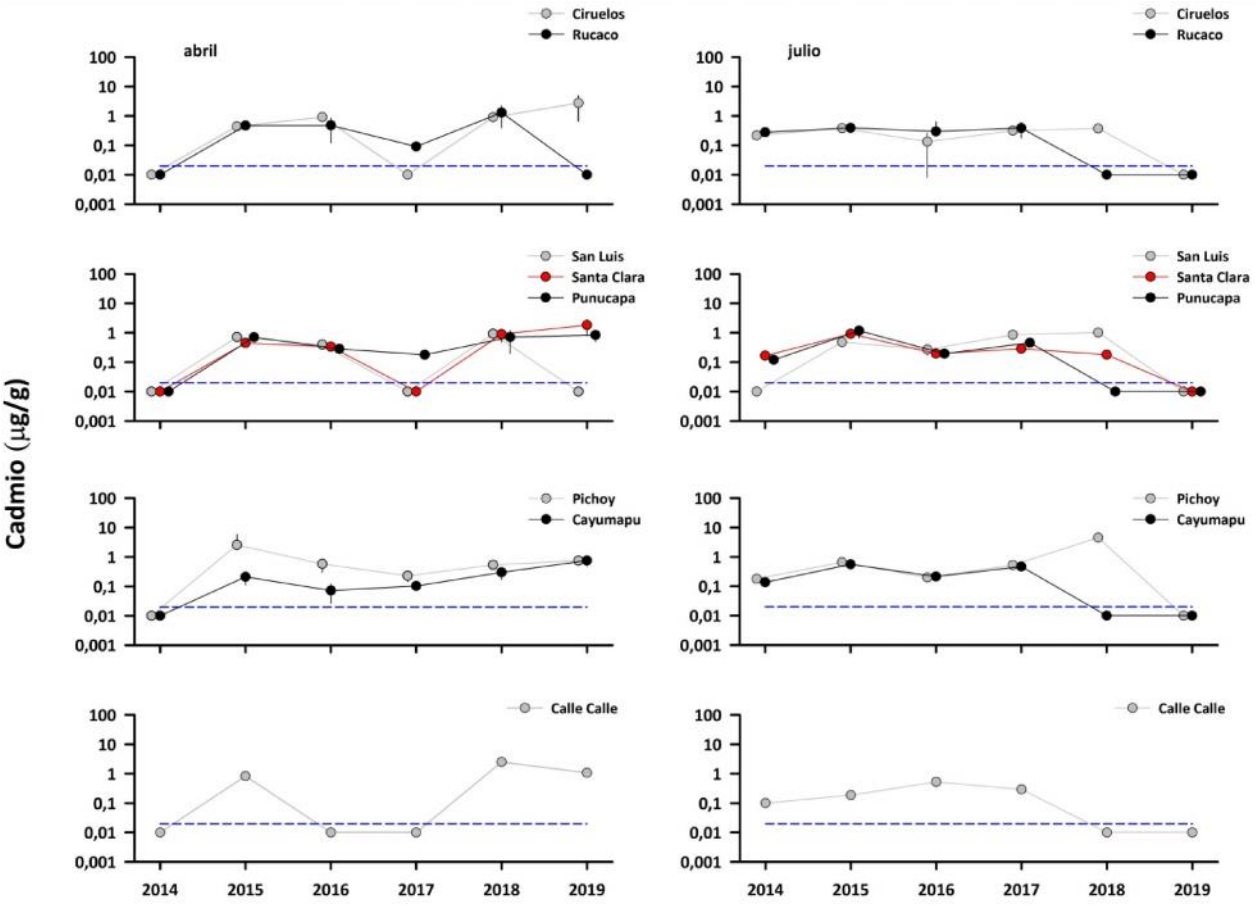


Figura 4.1.1.20. Comparación interanual de la concentración de Cadmio particulado en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal. La línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

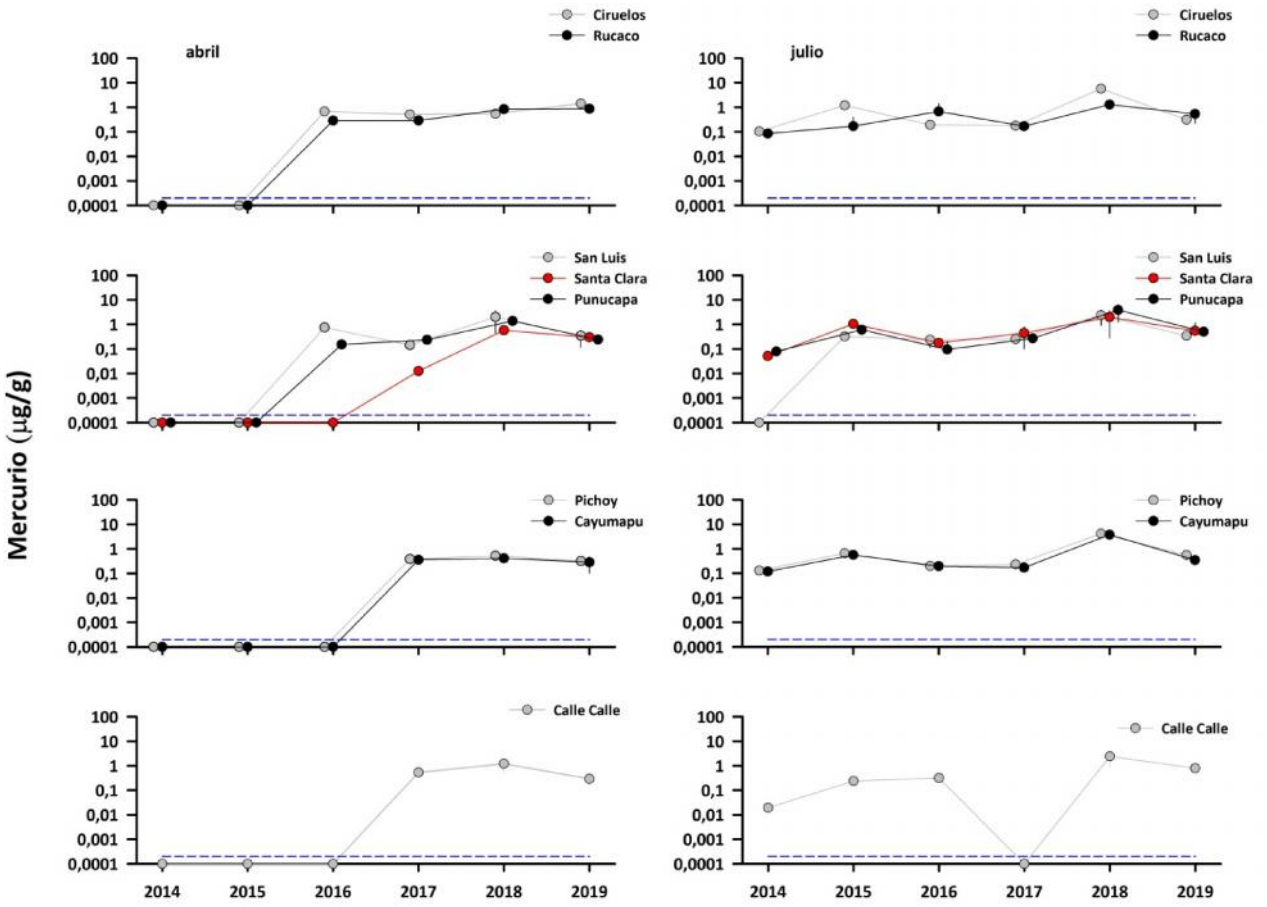


Figura 4.1.1.21. Comparación interanual de la concentración de Mercurio particulado en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal. La línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.1.64 muestra los valores promedios de la variabilidad estacional e interanual de las concentraciones de metales pesados particulados Cadmio, Arsénico y Mercurio en aguas superficiales del área de estudio. No se ingresó el Arsénico al análisis factorial ya que solo fue detectado durante julio del año 2014.

Tabla 4.1.1.64. Variabilidad interanual (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019) y estacional (abril y julio) de las concentraciones de metales pesados particulados Cadmio, Arsénico y Mercurio en aguas superficiales en los sectores de estudio: L = sector límnico del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

	Cadmio (µg/g^{-1})				**Arsénico (µg/g^{-1})**				**Mercurio (µg/g^{-1})**			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
julio 2014	0,25	0,15	0,16	0,10	18,0	14,3	0,0	20,0	0,09	0,07	0,13	0,02
abril 2015	0,46	0,62	1,39	0,82	*	*	*	*	*	*	*	*
julio 2015	0,39	0,86	0,61	0,19	*	*	*	*	0,68	0,66	0,61	0,24
abril 2016	0,69	0,34	0,32	*	*	*	*	*	0,48	0,45	*	*
julio 2016	0,21	0,22	0,21	0,52	*	*	*	*	0,43	0,17	0,20	0,31
abril 2017	0,09	0,18	0,17	*	*	*	*	*	0,40	0,13	0,37	0,53
julio 2017	0,35	0,53	0,50	0,29	*	*	*	*	0,18	0,32	0,20	*
abril 2018	1,10	0,84	0,42	2,48	*	*	*	*	0,69	1,32	0,47	1,20
julio 2018	0,19	0,40	2,25	0,01	*	*	*	*	3,46	2,71	3,94	2,40
abril 2019	1,37	0,89	0,74	1,06	*	*	*	*	1,14	0,29	0,30	0,29
julio 2019	*	*	*	*	*	*	*	*	0,42	0,46	0,45	0,80

La Tabla 4.1.1.65 muestra los resultados de los análisis de ANDEVA factorial y test *a posteriori* de Tukey, llevados a cabo para comparar el efecto de los factores Sector, Año y Mes**.**

Las concentraciones de Cadmio particulado detectadas en el río Pichoy fueron significativamente más altas (p<0,05) que las encontradas en todas las otras estaciones del área de estudio, a su vez estas concentraciones detectadas durante todo el Programa de Monitoreo Ambiental fueron significativamente más altas (p<0,05) que las detectadas durante el Programa de Diagnóstico; principalmente significativamente más altas (p<0,05) durante el periodo de menor caudal hídrico (Tabla 4.1.1.65).

Las concentraciones de Mercurio particulado detectadas durante el año 2018 fueron significativamente más altas (p<0,05) que las detectadas durante el Programa de Diagnóstico Ambiental (2014) y los otros cuatro años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (Tabla 4.1.1.65). A su vez estas concentraciones fueron significativamente más altas (p<0,005) durante el periodo de mayor caudal hídrico (Tabla 4.1.1.65). No se detectaron diferencias significativas entre sectores.

Tabla 4.1.1.65. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de metales particulados Cadmio (Cd) y Mercurio (Hg) registradas en aguas del área de estudio**.** Los factores son Año de muestreo (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019), Mes (A = abril, J = julio) y Sector (Ci=Ciruelos, Ru=Rucaco, SL=San Luis, SC=Santa Clara, Pu=Punucapa, Pi=Pichoy, Ca=Cayumapu y CC=Calle Calle). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	P	Prueba de Tukey
Cd (*)(***)	Sector (S)	7	1,698	0,243	7,447	**<0,001**	Pi>Ci=Ru=SL=SC=Pu=Ca=CC
	Año (A)	5	6,599	1,320	40,509	**<0,001**	2015=2018>2016=2017=2019>2014
	Mes (M)	1	0,419	0,419	12,854	**<0,001**	A > J
	S x A x M	35	8,031	0,229	7,043	**<0,001**	
	Error	96	3,128	0,0326			
Hg (*)(***)	Sector (S)	7	3,078	0,440	1,836	0,089	
	Año (A)	5	88,836	17,767	74,164	**<0,001**	2018>2015=2016=2017=2019>2014
	Mes (M)	1	11,197	11,197	46,738	**<0,001**	J > A
	S x A x M	35	19,880	0,568	2,371	**<0,001**	
	Error	96	22,998	0,240			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados $\log_{10}$ o raíz cuadrada; (***) = No cumple supuestos de ANDEVA.

Ácidos grasos, Ácidos resínicos y Compuestos Órgano-Halogenados Adsorbibles (AOX)

Ácidos grasos y Ácidos resínicos

La Tabla 4.1.1.66 y la Figura 4.1.1.22 muestran la variabilidad espacio temporal en las concentraciones de Ácidos grasos y Ácidos resínicos en el agua superficial del área de estudio, durante los años 2014 (Programa de Diagnóstico del HRC), 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 (Programa de Monitoreo Ambiental del HRC). No se han detectado Ácidos resínicos en ambos Programas (Tabla 4.1.1.66).

Tabla 4.1.1.66. Concentración de Ácidos grasos y Ácidos resínicos en agua superficiales del sector límnico, eje central, tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

	Ácidos grasos (µg/L)				
estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	7,4 (0,2)	0,8 (0,1)	0,3 (0,0)	1,2 (0,0)	0,3 (0,1)
2 (sector Rucaco)	29,8 (1,8)	1,8 (0,5)	0,3 (0,1)	1,0 (0,0)	0,2 (0,0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	17,0 (1,5)	1,4 (0,5)	0,3 (0,1)	0,8 (0,1)	0,2 (0,1)
4 (sector Santa Clara)	15,7 (2,6)	0,9 (0,0)	0,3 (0,0)	0,6 (0,1)	0,1 (0,0)
5 (sector Punucapa)	23,9 (2,9)	0,8 (0,1)	0,6 (0,2)	0,9 (0,1)	0,2 (0,0)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	4,0 (0,9)	1,2 (0,2)	0,2 (0,0)	0,7 (0,1)	0,2 (0,0)
7 (río Cayumapu)	15,3 (2,2)	0,7 (0,0)	0,2 (0,0)	0,5 (0,0)	0,1 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	9,3 (3,0)	0,8 (0,1)	0,5 (0,1)	0,7 (0,2)	0,1 (0,0)

Continuación **Tabla 4.1.1.66**

	Ácidos grasos (µg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,8 (0,31)	0,4 (0,07)	0,8 (0,05)	0,7 (0,00)
2 (sector Rucaco)	0,6 (0,09)	0,4 (0,04)	0,6 (0,02)	0,6 (0,01)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,6 (0,05)	0,4 (0,02)	0,6 (0,02)	0,7 (0,15)
4 (sector Santa Clara)	0,7 (0,14)	0,4 (0,03)	0,5 (0,01)	0,5 (0,02)
5 (sector Punucapa)	1,2 (0,12)	0,7 (0,03)	0,5 (0,07)	0,5 (0,01)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,6 (0,07)	0,4 (0,03)	0,6 (0,05)	0,5 (0,01)
7 (río Cayumapu)	0,7 (0,00)	0,4 (0,02)	0,6 (0,02)	0,5 (0,02)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,6 (0,07)	0,4 (0,03)	0,6 (0,05)	0,5 (0,02)

Continuación **Tabla 4.1.1.66**

	Ácidos grasos (µg/L)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,6 (0,02)	0,7 (0,03)	0,1 (0,01)	0,2 (0,00)
2 (sector Rucaco)	0,6 (0,01)	0,7 (0,00)	0,1 (0,00)	0,3 (0,06)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,7 (0,01)	0,6 (0,02)	0,2 (0,03)	0,2 (0,02)
4 (sector Santa Clara)	0,7 (0,03)	0,6 (0,01)	0,1 (0,01)	0,2 (0,02)
5 (sector Punucapa)	0,8 (0,04)	0,6 (0,00)	0,1 (0,00)	0,2 (0,00)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,7 (0,02)	0,6 (0,01)	0,1 (0,01)	0,2 (0,02)
7 (río Cayumapu)	0,8 (0,00)	0,7 (0,03)	0,1 (0,01)	0,2 (0,01)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,7 (0,00)	0,6 (0,01)	0,1 (0,01)	0,2 (0,00)

Continuación **Tabla 4.1.1.66**

	Ácidos resínicos (µg/L)				
estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	*	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	*	*	*	*	*

Continuación **Tabla 4.1.1.66**

	Ácidos resínicos (µg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	*	*	*	*

Continuación **Tabla 4.1.1.66**

	Ácidos resínicos (µg/L)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	*	*	*	*

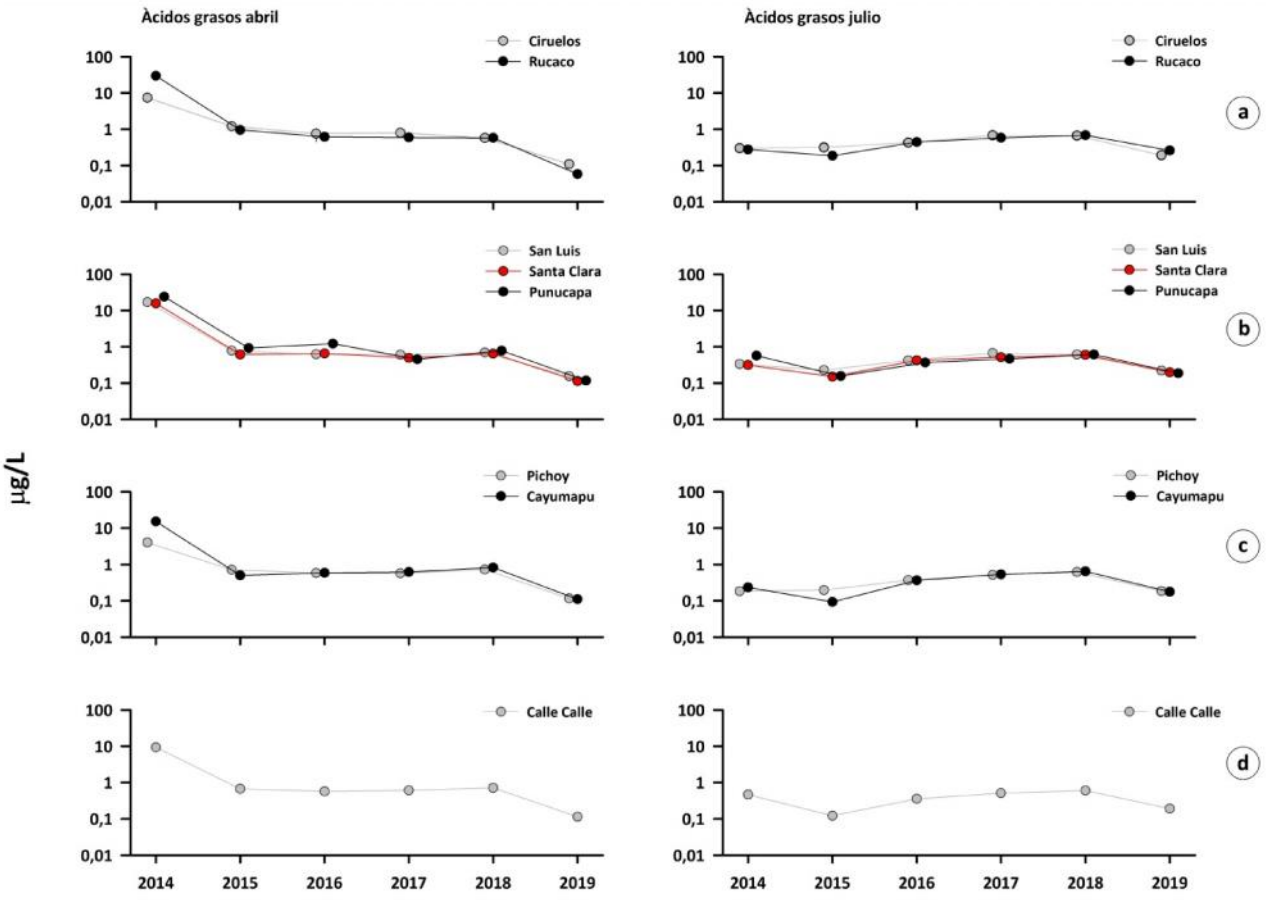


Figura 4.1.1.22. Comparación interanual de la concentración de Ácidos grasos en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

Compuestos Órgano-Halogenados Adsorbibles (AOX)

La Tabla 4.1.1.67 y la Figura 4.1.1.23 muestran la variabilidad espacio temporal en las concentraciones de AOX en el agua superficial del área de estudio, durante los años 2014 (Programa de Diagnóstico del HRC), 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 (Programa de Monitoreo Ambiental del HRC).

Tabla 4.1.1.67. Concentración de los compuestos órgano-halogenados adsorbibles (AOX) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	AOX (µg/L)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	Abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	6,5 (0,2)	9,7 (3,0)	9,5 (2,2)	7,4 (0,6)	5,9 (0,4)
2 (sector Rucaco)	50,9 (0,9)	14,8 (2,2)	5,4 (0,7)	72,4 (1,7)	10,6 (0,8)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	29,7 (1,9)	12,4 (1,8)	6,9 (1,4)	50,5 (1,2)	10,1 (0,6)
4 (sector Santa Clara)	25,2 (1,2)	13,5 (2,9)	8,7 (1,0)	56,8 (7,4)	10,5 (2,7)
5 (sector Punucapa)	42,1 (2,9)	7,6 (2,3)	11,5 (0,1)	159,8 (4,0)	8,4 (0,3)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	5,6 (0,7)	4,7 (0,2)	17,2 (1,4)	23,1 (4,0)	10,2 (0,4)
7 (río Cayumapu)	25,5 (1,5)	13,3 (4,0)	14,7 (3,3)	118,5 (24,5)	12,2 (2,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	5,2 (1,0)	42,6 (1,4)	6,8 (0,4)	6,4 (1,1)	5,0 (0,7)

Continuación **Tabla 4.1.1.67**

	AOX (µg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	5,8 (0,48)	6,3 (0,37)	5,3 (0,2)	5,2 (0,2)
2 (sector Rucaco)	72,5 (2,47)	60,4 (0,42)	60,6 (0,7)	16,5 (0,3)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	47,1 (0,14)	42,8 (0,77)	55,8 (0,9)	11,5 (0,2)
4 (sector Santa Clara)	62,1 (5,25)	35,9 (4,02)	30,0 (0,4)	10,8 (0,5)
5 (sector Punucapa)	39,4 (0,02)	32,3 (1,23)	51,6 (4,5)	12,4 (1,2)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	6,7 (0,27)	12,6 (0,91)	10,5 (1,2)	9,2 (0,6)
7 (río Cayumapu)	60,0 (3,83)	22,2 (2,67)	28,3 (3,9)	14,6 (0,4)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	4,2 (0,25)	2,9 (0,16)	5,8 (1,3)	2,4 (0,0)

Continuación **Tabla 4.1.1.67**

	AOX (µg/L)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	7,0 (0,46)	6,0 (0,63)	7,3 (0,4)	5,3 (0,3)
2 (sector Rucaco)	23,2 (1,26)	15,5 (1,76)	71,8 (0,3)	10,7 (0,1)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	27,0 (1,38)	13,2 (1,87)	54,1 (1,6)	6,9 (0,3)
4 (sector Santa Clara)	18,0 (0,41)	9,9 (1,34)	56,1 (0,2)	6,5 (0,3)
5 (sector Punucapa)	16,3 (0,24)	11,9 (0,69)	45,2 (0,0)	6,8 (0,1)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	13,7 (1,53)	9,3 (0,97)	6,0 (0,1)	8,7 (0,2)
7 (río Cayumapu)	13,6 (0,13)	11,8 (0,42)	34,9 (0,6)	9,8 (0,5)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	5,3 (0,12)	4,9 (0,49)	4,0 (0,0)	2,0 (0,0)

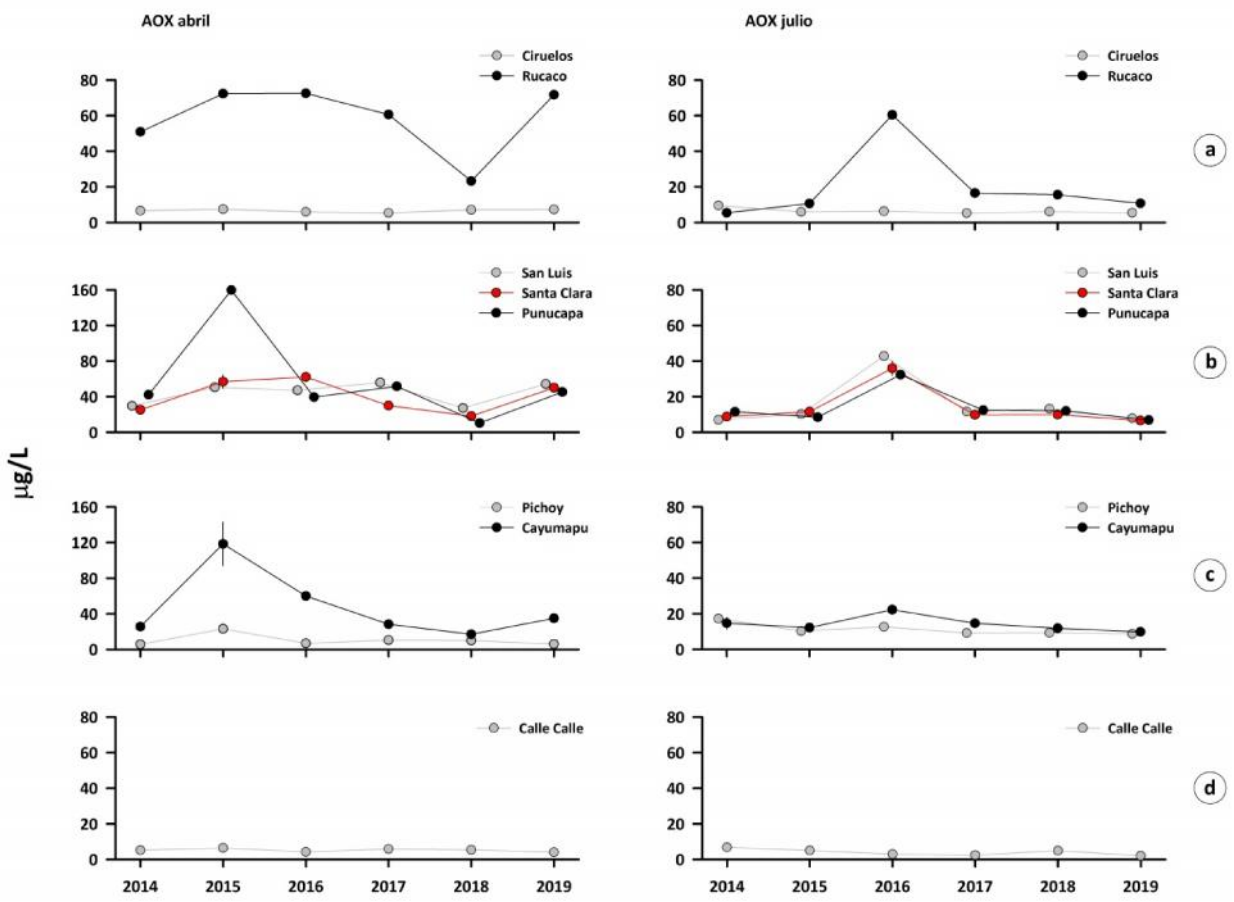


Figura 4.1.1.23. Comparación interanual de la concentración de los compuestos órgano-halogenados adsorbibles (AOX) en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

Análisis estadísticos

La tabla 4.1.1.68 presenta las concentraciones promedio de Ácidos grasos y AOX en aguas superficiales del área de estudio.

Tabla 4.1.1.68. Variabilidad interanual (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019) y estacional (abril y julio) de las concentraciones de Ácidos grasos y Compuestos Halogenados Adsorbibles (AOX) en aguas superficiales en los sectores de estudio: L = sector límnico del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

	Ácidos grasos (µg/L)				**AOX (µg/L)**			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	18,60	18,87	9,65	9,30	28,7	32,3	15,6	5,2
julio 2014	0,30	0,40	0,20	0,50	7,5	9,0	16,0	6,8
abril 2015	1,10	0,77	0,60	0,70	39,9	89,0	70,8	6,4
julio 2015	0,25	0,17	0,15	0,10	8,3	9,7	11,2	5,0
abril 2016	0,69	0,83	0,58	0,57	39,2	49,6	33,4	4,2
julio 2016	0,44	0,40	0,37	0,36	33,3	37,0	17,4	2,9
abril 2017	0,70	0,51	0,60	0,61	33,0	45,8	19,4	5,8
julio 2017	0,63	0,55	0,53	0,51	10,9	11,6	11,9	2,4
abril 2018	0,58	0,71	0,77	0,71	15,1	20,5	13,6	5,3
julio 2018	0,67	0,61	0,63	0,60	10,8	11,7	10,5	4,9
abril 2019	0,08	0,13	0,11	0,11	39,5	51,8	20,5	4,0
julio 2019	0,22	0,20	0,18	0,19	8,0	6,7	9,2	2,0

La Tabla 4.1.1.69 muestra los resultados de los análisis de ANDEVA factorial y test *a posteriori* de Tukey, llevados a cabo para comparar el efecto de los factores Sector, Año y Mes**.**

Las concentraciones de Ácidos grasos detectadas durante el Programa de Diagnostico (2014) fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las encontradas durante todo el Programa de Monitoreo Ambiental. Además, estas concentraciones fueron

significativamente más altas durante el periodo de menor caudal hídrico, pero significativamente más bajas (p<0,05) en el río Pichoy (Tabla 4.1.1.69).

Las concentraciones de AOX fueron significativamente más altas (p<0,05) en la estación Rucaco, a su vez significativamente más altas (p<0,05) durante los años 2015 y 2016, por su parte estas concentraciones fueron significativamente más altas (p<0,05) durante el periodo de abril (Tabla 4.1.1.69).

Tabla 4.1.1.69. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de Ácidos grasos y Compuestos Halogenados Adsorbibles (AOX) registradas en aguas superficiales del área de estudio. Los factores son Sector (Ci=Ciruelos, Ru=Rucaco, SL=San Luis, SC=Santa Clara, Pu=Punucapa, Pi=Pichoy, Ca=Cayumapu y CC=Calle Calle), Año (2014-2015-2016-2017-2018 y 2019) y Mes de muestreo (A=Abril y J=Julio). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Ácidos grasos	Sector (S)	7	1,775	0,254	31,304	**<0,001**	Ru=Pu=SL>Ci=SC=Ca=CC>Pi
(*)(***)	Año (A)	5	63,241	12,648	1566,1	**<0,001**	2014>2018=2017=2016>2015>2019
	Mes (M)	1	19,220	19,220	23,79,9	**<0,001**	A > J
	S x A x M	35	7,281	0,208	25,760	**<0,001**	
	Error	96	0,775	0,0080			
AOX (*)(***)	Sector (S)	7	340,738	48,677	1175,2	**<0,001**	Ru>Pu>SL=SC=Ca>Pi>Ci>CC
	Año (A)	5	73,460	14,692	354,71	**<0,001**	2015=2016>2017=2019>2014>2018
	Mes (M)	1	183,705	183,70	4435,3	**<0,001**	A > J
	S x A x M	35	74,607	2,132	51,466	**<0,001**	
	Error	96	3,976	0,0414			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados $\log_{10}$ o raíz cuadrada; (***) = No cumple supuestos de ANDEVA.

Dioxinas y Furanos

Las Tablas 4.1.1.70 y Figura 4.1.1.24 a la 4.1.1.26, muestran la variabilidad espacio temporal en las concentraciones de Dioxinas, Furanos y Equivalentes tóxicos en el agua superficial del área de estudio, durante los años 2014 (Programa de Diagnóstico del HRC), 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 (Programa de Monitoreo Ambiental del HRC).

Durante el año 2019 solo se detectó la Dioxina 1.2.3.7.8-PCDD, específicamente en aguas de la estación Ciruelos (sector límnico).

Tabla 4.1.1.70. Concentraciones de Dioxinas y Furanos en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal, entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. SD= sin datos.

	Dioxinas (ng/L)			
estaciones	**2014**			**2015**
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,0007 (0,0004)	0,0163 (0,0231)	0,0000 (0,0000)	0,0014 (0,0002)
2 (sector Rucaco)	0,0000 (0,0000)	0,0121	0,0005 (0,0006)	0,0003 (0,0004)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,0022 (0,0011)	0,0085 (0,012)	0,0001 (0,0001)	0,0003 (0,0001)
4 (sector Santa Clara)	SD	SD	SD	0,0014 (0,0001)
5 (sector Punucapa)	0,0021 (0,0008)	0,0183 (0,0091)	0,0000 (0,0000)	0,0000 (0,0000)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,0008 (0,0011)	0,0006 (0,0004)	0,0001 (0,0001)	0,0003 (0,0004)
7 (río Cayumapu)	0,0010 (0,0013)	0,0009 (0,0012)	0,0000 (0,0000)	0,0015 (0,0007)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,0000 (0,0000)	0,0008 (0,0006)	0,0013 (0,0002)	0,0000 (0,0000)

Continuación **Tabla 4.1.1.70**

	Dioxinas (ng/L)	
estaciones	**2016**	**2017**
	abril	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)		
1 (sector Ciruelos)	0,0006 (0,0008)	0,0029 (0,0004)
2 (sector Rucaco)	0,0000 (0,0000)	0,0023 (0,0001)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,0003 (0,0004)	0,0010 (0,0003)
4 (sector Santa Clara)	0,0002 (0,0002)	0,0021 (0,0030)
5 (sector Punucapa)	0,0003 (0,0004)	0,0017 (0,0000)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	0,0001 (0,0001)	0,0018 (0,0007)
7 (río Cayumapu)	0,0003 (0,0004)	0,0008 (0,0001)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	0,0004 (0,0001)	0,0041 (0,0011)

Continuación **Tabla 4.1.1.70**

	Dioxinas (ng/L)	
estaciones	**2018**	**2019**
	abril	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)		
1 (sector Ciruelos)	0,0058 (0,0044)	0,0130 (0,0031)
2 (sector Rucaco)	0,0031 (0,0000)	0,0066 (0,0005)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,0013 (0,0005)	0,0085 (0,0006)
4 (sector Santa Clara)	0,0021 (0,0003)	0,0030 (0,0001)
5 (sector Punucapa)	0,0032 (0,0006)	0,0053 (0,0037)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	0,0018 (0,0002)	0,0054 (0,0042)
7 (río Cayumapu)	0,0018 (0,0004)	0,0021 (0,0001)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	0,0060 (0,0025)	0,0022 (0,0007)

Continuación **Tabla 4.1.1.70**

	Furanos (ng/L)			
estaciones	**2014**			**2015**
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,0004 (0,0000)	0,0221 (0,025)	0,0004 (0,0002)	0,0011 (0,0002)
2 (sector Rucaco)	0,0004 (0,0005)	0,0255	0,0002 (0,0002)	0,0000 (0,0000)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,0003 (0,0004)	0,0123 (0,0173)	0,0003 (0,0004)	0,0005 (0,0001)
4 (sector Santa Clara)	SD	SD	SD	0,0016 (0,0005)
5 (sector Punucapa)	0,0000 (0,0000)	0,0291 (0,0148)	0,0005 (0,0007)	0,0011 (0,0016)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,0003 (0,0004)	0,0002 (0,0003)	0,0003 (0,0000)	0,0003 (0,0001)
7 (río Cayumapu)	0,0000 (0,0000)	0,0006 (0,0000)	0,0003 (0,0000)	0,0011 (0,0001)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,0000 (0,0000)	0,0002 (0,0003)	0,0005 (0,0007)	0,0000 (0,0000)

Continuación **Tabla 4.1.1.70**

	Furanos (ng/L)	
estaciones	**2016**	**2017**
	abril	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)		
1 (sector Ciruelos)	0,0003 (0,0004)	0,0041 (0,0023)
2 (sector Rucaco)	0,0000 (0,0000)	0,0005 (0,0001)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,0003 (0,0001)	0,0002 (0,0070)
4 (sector Santa Clara)	0,0006 (0,0004)	0,0003 (0,0006)
5 (sector Punucapa)	0,0001 (0,0001)	0,0000 (0,0000)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	0,0003 (0,0001)	0,0000 (0,0000)
7 (río Cayumapu)	0,0001 (0,0001)	0,0000 (0,0000)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	0,0002 (0,0000)	0,0029 (0,0011)

Continuación **Tabla 4.1.1.70**

	Furanos (ng/L)	
estaciones	**2018**	**2019**
	abril	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)		
1 (sector Ciruelos)	0,0040 (0,0029)	0,0193 (0,0089)
2 (sector Rucaco)	0,0035 (0,0012)	0,0104 (0,0014)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,0001 (0,0001)	0,0156 (0,0032)
4 (sector Santa Clara)	0,0001 (0,0001)	0,0027 (0,0021)
5 (sector Punucapa)	0,0041 (0,0019)	0,0064 (0,0028)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	0,0003 (0,0002)	0,0068 (0,0013)
7 (río Cayumapu)	0,0001 (0,0002)	0,0015 (0,0004)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	0,0062 (0,0046)	0,0030 (0,0000)

Continuación **Tabla 4.1.1.70**

	EQTs (ng/L)			
Estaciones	**2014**			**2015**
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,00004 (0,0000)	0,00030 (0,0004)	0,00003 (0,0000)	0,00005 (0,00002)
2 (sector Rucaco)	0,00000 (0,0000)	0,00080	0,00001 (0,0000)	0,00000 (0,00000)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,00003 (0,0000)	0,00015 (0,0002)	0,00003 (0,0000)	0,00009 (0,00007)
4 (sector Santa Clara)	SD	SD	SD	0,00003 (0,00003)
5 (sector Punucapa)	0,00000 (0,0000)	0,00039 (0,0003)	0,00003 (0,0000)	0,00000 (0,00000)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,00003 (0,0000)	0,00002 (0,0000)	0,00003 (0,00001)	0,00000 (0,00000)
7 (río Cayumapu)	0,00000 (0,0000)	0,00004 (0,0000)	0,00003 (0,00001)	0,00005 (0,00002)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,00000 (0,0000)	0,00000 (0,0000)	0,00004 (0,00009)	0,00000 (0,00000)

Continuación **Tabla 4.1.1.70**

	EQTs (ng/L)	
estaciones	**2016**	**2017**
	abril	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)		
1 (sector Ciruelos)	0,00002 (0,0000)	0,00032 (0,00017)
2 (sector Rucaco)	0,00000 (0,0000)	0,00008 (0,00001)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,00004 (0,0000)	0,00001 (0,0000)
4 (sector Santa Clara)	0,00004 (0,0001)	0,00001 (0,0000)
5 (sector Punucapa)	0,00001 (0,0000)	0,00001 (0,0000)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	0,00003 (0,0000)	0,00000 (0,0000)
7 (río Cayumapu)	0,00002 (0,0000)	0,00000 (0,0000)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	0,00001 (0,0000)	0,00064 (0,0006)

Continuación **Tabla 4.1.1.70**

	EQTs (ng/L)	
estaciones	**2018**	**2019**
	abril	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)		
1 (sector Ciruelos)	0,00028 (0,00034)	0,00230 (0,00017)
2 (sector Rucaco)	0,00058 (0,00064)	0,00091 (0,00026)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,00000 (0,00000)	0,00044 (0,00014)
4 (sector Santa Clara)	0,00002 (0,00001)	0,00002 (0,00002)
5 (sector Punucapa)	0,00072 (0,00014)	0,00051 (0,00044)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	0,00001 (0,00000)	0,00005 (0,00003)
7 (río Cayumapu)	0,00000 (0,00000)	0,00001 (0,00000)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	0,00086 (0,00034)	0,00025 (0,00006)

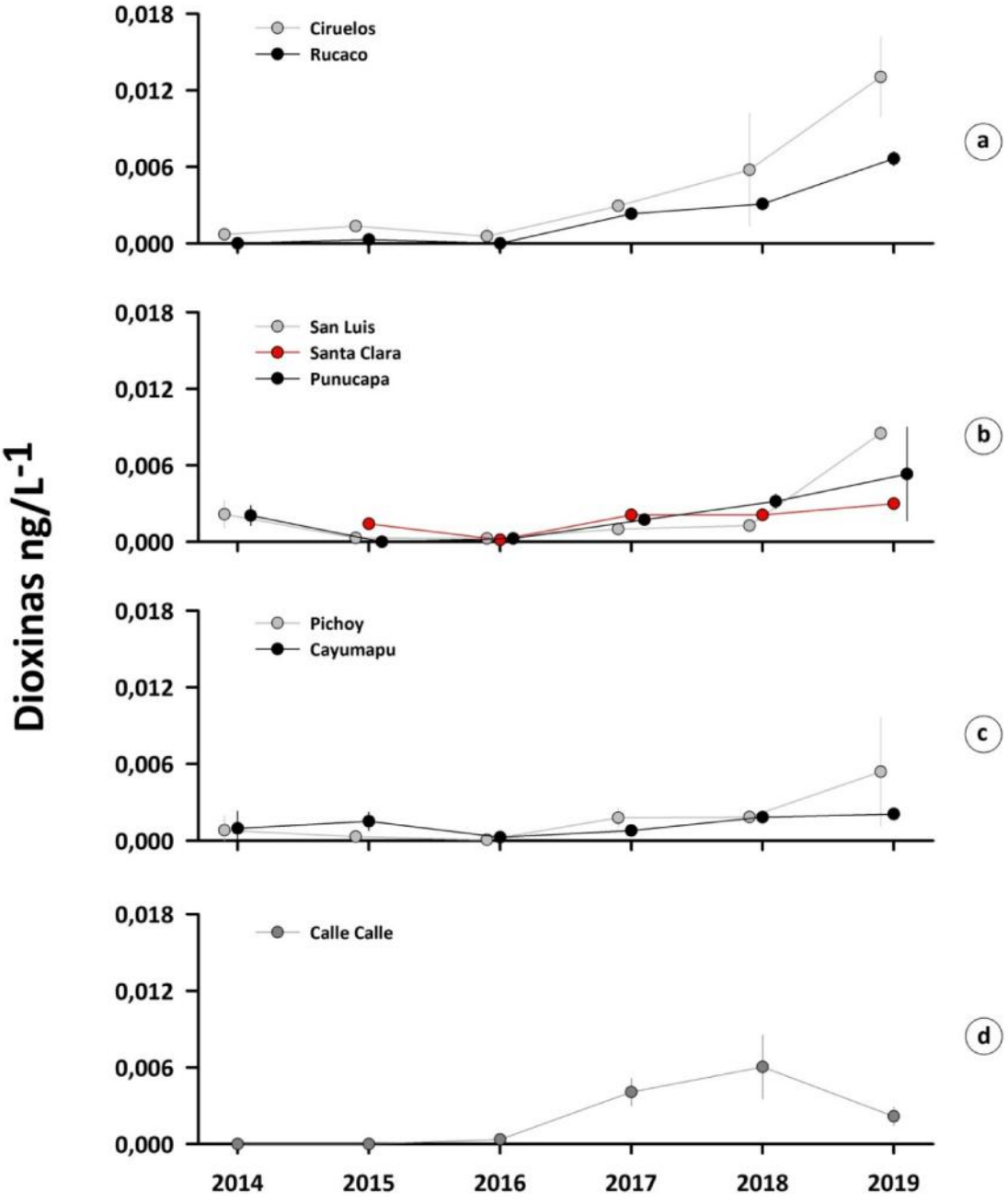


Figura 4.1.1.24. Comparación interanual de la concentración de Dioxinas detectadas en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

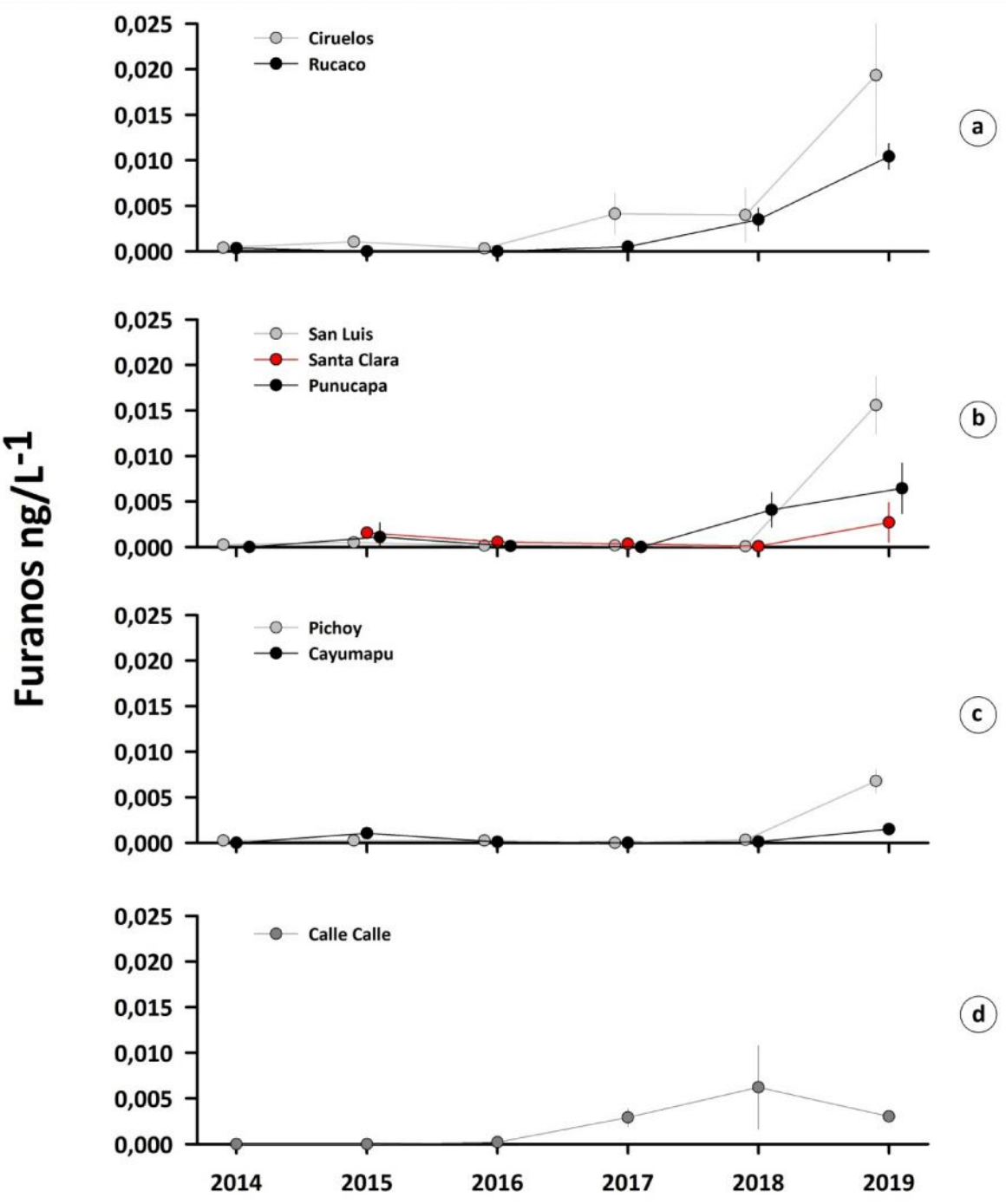


Figura 4.1.1.25. Comparación interanual de la concentración de Furanos detectadas en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

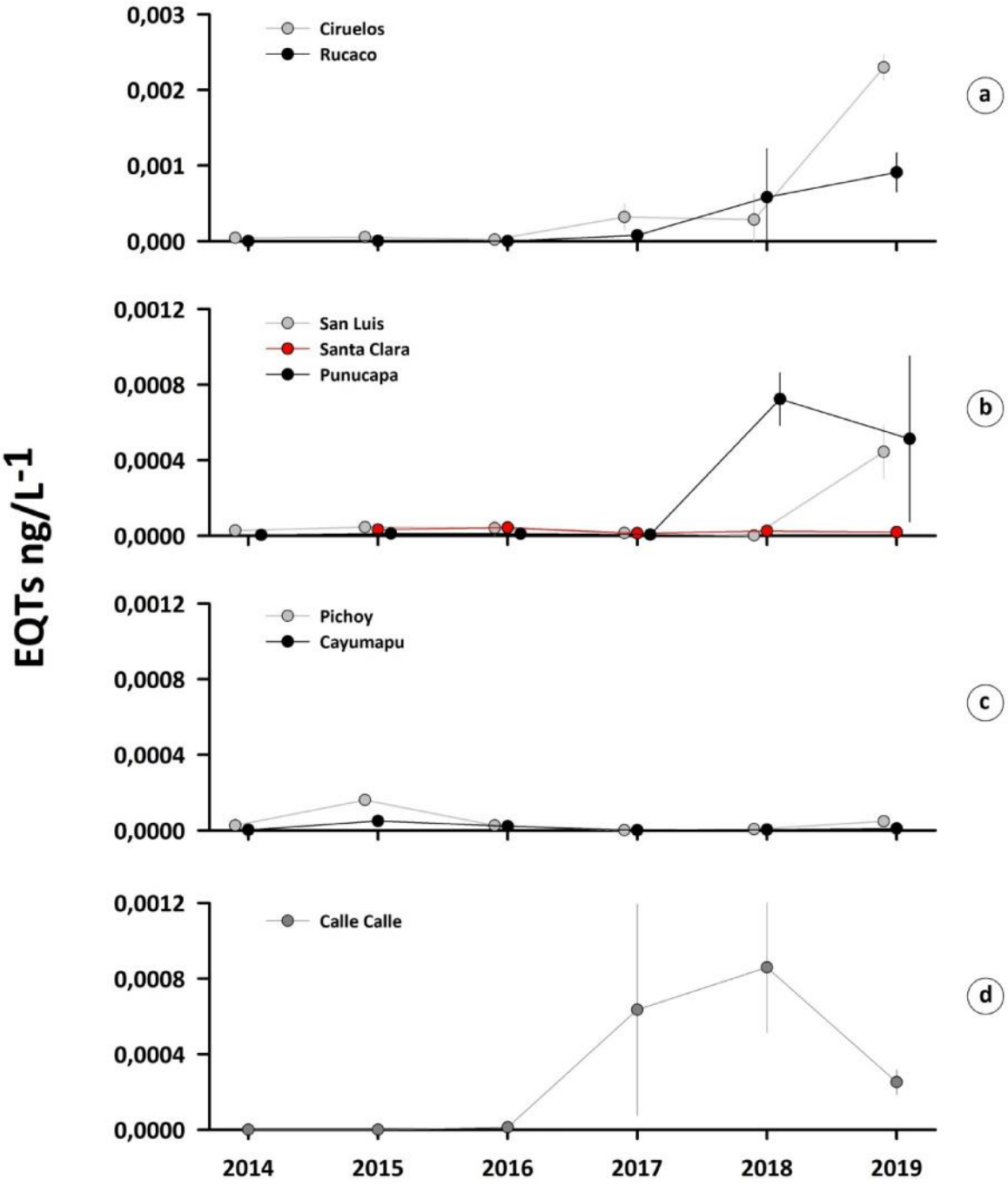


Figura 4.1.1.26. Comparación interanual de la concentración de Equivalentes Tóxicos (EQTs) detectadas en aguas superficiales del a) sector límnico, b) eje central, c) tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado d) fuera del humedal.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.1.72 presenta los promedios de la Variabilidad interanual y estacional de las concentraciones de Dioxinas, Furanos y Equivalentes tóxicos en aguas superficiales del área de estudio.

Tabla 4.1.1.72. Variabilidad interanual (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019) y estacional (abril y julio) de las concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs en aguas superficiales en los sectores de estudio: L = sector límnico del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

	Dioxinas (ng L^{-1})				**Furanos (ng L^{-1})**				**EQTs (ng L^{-1})**			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
mayo 2014	0,012	0,013	0,001	0,001	0,023	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
julio 2014	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
abril 2015	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
abril 2016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
abril 2017	0,003	0,002	0,001	0,004	0,002	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,001
abril 2018	0,004	0,002	0,002	0,006	0,004	0,001	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,001
abril 2019	0,010	0,006	0,004	0,002	0,015	0,008	0,004	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000

La Tabla 4.1.1.73 muestra los resultados de los análisis de ANDEVA factorial y test *a posteriori* de Tukey, llevados a cabo para comparar el efecto de los factores Año y Sector**.**

Las concentraciones de Dioxinas y Furanos detectadas durante el último año de monitoreo fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las observadas durante los años anteriores. Las Dioxinas no presentaron diferencias significativas entre sectores (Tabla 4.1.1.73), por el contrario, las concentraciones de Furanos fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en Ciruelos y Punucapa.

Las concentraciones de EQTs fueron significativamente más altas (p<0,05) durante el año 2019, especialmente en las estaciones Ciruelos y San Luis (Tabla 4.1.1.73).

Tabla 4.1.1.73. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQT registradas en aguas superficiales del área de estudio durante la campaña de abril. Los factores son Sector (Ci=Ciruelos, Ru=Rucaco, SL=San Luis, SC=Santa Clara, Pu=Punucapa, Pi=Pichoy, Ca=Cayumapu y CC=Calle Calle), Año (2014-2015-2016-2017-2018 y 2019). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Dioxinas	Sector (S)	7	0,00425	0,000608	2,010	0,064	
(*)(**)	Año (A)	5	0,0439	0,00878	29,039	**<0,001**	2019>2018=2017>2014=2015=2016
	Residual	81	0,0245	0,000302			
	Total	93	0,0726	0,000781			
Furanos	Sector (S)	7	0,0112	0,00161	3,294	**0,004**	Ci=Pu>SC=Ca=Pi
(*)(**)	Año (A)	5	0,0635	0,0127	26,049	**<0,001**	2019>2018=2017=2016=2015=2014
	Residual	81	0,0395	0,000487			
	Total	93	0,114	0,00122			
EQTs	Sector (S)	7	0,00171	0,000244	3,420	**0,003**	Ci=SL>Ca=SC=Pi
(***)	Año (A)	5	0,00316	0,000632	8,873	**<0,001**	2019>2018=2017=2016=2015=2014
	Residual	81	0,00577	0,000071			
	Total	93	0,0105	0,000113			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados $\log_{10}$ o raíz cuadrada; (**) = Cumple al menos un supuesto de ANDEVA; (***) = No cumple supuestos de ANDEVA.

4.1.1.4. Análisis comparativos en relación con calidad del agua

En general, los resultados del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, no son comparables con resultados históricos de otros programas (tales como el Plan de Vigilancia Ambiental de Planta Arauco Valdivia o el registro de la Dirección general de Aguas, DGA), debido a que los datos originados en esos programas presentan diferencias de metodología, número de estaciones de muestreo y límites de detección analíticos. Para este último caso, las diferencias entre las metodologías utilizadas entre éste y otros programas generan diferencias de varios órdenes de magnitud con los límites de detección informados en este estudio. En términos prácticos, las diferencias pueden ir, por ejemplo, entre 0,1mg/L a 0,0001 mg/L en los límites de detección, lo que implica una diferencia de tres órdenes de magnitud lo que implica un aumento de la sensibilidad de los análisis.

Debido a lo anterior, los resultados obtenidos en este Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, sólo se compararán a modo de referencias con la Norma Chilena 1333 para Agua de Riego y Agua de Uso Recreativo y la Guía CONAMA 2004 (Guía CONAMA para el establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas). Las Tablas 4.1.1.74 a 4.1.1.81 muestran la comparación de los datos obtenidos en este programa con los parámetros incluidos en dichas normas, indicando si cumplen los niveles de concentración especificados en ellas.

De acuerdo con la Norma 1333 para Agua de Riego y Uso Recreativo, los cuatro sectores estudiados (límnico, estuarial, ríos tributarios, y fuera del HRC), han presentado hasta la fecha condiciones acorde lo estándares básicos de la misma. Solo en el sector estuarial y ríos tributarios - y no en todas las ocasiones - las concentraciones de Cloruros y Coliformes fecales, superan los valores especificados para Agua de Riego y Uso Recreativo (Tablas 4.1.1.74 a 4.1.1.76); a su vez, durante el año 2019 los valores de pH sobrepasaron

el valor máximo sugerido por la Norma 1333 para Agua de Uso Recreativo, en todos los sectores, excepto en los ríos tributarios (Tablas 4.1.1.74 a 4.1.1.76).

Según lo establecido por la Guía CONAMA 2004, las aguas de todos los sectores estudiados están mayoritariamente dentro de los rangos de clase 1 o aguas de muy buena calidad y 2 o aguas de buena calidad (Tablas 4.1.1.77 a 4.1.1.80). Este último año 2019, el pH en el sector límnico y Cloruros en el sector estuarial sobrepasaron los rangos establecidos para aguas de Clase 2, pasando a ser aguas de Clase 3 o “aguas adecuadas para bebidas de animales y para riego restringido”.

Tabla 4.1.1.74. Calidad del agua del sector límnico del río Cruces durante el periodo de estudio, según la Norma Chilena 1333 para Agua de Riego y Agua de Uso Recreativo

SECTOR LÍMNICO	Norma Chilena 1333 para Agua de Riego										Norma Chilena 1333 para Agua de Uso Recreativo									
(estaciones 1 y 2)	2015		2016		2017		2018		2019		2015		2016		2017		2018		2019	
variables	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J
Fe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Al	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Mn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Cu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Zn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Pb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Cd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
As	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Hg	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Cloruros	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Sulfatos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Temperatura											✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
pH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	X	X
Coliformes fecales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓
Transparencia											✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 4.1.1.75. Calidad del agua del sector estuarial del río Cruces durante el periodo de estudio, según la Norma Chilena 1333 para Agua de Riego y Agua de Uso Recreativo.

SECTOR ESTUARIAL	Norma Chilena 1333 para Agua de Riego										Norma Chilena 1333 para Agua de Uso Recreativo									
(estaciones 3, 4 y 5)	2015		2016		2017		2018		2019		2015		2016		2017		2018		2019	
variables	M	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J
Fe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Al	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Mn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Cu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Zn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Pb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Cd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
As	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Hg	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Cloruros	X	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	X	✓										
Sulfatos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Temperatura											✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
pH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	X	X
Coliformes fecales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Transparencia											✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 4.1.1.76. Calidad del agua de los ríos tributarios del río Cruces durante el periodo de estudio, según la norma chilena 1333 para Agua de Riego y Agua de Uso Recreativo.

RÍOS TRIBUTARIOS	Norma Chilena 1333 para Agua de Riego										Norma Chilena 1333 para Agua de Uso Recreativo									
(estaciones 6 y 7)	2015		2016		2017		2018		2019		2015		2016		2017		2018		2019	
variables	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J
Fe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Al	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Mn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Cu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Zn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Pb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Cd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
As	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Hg	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Cloruros	X	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Sulfatos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Temperatura											✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
pH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Coliformes fecales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Transparencia											✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 4.1.1.77. Calidad del agua fuera del humedal del río Cruces durante el periodo de estudio, según la Norma Chilena 1333 para Agua de Riego y Agua de Uso Recreativo.

FUERA DEL HUMEDAL	Norma Chilena 1333 para Agua de Riego										Norma Chilena 1333 para Agua de Uso Recreativo									
(estación 8)	2015		2016		2017		2018		2019		2015		2016		2017		2018		2019	
variables	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J
Fe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Al	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Mn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Cu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Zn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Pb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Cd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
As	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Hg	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Cloruros	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Sulfatos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Temperatura											✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
pH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	X	✓	X	X
Coliformes fecales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Transparencia											✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 4.1.1.78. Calidad del agua del sector límnico del humedal del río Cruces durante el periodo de estudio, según la Guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas.

SECTOR LÍMNICO (Estaciones 1 y 2)	Clase de excepción										Clase 1										Clase 2										Clase 3									
	2015		2016		2017		2018		2019		2015		2016		2017		2018		2019		2015		2016		2017		2018		2019		2015		2016		2017		2018		2019	
	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J
Fe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Al	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Mn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Cu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Zn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Pb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Cd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
As	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Hg	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Cloruros	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Sulfatos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Nitrito	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Ph	✓	✓	x	x	✓	✓	✓	✓	x	x			x	x					x	x			x	x					x	x					x	x			x	x
Conductividad	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
SDT	SD	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
SST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
O_2 disuelto	SD	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Coliformes fecales	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	x							✓		✓											
Coliformes totales	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	✓	x	✓		✓	✓	x	x	x	x		x					✓	✓	✓	✓		✓								
DBO5	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓																												

Tabla 4.1.1.79. Calidad del agua del sector estuarial del humedal del río Cruces durante el periodo de estudio según la Guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas.

SECTOR ESTUARIAL (Estaciones 3, 4 y 5)	Clase de excepción										Clase 1										Clase 2										Clase 3									
	2015		2016		2017		2018		2019		2015		2016		2017		2018		2019		2015		2016		2017		2018		2019		2015		2016		2017		2018		2019	
	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J
Fe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Al	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Mn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Cu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Zn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Pb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Cd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
As	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Hg	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Cloruros	x	✓	x	x	x	✓	✓	✓	x	✓	x		x	x	✓				x		x		x	x					x				x		x	x				x
Sulfatos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Nitrito	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Ph	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓			x										x								x								
Conductividad	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	x		x						x		✓		✓						✓											
SDT	SD	✓	x	x	✓	✓	✓	✓	x	✓			x	✓					x				x						x				✓						✓	
SST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
O_2 disuelto	SD	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Coliformes fecales	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																				
Coliformes totales	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	✓	✓	✓	x	x	✓	✓		x	x				✓	x			✓	✓					✓			
DBO5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														

Tabla 4.1.1.80. Calidad del agua de los ríos tributarios del humedal del río Cruces durante el periodo de estudio según la Guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas.

RÍOS TRIBUTARIOS (Estaciones 6 y 7)	Clase de excepción										Clase 1										Clase 2										Clase 3									
	2015		2016		2017		2018		2019		2015		2016		2017		2018		2019		2015		2016		2017		2018		2019		2015		2016		2017		2018		2019	
	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J
Fe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Al	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Mn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Cu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Zn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Pb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Cd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
As	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Hg	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Cloruros	X	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	X		X						✓		X		X								X		X							
Sulfatos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Nitrito	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Ph	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Conductividad	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X										✓																			
SDT	SD	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
SST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
O_2 disuelto	SD	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Coliformes fecales	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																				
Coliformes totales	X	X	X	✓	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓																				
DBO5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														

Tabla 4.1.1.81. Calidad del agua fuera del humedal del río Cruces durante el periodo de estudio según la Guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas.

FUERA DEL HRC (Estación 8)	Clase de excepción										Clase 1										Clase 2										Clase 3									
	2015		2016		2017		2018		2019		2015		2016		2017		2018		2019		2015		2016		2017		2018		2019		2015		2016		2017		2018		2019	
	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J
Fe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Al	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Mn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Cu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Zn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Pb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Cd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
As	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Hg	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Cloruros	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Sulfatos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Nitrito	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Ph	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓								x								x										x			
Conductividad	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
SDT		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
SST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
O_2 disuelto		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Coliformes fecales	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																				
Coliformes totales	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓			x										✓							
DBO5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																																

4.1.1.5. Análisis históricos de las aguas superficiales

Para evaluar la variabilidad en las matrices y parámetros analizados desde una perspectiva multivariada, se efectuaron análisis de componentes principales (ACP) considerando las campañas ejecutadas entre los años 2014 y 2019. El ACP permite reducir el set de variables a un menor número de componentes ortogonales, perdiendo la menor cantidad de información posible (Cayuela, 2011).

Los puntajes obtenidos como resultado del análisis mediante PERMANOVA fueron graficados utilizando representaciones Biplot y clasificados espacialmente (estación de muestreo) y temporalmente (año), determinándose la existencia de diferenciación estadística entre tales reclasificaciones.

Adicionalmente, como una forma de detectar la existencia de tendencias temporales estadísticamente significativas, se incorporó la prueba de Mann & Kendall (Mann 1945, Kendall 1975, Gilbert 1987) de tendencia neta, cuyo propósito es evaluar estadísticamente la existencia de una tendencia monotónica (no necesariamente lineal) ascendente o descendente de las variables de interés a lo largo del tiempo. En atención a los objetivos del monitoreo, se destacaron aquellos parámetros que mostraron tendencias ascendentes estadísticamente significativas. En estos casos, el análisis fue complementado con representaciones Boxplot por campaña de muestreo.

En la Figura 4.1.1.26 se entrega el resultado del ACP ejecutado para la totalidad de parámetros muestreados en columna de agua. Las 2 primeras componentes logran explicar el 31% de la varianza total de la base de datos analizada. En la Figura 4.1.1.26a los puntajes han sido agrupados por estación de muestreo y en la Figura 4.1.1.26b se han agrupado por año. Dado que los muestreos de dioxinas y furanos se ejecutan sólo en las campañas de abril, en el análisis no se incluyen las campañas de julio.

El resultado del análisis revela una muy baja diferenciación entre estaciones de muestreo (PERMANOVA R^2=0,13; p=0,014), con elipses que tienden a mezclarse, lo que respalda la baja diferenciación observada entre estaciones de muestreo (Fig. 4.1.1.26a). Al agrupar los mismos puntajes por año (Fig. 4.1.1.26 b), se observa una diferenciación estadísticamente significativa (PERMANOVA R^2=0,61; p<0,0001), destacando que los muestreos ejecutados durante los años 2018 y 2019 tienden a segregarse del resto de las campañas debido a una mayor concentración de Zinc particulado, Magnesio particulado, Plomo particulado, Dioxinas y Furanos en el año 2019, y a mayores concentraciones de Mercurio particulado, Plomo disuelto, Hierro disuelto y Cobre disuelto en el año 2018. Adicionalmente, en el año 2014 se observó mayores concentraciones de Ácidos Resínicos, Ácidos Grasos, Sólidos Suspendidos Totales, DQO y Arsénico particulado, mientras que en el año 2015 se observan mayores concentraciones de AOX, Sulfatos, Cloruros y Cobre particulado, concretamente en las estaciones de muestreo E-7 y E-5.

Un análisis de tendencias de Mann y Kendall reveló que, del total de parámetros medidos en columna de agua, 13 mostraron tendencias ascendentes estadísticamente significativas (Tabla 4.1.1.82). Para Cobre disuelto, Plomo disuelto y Plomo particulado, se observan tendencias ascendentes entre las campañas 1 a 8, luego de la cual las concentraciones observadas tienden a estabilizarse o incluso a disminuir (Fig. 4.1.1.27). Fierro disuelto muestra una tendencia ascendente entre las campañas 6 a 10, para luego disminuir. Para Zinc disuelto, Dioxinas, Furanos y EQTs se observa una tendencia ascendente a partir de la campaña 6, con niveles máximos en la campaña 12 (julio de 2019), mientras que, para Arsénico particulado, la tendencia es menos evidente.

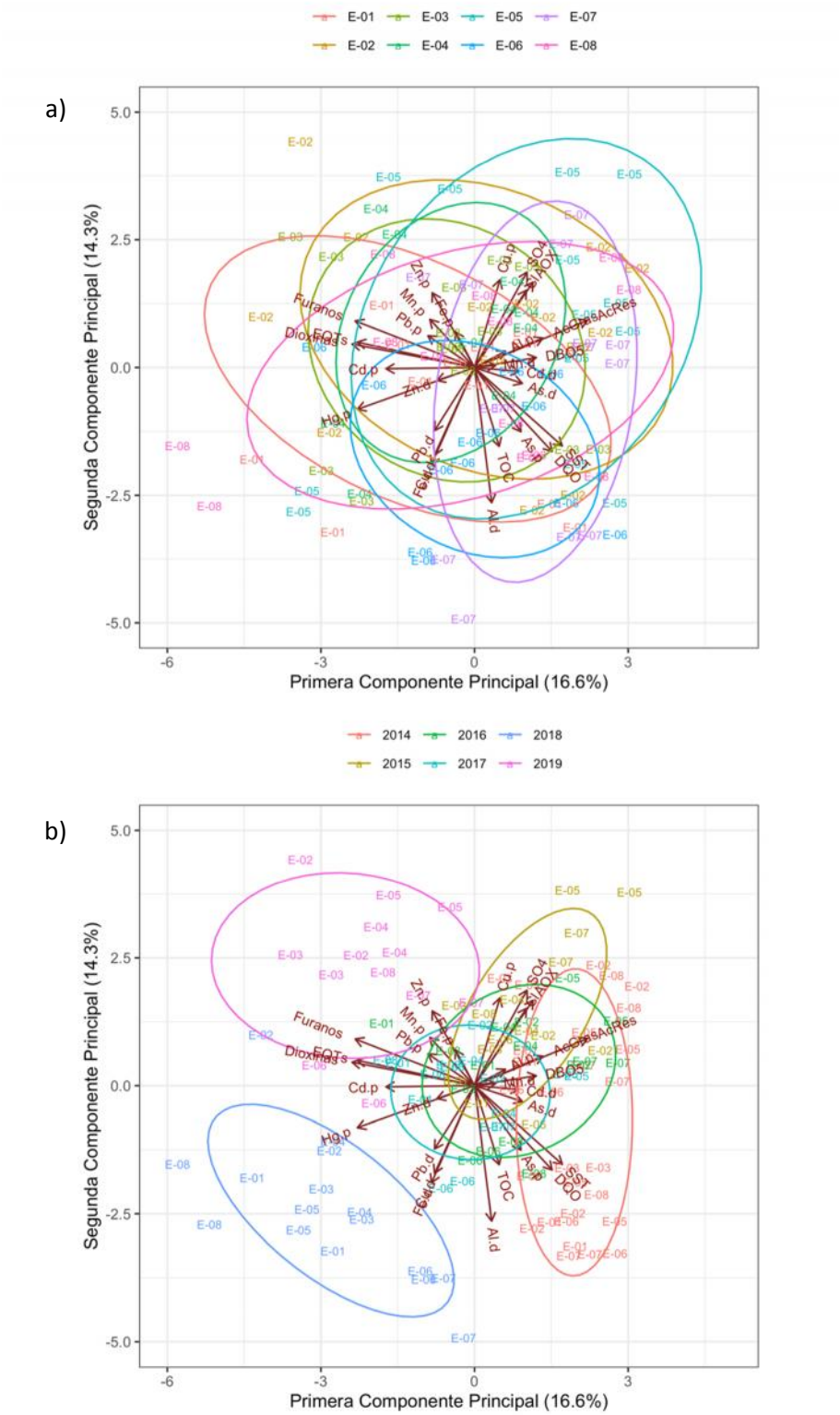


Figura 4.1.1.26. Biplot resultado del ACP para el total de parámetros analizados en columna de agua. a) puntajes agrupados por Estación de muestreo; b) puntajes agrupados por Año. Los porcentajes de varianza explicada por componente se indican en los ejes X e Y.

Tabla 4.1.1.82. Resultado de la prueba de Mann y Kendall para el análisis de tendencias en parámetros medidos en columna de agua. "+" indica la existencia de una tendencia ascendente estadísticamente significativa.

Parámetro	Tau	valor-p	
Al.d	0,0869	0,0735	
As.d	0,0158	0,5363	
Cd.d	-0,0161	0,7879	
Cu.d	0,1997	0,0000	+
Fe.d	0,1389	0,0042	+
Hg.d	1,0000	1,0000	
Mn.d	0,0779	0,1089	
Pb.d	0,1612	0,0013	+
Zn.d	0,3025	0,0000	+
Al.p	-0,0574	0,2399	
As.p	-0,1474	0,0097	
Cd.p	0,0544	0,2799	
Cu.p	-0,0654	0,1784	
Fe.p	0,0735	0,1303	
Hg.p	0,4714	0,0000	+
Mn.p	0,0277	0,5690	
Pb.p	0,2087	0,0000	+
Zn.p	0,0755	0,1203	
SST	-0,1050	0,0309	
SO4	-0,0181	0,7100	
Cl	-0,1120	0,0211	
AOX	-0,1113	0,0220	
TOC	0,0236	0,6275	
AcGras	-0,2248	0,0000	
AcRes	-0,5514	0,0000	
DBO5	0,0270	0,6015	
DQO	-0,2343	0,0000	
Dioxinas	0,4808	0,0000	+
Furanos	0,3267	0,0000	+
EQTs	0,2440	0,0002	+

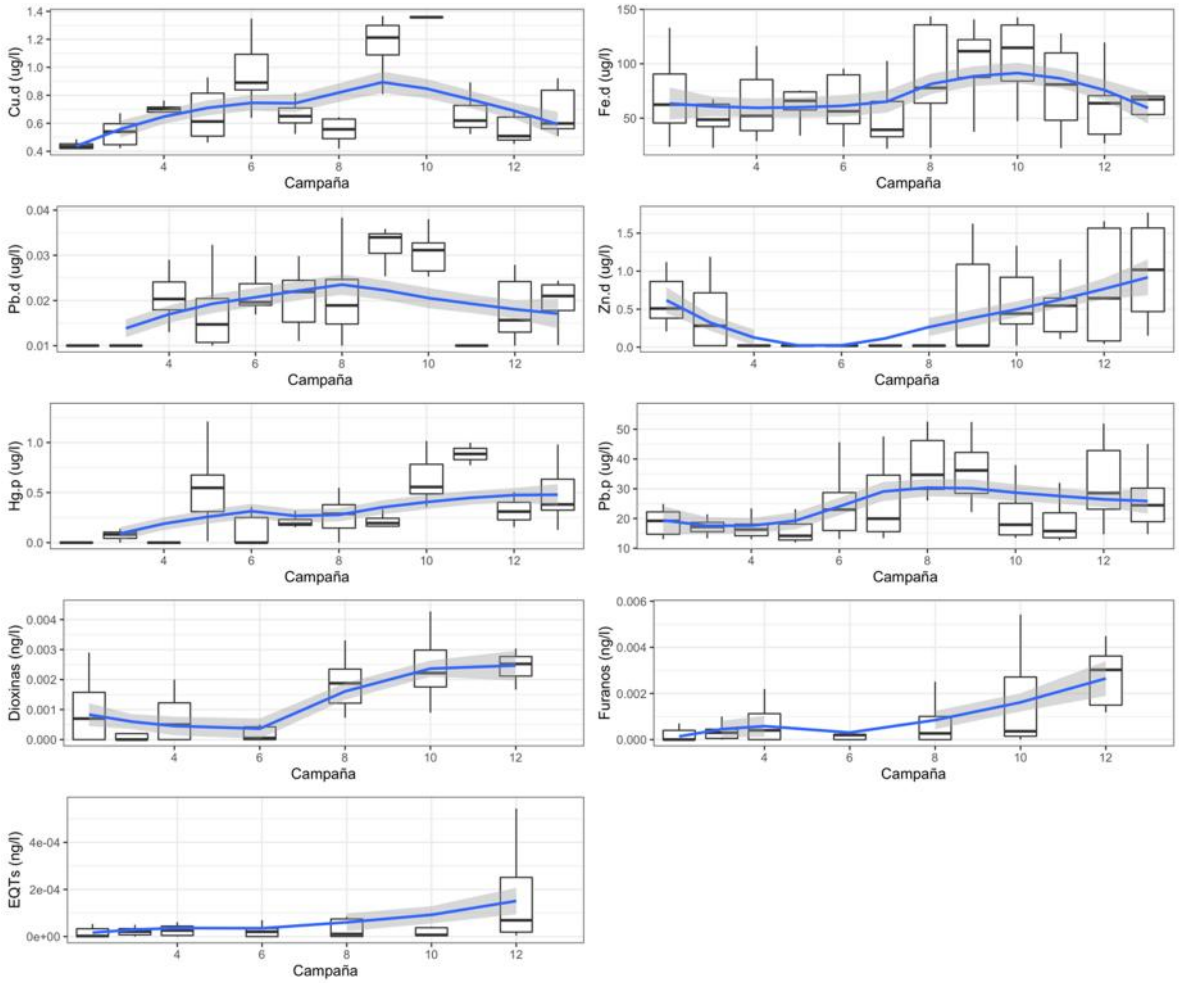


Figura 4.1.1.27. Boxplot para evaluación de tendencias ascendentes en los parámetros Cu.d, Fe.d, Pb.d, Zn.d, Hg.p, Pb.p, Dioxinas, Furanos y EQTs. Matriz columna de agua.

4.1.1.6. Conclusiones

- En términos generales, la variabilidad espacial de la temperatura durante los muestreos del Programa de Monitoreo fue bastante homogénea, con la ocurrencia general de valores más altos durante el período estival, principalmente durante el año 2016 en el eje central del río Cruces (área estuarial) y ríos tributarios.
- Aun cuando no se encontró un patrón definido de variabilidad espacial del pH, los datos muestran que en general los valores más bajos ocurrieron en los ríos tributarios, particularmente durante el año 2015.
- La conductividad del agua superficial mostró valores más altos y mayor heterogeneidad espacial durante los muestreos de abril y en el eje central del HRC. Tales fechas corresponden a los meses de menor caudal hídrico, y en consecuencia, hay mayor intrusión salina al HRC. Por el contrario menores valores se registraron en el río Calle Calle, fuera del HRC.
- En términos generales, el contenido de sólidos suspendidos totales fue menor durante el período estival y mayor durante el período invernal lo que evidencia influencia de lluvias y caudal hídrico (mayores durante el invierno), particularmente en Rucaco, sector límnico del HRC durante el año 2019.
- La transparencia del agua fue en general menor durante las campañas realizadas en los periodos de alto caudal hídrico correspondientes a los meses de julio y agosto, por el contrario, en época estival fue mayor particularmente fuera del HRC; esta varió inversamente con la concentración de sólidos suspendidos totales.
- Los valores de concentración de oxígeno estuvieron casi en su totalidad cercanos a los 10 mg/L; en general, los valores más altos se registraron durante los años 2017 y 2019 en el periodo de mayor caudal hídrico, y en los sectores Límnico, eje estuarial del HRC y en el río Calle Calle, fuera de este, por el contrario, los valores

más bajos se detectaron en los ríos tributarios, particularmente en el río Cayumapu.

- La DBO_5 presentó valores significativamente más bajos ($p<0,05$) durante los años 2017 y 2019. Por el contrario estas concentraciones fueron significativamente más altas en el río Cayumapu durante el periodo de mayor caudal hídrico.
- Durante el año 2015 y 2018 la Demanda Química de Oxígeno (DQO) presentó valores significativamente más altos que el año 2014 (Diagnóstico), en datos obtenidos desde el río Cayumapu, durante el periodo de bajo caudal hídrico.
- El Carbono Orgánico Total (COT) presentó durante el año 2017 concentraciones más altas que las detectadas durante todos los otros años de estudio, particularmente más altas en los ríos Pichoy y Cayumapu, tributarios del HRC.
- El Amonio presento concentraciones significativamente más altas ($p<0,005$) durante el año 2017, particularmente en Rucaco; el Nitrato y Nitrógeno total presentaron valores significativamente más bajos durante el año 2016, el primero en los ríos Cayumapu y Pichoy, y el segundo en el río Calle Calle, tributarios del HRC y fuera de este, respectivamente, durante el periodo de menor caudal hídrico. No se detectó Nitrito durante los dos primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, no obstante, durante julio del año 2017 este compuesto fue detectado en la mayoría de las estaciones y el año 2018 en todas las estaciones. Así mismo, en la temporada de abril del año 2019, el nitrito fue detectado en todas las estaciones de estudio, a excepción del río Pichoy, caso contrario ocurrió durante la temporada de mayor caudal hídrico, donde este compuesto solo fue detectado en el sector Ciruelos y San Luis.
- Las concentraciones de Fosfato fueron significativamente más altas durante el último año de Monitoreo, en las estaciones Ciruelos, Rucaco (sector límnico) y río Calle Calle (fuera del HRC); las concentraciones de Fósforo total detectadas durante el Programa de Diagnóstico (2104) y último año de Monitoreo (2019) fueron significativamente más altas que las observadas en años anteriores,

particularmente altas en las estaciones Ciruelos y Rucaco durante el periodo de mayor caudal hídrico.

- La concentración de Coliformes totales fueron significativamente más bajas durante el año 2016 en los ríos tributarios, por el contrario, estas fueron más altas en los sectores Ciruelos y Rucaco, durante el periodo de mayor caudal. Los coliformes fecales presentaron diferencias significativas entre los factores de estudio, donde menores concentraciones se detectaron durante los años 2016 y 2017, en el río Cayumapu durante el periodo de bajo caudal hídrico.
- Las concentraciones de Cloruros y Sulfatos presentaron valores significativamente más altos durante el año 2016 que las registradas durante el Programa de Diagnóstico Ambiental y los otros cuatro años de Monitoreo, en la estación Punucapa (eje central estuarial) y durante el periodo de menor caudal hídrico.
- Las concentraciones de metales pesados disueltos y particulados presentaron diferencias significativas entre meses (Al, Mn y Zn "disueltos" – Fe, Al, Mn, Zn, Pb, Cd y Hg "particulado"), sectores (Fe, Al, Mn Cu, Zn, y Pb, "disueltos" – Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, y Cd "particulado") y años estudiados (Fe, Al, Mn, Cu, Zn y Pb "disueltos" – Fe, Al, Mn, Cu, Zn, Pb, Cd y Hg "particulado"), sin observarse un patrón definido, evidenciando la alta variabilidad que presenta el sistema río Cruces.
- Los Ácidos Grasos detectados transcurridos los cinco años de Monitoreo Ambiental, se mantuvieron bajo el rango informado para el año 2014, registro que ha presentado concentraciones significativamente más altas que los años siguientes. Los sectores Rucaco, Punucapa y San Luis han presentado las mayores concentraciones, con significancia estadística, particularmente durante la campaña de abril.
- No se detectó la presencia de Ácidos resínicos en el agua durante el 2014 y tampoco durante todo el Programa de Monitoreo 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019.
- Las concentraciones de AOX han sido significativamente más altas en la estación Rucaco, durante las temporadas de bajo caudal hídrico, particularmente durante

los años 2015 y 2016, caso contrario, las concentraciones más bajas de AOX han sido registradas en el río Calle Calle, fuera del HRC.

- Se ha registrado un aumento significativo en las concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs durante el año 2019, respecto a los años anteriores. Los sectores presentaron diferencias significativas en las concentraciones de Furanos, donde fueron más altas en Ciruelos y Punucapa; y EQTs más altos en Ciruelos y San Luis.
- Durante el año 2019 solo se detectó la Dioxina 1.2.3.7.8-PCDD, específicamente en aguas de la estación Ciruelos (sector límnico).
- De acuerdo con la Norma 1333 para Agua de Riego y Uso Recreativo, los cuatro sectores estudiados (límnico, estuarial, ríos tributarios, y fuera del HRC), han presentado hasta la fecha condiciones acorde lo estándares básicos de la misma.
- Ocasionalmente, solo en el sector estuarial y ríos tributarios - y no en todas las ocasiones - las concentraciones de Cloruros y Coliformes fecales, superan los valores especificados para Agua de Riego y Uso Recreativo y durante el año 2019 los valores de pH sobrepasaron el valor máximo sugerido por la Norma 1333 para Agua de Uso Recreativo, en todos los sectores, excepto en los ríos tributarios
- Todos los sectores estudiados están mayoritariamente dentro de los rangos de clase 1 o aguas de muy buena calidad y 2 o aguas de buena calidad especificadas en la Guía CONAMA 2004. En el año 2019, el pH en el sector límnico y Cloruros en el sector estuarial sobrepasaron los rangos establecidos para aguas de Clase 2, pasando a ser aguas de Clase 3 o “aguas adecuadas para bebidas de animales y para riego restringido”.
- Los resultados del análisis estadístico histórico revelan que las mediciones efectuadas en columna de agua mostraron mayor variabilidad temporal que espacial, con una diferenciación estadísticamente significativa entre años, observándose tendencias temporales ascendentes estadísticamente significativas para 9 parámetros, destacando mayores concentraciones de Mercurio particulado, Plomo disuelto, Hierro disuelto y Cobre disuelto en 2018 y concentraciones más altas de Zinc disuelto, Dioxinas y Furanos en 2019.

4.1.2. CALIDAD DEL SEDIMENTO

4.1.2.1. Objetivos

Medir y analizar en el sedimento los siguientes parámetros:

• Textura, granulometría contenido de materia orgánica y carbono orgánico total de arena.

• pH y Redox (potencial óxido - reducción).

• Metales pesados (Hierro, Aluminio, Manganeso, Cobre, Zinc, Plomo, Cadmio, Arsénico y Mercurio.

• Ácidos grasos, ácidos resínicos, compuestos Órgano-Halogenados Adsorbibles (AOX) y Órgano-Halogenados Extraíbles (EOX).

• Dioxinas y Furanos y Equivalentes Tóxicos (EQTs) (17 congéneres incluidos en el Convenio de Estocolmo de 2001).

4.1.2.2. Material y métodos

El muestreo estacional de análisis de calidad del sedimento para el quinto año del Programa de Monitoreo Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC) se realizó durante el mes abril del 2019. Los muestreos se realizaron en las mismas estaciones seleccionadas para los muestreos de calidad del agua. Las estaciones y fechas de muestreo se indican en la Figura 4.1.2.1 y Tabla 4.1.2.1, respectivamente.

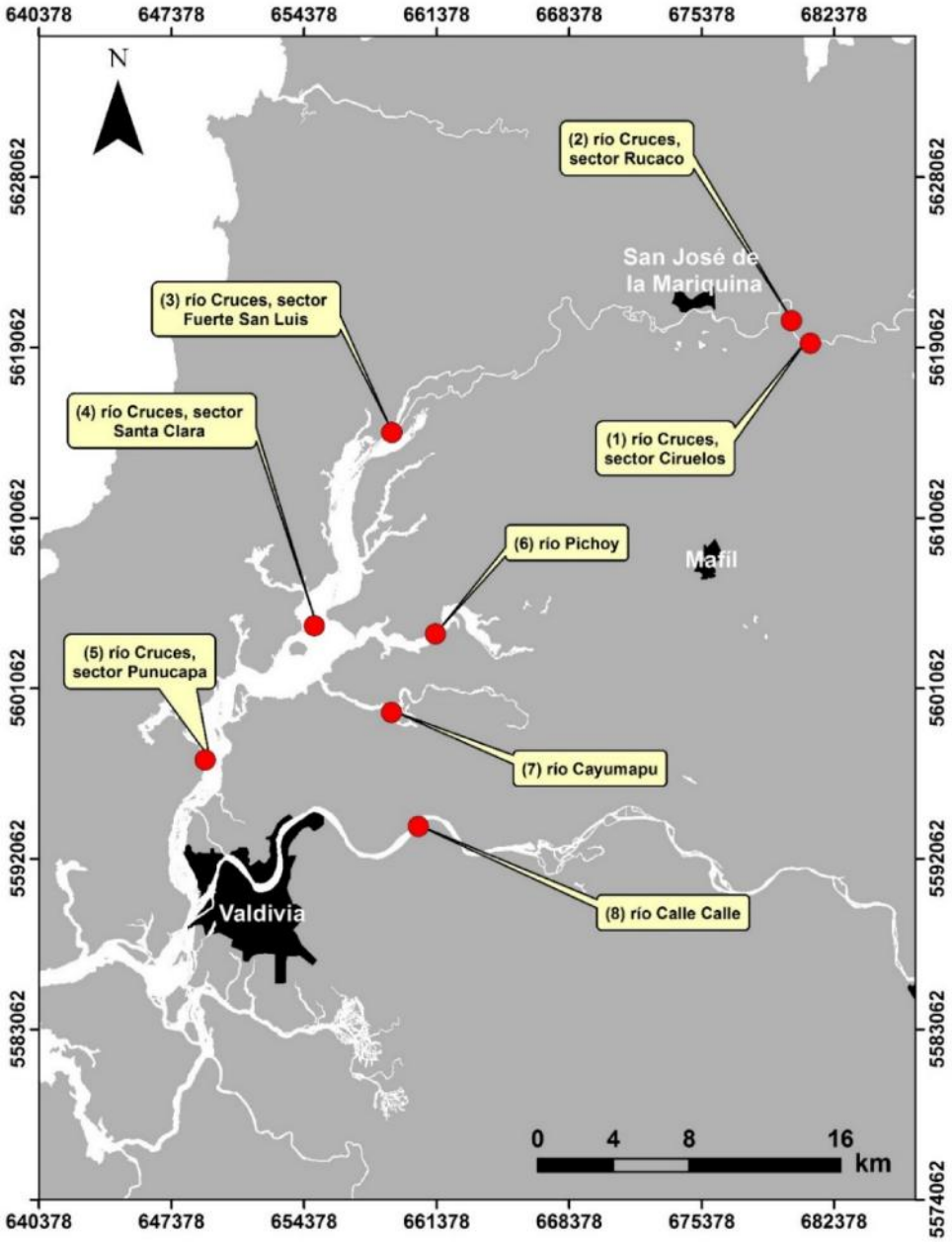


Figura 4.1.2.1. Ubicación de los sitios de muestreo (1 a 8) para análisis de calidad del sedimento en el área de estudio

Tabla 4.1.2.1. Estaciones y fechas de muestreos de la calidad del sedimento realizadas durante abril 2019, periodo de menor caudal hídrico en el área de estudio.

estaciones	período de menor caudal
Eje Central del río Cruces (sector límnico)	
1 (sector Ciruelos)	17-abr-2019
2 (sector Rucaco)	17-abr-2019
Eje central del río Cruces (área estuarial)	
3 (sector Fuerte San Luis)	16-abr-2019
4 (sector Santa Clara)	16-abr-2019
5 (sector Punucapa)	16-abr-2019
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)	
6 (río Pichoy)	15-abr-2019
7 (río Cayumapu)	15-abr-2019
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)	
8 (río Calle Calle)	15-abr-2019

Las metodologías de obtención de muestras, mediciones *in situ* y análisis de laboratorio para estudios de calidad del sedimento fueron realizadas mediante:

- Muestreo: Uso de draga PONAR que cubre un área del fondo de 33 x 33 cm, para posteriormente mediante un testigo plástico de 10 cm de diámetro enterrarlo a 20 cm de profundidad en los sedimentos contenidos en la draga. Los sedimentos así recolectados se colocaron en envolturas de aluminio (*i.e.*, alusa foil) para los análisis de compuestos orgánicos y en bolsas plásticas selladas (tipo Whirl pack®) para los análisis de metales pesados
- Potencial óxido - reducción: sonda con electrodo para medición de potencial óxido reducción *in situ*.

- Análisis de textura: tamizado en húmedo (Anderson *et al*., 1981) y granulometría de la arena mediante velocidad de decantación de las partículas (Emery, 1938) y método de momentos (Seward-Thompson & Hails, 1973) (Unidades de medida: porcentaje % para análisis texturales y micrones (µm) para granulometría).
- Materia orgánica: calcinación y gravimetría (Unidad: porcentaje % de materia orgánica por clase textural).
- Carbono orgánico total: combustión catalítica (Unidad: porcentaje %).
- Metales pesados: mediante espectroscopia de emisión óptica de plasma inductivamente acoplado (ICP-OES) utilizando un espectrómetro Perkin Elmer Mod. Optima 7000 y/o EAA de llama, utilizando un EAA Thermo Mod. ICE-3500 según nivel de concentración (Unidad: µg/g). El Mercurio se analizó con un Analizador Directo de Mercurio (MDA-80, Milestone) por descomposición térmica, conversión catalítica, amalgamación (Unidad: µg/g).
- Ácidos grasos: cromatografía gaseosa con detección de masa (Unidad: µg/g).
- Ácidos resínicos: cromatografía gaseosa con detección de masa (Unidad: µg/g.
- Compuestos Órgano-Halogenados Adsorbibles (AOX): titulación micro coulombimétrica con adsorción en carbono activado (Unidad: µg/g).
- Compuestos Órgano-Halogenados Extraíbles (EOX): titulación micro coulombimétrica con extracción en hexano (Unidad: µg/g).
- Dioxinas y Furanos: Cromatografía gaseosa de alta resolución con detección de masa de alta resolución (HRGC/HRMS) y preparación automática de muestras (FMS) utilizando Extracción Presurizada Liquida (PLE) (Unidad: ng/g).

4.1.2.3. Resultados

Textura y granulometría

Grava, arena, fango y tamaño medio de la partícula de arena

Las Tablas 4.1.2.2 a 4.1.2.5 muestran la variabilidad interanual de las fracciones texturales grava, arena, fango y tamaño medio de la partícula de arena, en los sedimentos de las estaciones monitoreadas durante las campañas realizadas entre los años 2014 y 2019.

Tabla 4.1.2.2. Comparación interanual 2014-2019 de los valores porcentuales de grava en los sedimentos del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	grava (%)			
Estaciones	**2014**		**2015**	**2016**
	abril	**julio**	**Abril**	**Abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	9,3 (0,8)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	13,1 (19,1)
2 (sector Rucaco)	46,2 (12,8)	39,2 (5,1)	11,9 (11,2)	30,9 (16,0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	83,2 (10,2)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	1,3 (0,6)
4 (sector Santa Clara)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
5 (sector Punucapa)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,7 (0,1)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
7 (río Cayumapu)	4,0 (5,7)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,2 (0,1)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)

Continuación Tabla 4.1.2.2.

	grava (%)		
Estaciones	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**abril**	**Abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)			
1 (sector Ciruelos)	0,9 (0,7)	0,2 (0,3)	49,6 (10,2)
2 (sector Rucaco)	0,0 (0,0)	2,9 (2,0)	8,8 (16,0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)			
3 (sector Fuerte San Luis)	0,8 (1,2)	1,6 (1,1)	44,8 (16,8)
4 (sector Santa Clara)	0,2 (0,3)	9,7 (4,1)	0,9 (0,6)
5 (sector Punucapa)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,1)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)			
6 (río Pichoy)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,1 (0,2)
7 (río Cayumapu)	0,7 (1,5)	0,1 (0,1)	0,3 (0,3)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)			
8 (río Calle Calle)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)

Tabla 4.1.2.3. Comparación interanual 2014-2019 de los valores porcentuales de arena en los sedimentos del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis

	arena (%)			
Estaciones	**2014**		**2015**	**2016**
	abril	**julio**	**Abril**	**Abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	65,1 (0,3)	97,9 (2,0)	64,8 (17,7)	83,8 (22,2)
2 (sector Rucaco)	47,0 (10,2)	46,1 (7,2)	69,7 (20,7)	63,9 (14,2)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	12,6 (7,0)	63,1 (37,5)	98,7 (0,5)	68,7 (3,8)
4 (sector Santa Clara)	97,0 (0,2)	80,0 (1,7)	92,4 (2,8)	95,3 (3,1)
5 (sector Punucapa)	57,8 (10,5)	73,6 (12,4)	18,0 (2,8)	62,8 (13,2)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	96,5 (1,1)	98,4 (0,1)	93,2 (2,4)	97,2 (1,9)
7 (río Cayumapu)	17,6 (4,8)	6,4 (3,8)	18,4 (4,6)	19,5 (22,7)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	55,5 (2,7)	88,7 (2,1)	93,5 (1,7)	84,5 (4,8)

Continuación tabla 4.1.2.3.

	arena (%)		
Estaciones	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)			
1 (sector Ciruelos)	94,4 (2,8)	94,5 (1,5)	46,6 (8,7)
2 (sector Rucaco)	18,1 (13,8)	65,1 (4,4)	30,5 (3,5)
Eje central del río Cruces (área estuarial)			
3 (sector Fuerte San Luis)	29,3 (8,2)	95,7 (1,6)	50,6 (16,6)
4 (sector Santa Clara)	86,4 (2,9)	88,7 (4,5)	95,9 (1,2)
5 (sector Punucapa)	37,5 (28,5)	30,7 (16,5)	20,3 (8,5)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)			
6 (río Pichoy)	16,1 (7,4)	94,8 (4,0)	93,2 (2,7)
7 (río Cayumapu)	2,3 (1,5)	11,0 (12,3)	4,2 (2,5)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)			
8 (río Calle Calle)	70,2 (2,6)	93,9 (3,2)	85,7 (5,0)

Tabla 4.1.2.4. Comparación interanual 2014-2019 de los valores porcentuales de fango en los sedimentos del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	fango (%)			
Estaciones	**2014**		**2015**	**2016**
	abril	**julio**	**Abril**	**Abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	18,0 (2,7)	1,0 (0,7)	22,9 (10,3)	0,3 (0,2)
2 (sector Rucaco)	6,3 (2,5)	13,8 (1,2)	17,5 (12,6)	2,3 (1,0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	3,0 (3,6)	17,7 (11,9)	0,5 (0,2)	13,1 (1,9)
4 (sector Santa Clara)	1,2 (0,1)	11,1 (3,4)	7,3 (2,8)	0,9 (0,4)
5 (sector Punucapa)	40,6 (10,9)	21,8 (10,0)	77,0 (3,6)	28,0 (14,0)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	1,8 (0,2)	0,2 (0,1)	6,1 (2,1)	0,5 (0,0)
7 (río Cayumapu)	42,1 (6,0)	86,9 (8,2)	57,1 (24,1)	26,0 (7,8)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	28,3 (3,1)	10,2 (1,8)	5,3 (0,5)	10,5 (1,0)

Continuación Tabla 4.1.2.4.

	fango (%)		
Estaciones	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)			
1 (sector Ciruelos)	1,2 (0,6)	0,7 (0,3)	2,0 (0,7)
2 (sector Rucaco)	45,0 (3,3)	21,0 (2,5)	45,9 (11,0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)			
3 (sector Fuerte San Luis)	55,0 (7,9)	1,5 (1,2)	3,4 (0,7)
4 (sector Santa Clara)	3,5 (1,8)	0,3 (0,1)	0,8 (0,3)
5 (sector Punucapa)	51,5 (25,9)	61,2 (13,5)	69,8 (6,5)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)			
6 (río Pichoy)	75,6 (5,5)	1,0 (1,2)	1,8 (2,2)
7 (río Cayumapu)	76,3 (5,9)	62,1 (21,3)	86,1 (6,1)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)			
8 (río Calle Calle)	23,6 (2,3)	2,4 (0,7)	6,9 (2,3)

Tabla 4.1.2.5. Comparación interanual 2014-2019 de los tamaños de las partículas de arena en los sedimentos del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. SD= sin datos debido a perdida de muestras.

	tamaño de la partícula de arena (µm)			
Estaciones	**2014**		**2015**	**2016**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	314,0 (11,7)	307,1 (7,9)	214,6 (12,4)	488,8 (56,4)
2 (sector Rucaco)	536,0 (45, 6)	497,4 (7,5)	412,8 (141,1)	500,3 (97,7)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	177,0 (7,8)	220,2 (18,6)	548,7 (25,2)	220,3 (1,2)
4 (sector Santa Clara)	394,0 (10,6)	213,1 (3,1)	299,3 (8,4)	387,0 (2,0)
5 (sector Punucapa)	211,0 (31,9)	245,4 (1,1)	178,8 (29,9)	233,0 (7,4)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	397,0 (7,0)	352,0 (6,4)	318,6 (7,7)	371,8 (3,0)
7 (río Cayumapu)	165,0 (35,4)	94,4 (19,3)	140,4 (29,6)	123,3 (0,6)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	143,0 (3,9)	193,5 (4,3)	176,6 (5,3)	359,3 (11,6)

Continuación Tabla 4.1.2.5.

	tamaño de la partícula de arena (µm)		
estaciones	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)			
1 (sector Ciruelos)	341,4 (18,4)	360,9 (12,4)	705,3 (14,0)
2 (sector Rucaco)	144,0 (17,7)	246,5 (10,1)	361,2 (50,8)
Eje central del río Cruces (área estuarial)			
3 (sector Fuerte San Luis)	228,0 (18,8)	632,1 (62,3)	756,4 (20,9)
4 (sector Santa Clara)	263,7 (4,1)	542,0 (29,9)	476,5 (20,6)
5 (sector Punucapa)	144,6 (28,6)	190,4 (11,2)	178,7 (22,8)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)			
6 (río Pichoy)	191,2 (4,5)	340,5 (10,0)	346,6 (11,6)
7 (río Cayumapu)	SD	140,8 (1,2)	115,1 (7,8)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)			
8 (río Calle Calle)	276,3 (6,5)	378,2 (6,6)	272,5 (1,5)

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.2.6 muestra los porcentajes promedios de grava, arena, fango y tamaño de la partícula de arena, agrupados por sectores; *i.e.*, sector límnico del río Cruces (L), sector estuarial y eje central del río Cruces (EE), ríos tributarios del humedal del río Cruces (T) y fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (F).

Tabla 4.1.2.6. Variabilidad interanual (2014 - 2019) de los valores porcentuales de grava, arena, fango y tamaño de la partícula de arena en los sedimentos del área de estudio: L = sector límnico del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

	grava (%)				fango (%)			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	27,8	27,7	2,4	0,2	56,1	55,8	57,1	55,5
abril 2015	6,0	0,0	0,0	0,0	67,3	69,7	55,8	93,5
abril 2016	22,0	0,4	0,0	0,0	73,9	75,6	58,4	84,5
abril 2017	0,5	0,3	0,4	0,0	94,4	57,9	9,2	70,2
abril 2018	1,6	3,8	0,1	0,0	79,8	71,7	52,9	93,9
abril 2019	31,4	15,2	0,2	0,0	38,5	55,6	48,7	85,7

	arena (%)				tamaño de la arena (µm)			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	12,2	14,9	22,0	28,3	425,0	260,7	281,0	143,0
abril 2015	20,2	28,3	31,6	5,3	313,7	342,3	229,5	176,6
abril 2016	1,3	14,0	13,3	10,5	494,6	280,1	247,6	359,3
abril 2017	23,1	36,7	76,0	23,6	242,7	212,1	191,2	276,3
abril 2018	10,9	21,0	31,2	2,4	303,7	454,8	240,7	378,2
abril 2019	24,0	24,6	44,0	6,9	533,3	470,5	230,9	272,5

No se observaron diferencias significativas ($p<0,05$) interanuales en el porcentaje de grava en los sedimentos. Sin embargo, sector Rucaco difiere significativamente ($p<0,05$) con las otras estaciones (Tabla 4.1.2.7) presentando mayores proporciones de grava en los sedimentos.

Los porcentajes de fango fueron significativamente más altos ($p<0,05$) durante los años 2014 y 2017 que, durante los años 2016 y 2018, particularmente en los sectores Cayumapu, Rucaco y Punucapa. A su vez, los porcentajes de arena detectados el año 2016 fueron significativamente más altos ($p<0,05$) que los detectados el año 2017, siendo estos, más bajos ($p<0,05$) en río Cayumapu. Por otra parte, los factores analizados no difieren significativamente ($p<0,05$) en el tamaño de la partícula de arena (Tabla 4.1.2.7).

Tabla 4.1.2.7. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las fracciones granulométricas (Grava, Arena y Fango) de los sedimentos del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016-2017-2018-2019) y Sector (Ci=Ciruelos; Ru=Rucaco; SL=San Luis; SC=Santa Clara; Pu=Punucapa; Pi=Pichoy; Ca=Cayumapu; CC=Calle Calle). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05).

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor p	Prueba de Tukey
Grava (*)	Año (A)	5	39,606	7,921	2,564	0,054	
	Sector (S)	7	87,566	12,509	4,049	**0,002**	Ru > Pu=SL=CC
	Error	35	108,123	3,089			
	Total	47	235,295	5,006			
Arena (*)(**)	Año (A)	5	30,735	6,147	2,982	**0,024**	2016 > 2017
	Sector (S)	7	178,829	25,547	12,392	**<0,001**	SC=CC=Pi=Ci=SL=Ru>Pu>Ca
	Error	35	72,154	2,062			
	Total	47	281,718	5,994			
Fango (*)(**)	Año (A)	5	48,193	9,639	3,255	**0,016**	2014=2017>2016=2018
	Sector (S)	7	226,254	32,322	10,915	**<0,001**	Ca=Pu=Ru>SL=SC=Pi=CC=Ci
	Error	35	103,643	2,961			
	Total	47	378,090	8,044			
Tamaño arena (**)	Año (A)	5	51,009	10,202	0,210	0,956	
	Sector (S)	7	717,897	102,557	2,115	0,068	
	Error	35	1697,178	48,491			
	Total	47	2466,084	52,470			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados $\log_{10}$ o Arcsen raíz cuadrada; (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA.

Agregados biogénicos, materia orgánica total y carbono orgánico total

Las Tablas 4.1.2.8 a 4.1.2.10 muestran la variabilidad interanual de los valores porcentuales de los contenidos de agregados biogénicos, materia orgánica total y carbono orgánico total (COT), en los sedimentos de las estaciones monitoreadas durante las campañas realizadas entre los años 2014 y 2019.

Tabla 4.1.2.8 Comparación interanual de los valores porcentuales de agregados biogénicos en los sedimentos del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	agregados biogénicos (%)			
Estaciones	**2014**		**2015**	**2016**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	7,6 (1,5)	1,1 (1,2)	12,2 (11,1)	2,8 (3,2)
2 (sector Rucaco)	0,5 (0,2)	0,9 (0,9)	0,9 (1,2)	2,9 (1,3)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	1,3 (0,4)	19,2 (25,6)	0,8 (0,6)	16,9 (3,1)
4 (sector Santa Clara)	1,9 (0,3)	9,0 (1,7)	0,3 (0,0)	3,8 (2,6)
5 (sector Punucapa)	1,6 (0,4)	4,5 (2,4)	5,0 (3,7)	9,2 (4,5)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	1,0 (0,8)	1,4 (0,3)	0,7 (0,3)	2,3 (1,9)
7 (río Cayumapu)	36,2 (5,2)	6,6 (4,4)	24,5 (28,4)	54,6 (21,3)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	15,9 (0,3)	1,1 (0,3)	1,2 (1,3)	5,0 (3,9)

Continuación Tabla 4.1.2.8

	agregados biogénicos (%)		
Estaciones	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)			
1 (sector Ciruelos)	3,4 (2,0)	4,6 (1,4)	1,8 (1,0)
2 (sector Rucaco)	36,8 (11,1)	11,0 (3,7)	14,8 (3,4)
Eje central del río Cruces (área estuarial)			
3 (sector Fuerte San Luis)	14,9 (5,7)	1,1 (0,9)	1,2 (0,2)
4 (sector Santa Clara)	9,9 (3,1)	1,3 (0,9)	2,5 (0,5)
5 (sector Punucapa)	11,1 (5,3)	8,2 (3,1)	9,9 (2,2)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)			
6 (río Pichoy)	8,3 (2,4)	4,3 (3,9)	4,9 (2,0)
7 (río Cayumapu)	20,7 (5,3)	26,9 (14,7)	9,4 (3,7)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)			
8 (río Calle Calle)	6,2 (2,5)	3,7 (3,1)	6,9 (2,3)

Tabla 4.1.2.9. Comparación interanual de los valores porcentuales de materia orgánica total en los sedimentos del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	materia orgánica total (%)			
Estaciones	**2014**		**2015**	**2016**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	6,7 (0,2)	2,8 (0,2)	15,6 (0,6)	1,6 (0,3)
2 (sector Rucaco)	4,0 (1,1)	10,5 (0,7)	2,0 (0,4)	1,7 (0,1)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	4,9 (2,1)	9,7 (2,7)	2,4 (0,4)	10,6 (1,0)
4 (sector Santa Clara)	2,6 (0,1)	6,8 (0,2)	4,9 (0,8)	3,1 (0,3)
5 (sector Punucapa)	8,3 (1,2)	4,3 (1,5)	13,8 (0,3)	7,0 (1,2)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	3,1 (0,0)	2,4 (0,8)	2,8 (0,8)	1,6 (0,1)
7 (río Cayumapu)	21,1 (2,7)	18,5 (0,2)	33,4 (19,7)	18,4 (0,4)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	11,7 (1,8)	7,4 (0,8)	5,1 (0,4)	2,5 (0,6)

Continuación Tabla 4.1.2.9.

	materia orgánica total (%)		
estaciones	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**abril**	**Abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)			
1 (sector Ciruelos)	2,7 (0,7)	2,4 (0,3)	2,2 (0,8)
2 (sector Rucaco)	29,8 (3,3)	13,7 (0,9)	28,6 (11,0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)			
3 (sector Fuerte San Luis)	16,6 (1,1)	2,5 (0,5)	2,5 (0,1)
4 (sector Santa Clara)	3,6 (0,7)	2,3 (1,3)	2,2 (0,3)
5 (sector Punucapa)	9,4 (4,6)	11,6 (1,5)	12,0 (1,4)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)			
6 (río Pichoy)	12,3 (1,0)	2,0 (0,5)	3,1 (0,7)
7 (río Cayumapu)	26,6 (5,3)	26,2 (1,8)	15,5 (2,2)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)			
8 (río Calle Calle)	3,4 (0,9)	3,1 (0,1)	1,9 (0,3)

Tabla 4.1.2.10. Comparación interanual de los valores porcentuales de carbono orgánico total (COT) en los sedimentos del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis

	carbono orgánico total (%)			
estaciones	**2014**		**2015**	**2016**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,3 (0,1)	0,5 (0,0)	0,3 (0,0)	0,3 (0,0)
2 (sector Rucaco)	6,4 (0,3)	3,1 (0,4)	0,3 (0,0)	0,9 (0,0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	3,4 (0,2)	0,6 (0,0)	5,2 (0,3)	3,7 (0,1)
4 (sector Santa Clara)	0,4 (0,1)	0,7 (0,0)	0,6 (0,0)	0,2 (0,0)
5 (sector Punucapa)	1,2 (0,1)	1,3 (0,1)	2,0 (0,0)	0,3 (0,1)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,6 (0,1)	0,3 (0,0)	1,9 (0,1)	0,2 (0,0)
7 (río Cayumapu)	4,4 (0,5)	4,7 (0,3)	5,8 (0,1)	6,1 (0,4)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,5 (0,0)	1,9 (0,2)	2,2 (0,0)	0,3 (0,0)

Continuación Tabla 4.1.2.10.

	carbono orgánico total (%)		
estaciones	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**abril**	**Abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)			
1 (sector Ciruelos)	0,3 (0,0)	0,4 (0,0)	0,3 (0,1)
2 (sector Rucaco)	7,8 (0,0)	3,2 (0,1)	8,1 (0,8)
Eje central del río Cruces (área estuarial)			
3 (sector Fuerte San Luis)	3,6 (0,2)	0,2 (0,0)	7,0 (1,4)
4 (sector Santa Clara)	0,7 (0,0)	0,3 (0,0)	0,1 (0,0)
5 (sector Punucapa)	1,6 (0,0)	1,9 (0,0)	1,3 (0,0)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)			
6 (río Pichoy)	1,1 (0,0)	0,5 (0,0)	0,3 (0,0)
7 (río Cayumapu)	8,5 (0,3)	5,5 (0,1)	5,8 (0,2)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)			
8 (río Calle Calle)	0,6 (0,0)	2,2 (0,1)	0,7 (0,0)

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.2.11 muestra los porcentajes promedios de agregados biogénicos, materia orgánica total y carbono orgánico total agrupados por sectores; *i.e.*, sector límnico del río Cruces (L), eje estuarial y central del río Cruces (EE), ríos tributarios del humedal del río Cruces (T) y fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (F).

Tabla 4.1.2.11. Variabilidad interanual de los valores porcentuales de agregados biogénicos, materia orgánica total y carbono orgánico total en los sedimentos del área de estudio: L = sector límnico del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

	agregados biogénicos (%)				**materia orgánica total (%)**				**carbono orgánico total (% C)**			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	4,1	1,6	18,6	15,9	5,4	5,3	12,1	11,7	3,4	1,7	2,5	0,5
abril 2015	6,6	2,0	12,6	1,2	8,8	7,0	18,1	5,1	0,3	2,6	3,9	2,2
abril 2016	2,9	10,0	28,5	5,0	1,7	6,9	10,0	2,5	0,6	1,4	3,2	0,3
abril 2017	20,1	12,0	14,5	6,2	16,3	9,9	19,5	3,4	4,1	2,0	4,8	0,6
abril 2018	7,8	3,5	15,6	3,7	8,1	5,5	14,1	3,1	2,7	3,2	4,7	2,1
abril 2019	8,3	4,5	7,2	6,9	15,4	5,6	9,3	1,9	4,2	2,8	3,1	0,7

Los resultados de los análisis de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey, indican que las fracciones de agregados biogénicos, materia orgánica total y carbono orgánico total fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en los ríos tributarios particularmente en el río Cayumapu, este último parámetro (COT) también presento altos porcentajes ($p<0,05$) en el sector Rucaco (Tabla 4.1.2.11). No se observaron diferencias significativas entre los años de estudio (Tabla 4.1.2.11).

Tabla 4.1.2.11. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las fracciones de agregados biogénicos (A. biogénicos), materia orgánica total (MOT) y carbono orgánico total (COT) en los sedimentos del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016-2017-2018-2019) y Sector (Ci=Ciruelos; Ru=Rucaco; SL=San Luis; SC=Santa Clara; Pu=Punucapa; Pi=Pichoy; Ca=Cayumapu; CC=Calle Calle). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05).

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor p	Prueba de Tukey
A. biogénicos	Año (A)	5	13,323	2,665	1,968	0,108	
(*)	Sector (S)	7	53,678	7,668	5,664	**<0,001**	Ca>Ci=Ru=SL=SC=Pu=Pi=CC
	Error	35	47,381	1,354			
	Total	47	114,381	2,434			
MOT	Año (A)	5	6,013	1,203	1,293	0,289	
(*)(**)	Sector (S)	7	44,582	6,369	6,847	**<0,001**	Ca>Ci=Ru=SL=SC=Pu=Pi=CC
	Error	35	32,554	0,930			
	Total	47	83,148	1,769			
COT	Año (A)	5	1,369	0,274	1,095	0,380	
(*)(**)	Sector (S)	7	20,347	2,907	11,623	**<0,001**	Ca=Ru>SL=SC=Pu=Pi=CC
	Error	35	8,753	0,250			
	Total	47	30,469	0,648			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados $\log_{10}$ o raíz cuadrada, (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA.

pH y Potencial óxido reducción

La Tabla 4.1.2.12 y las Figuras 4.1.2.2 y 4.1.2.3 muestran las variaciones interanuales del pH y potencial óxido reducción (Redox) en los sedimentos de las estaciones monitoreadas durante las campañas realizadas entre los años 2014 y 2019. En términos generales el pH en los sedimentos fue homogéneo entre estaciones, detectándose los valores más bajos en los ríos tributarios (Fig. 4.1.2.2). Por el contrario, el POR presento gran variabilidad estacional, siendo estos más positivos (*i.e*., valores más positivos lo que indica mayor oxigenación en el agua intersticial) en el sector límnico y más negativos en el río Calle Calle, fuera del HRC (Fig. 4.1.2.3).

Tabla 4.1.2.12. Comparación interanual de los valores promedio de pH y potencial óxido reducción (POR) en los sedimentos del área de estudio. SD = sin datos ya que el sustrato no presentó en esa oportunidad una condición adecuada para el uso de la sonda para medición de POR (fondo con muchas piedras).

	pH						
Estaciones	**2014**		**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)							
1 (sector Ciruelos)	6,5	6,7	7,0	5,7	7,1	7,2	7,9
2 (sector Rucaco)	6,6	6,9	SD	6,0	7,6	7,5	6,9
Eje central del río Cruces (área estuarial)							
3 (sector Fuerte San Luis)	6,7	6,9	7,4	6,4	7,0	7,5	7,1
4 (sector Santa Clara)	6,2	6,9	7,7	6,3	7,1	7,8	6,5
5 (sector Punucapa)	6,7	7,2	7,4	6,3	7,1	7,7	6,8
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)							
6 (río Pichoy)	6,1	6,1	7,0	5,6	7,2	7,6	7,0
7 (río Cayumapu)	6,2	6,4	6,6	6,1	6,5	6,6	6,7
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)							
8 (río Calle Calle)	6,6	6,3	6,8	5,8	7,5	7,5	7,1

Continuación Tabla 4.1.2.12.

	POR (mV)						
Estaciones	**2014**		**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)							
1 (sector Ciruelos)	120,1	95,6	201,1	117,0	-33,1	22,9	188,4
2 (sector Rucaco)	-17,1	-25,8	SD	177,9	78,9	43,5	-213,5
Eje central del río Cruces (área estuarial)							
3 (sector Fuerte San Luis)	-119	-131,5	-138,7	-59,7	-37,7	-158,6	-130,1
4 (sector Santa Clara)	52,8	-94,8	-0,6	207,5	8,2	97,9	-153,8
5 (sector Punucapa)	-104,4	-84,4	-72,8	34,6	-4,8	38,9	-42,1
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)							
6 (río Pichoy)	123	234	-67,5	187,3	-22,3	-104,7	250,2
7 (río Cayumapu)	-92,8	-27,5	-158	-55,3	-8,1	105,5	-122,2
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)							
8 (río Calle Calle)	-155,1	-62,7	-151,6	-56,2	-53,0	-38,7	-119,9

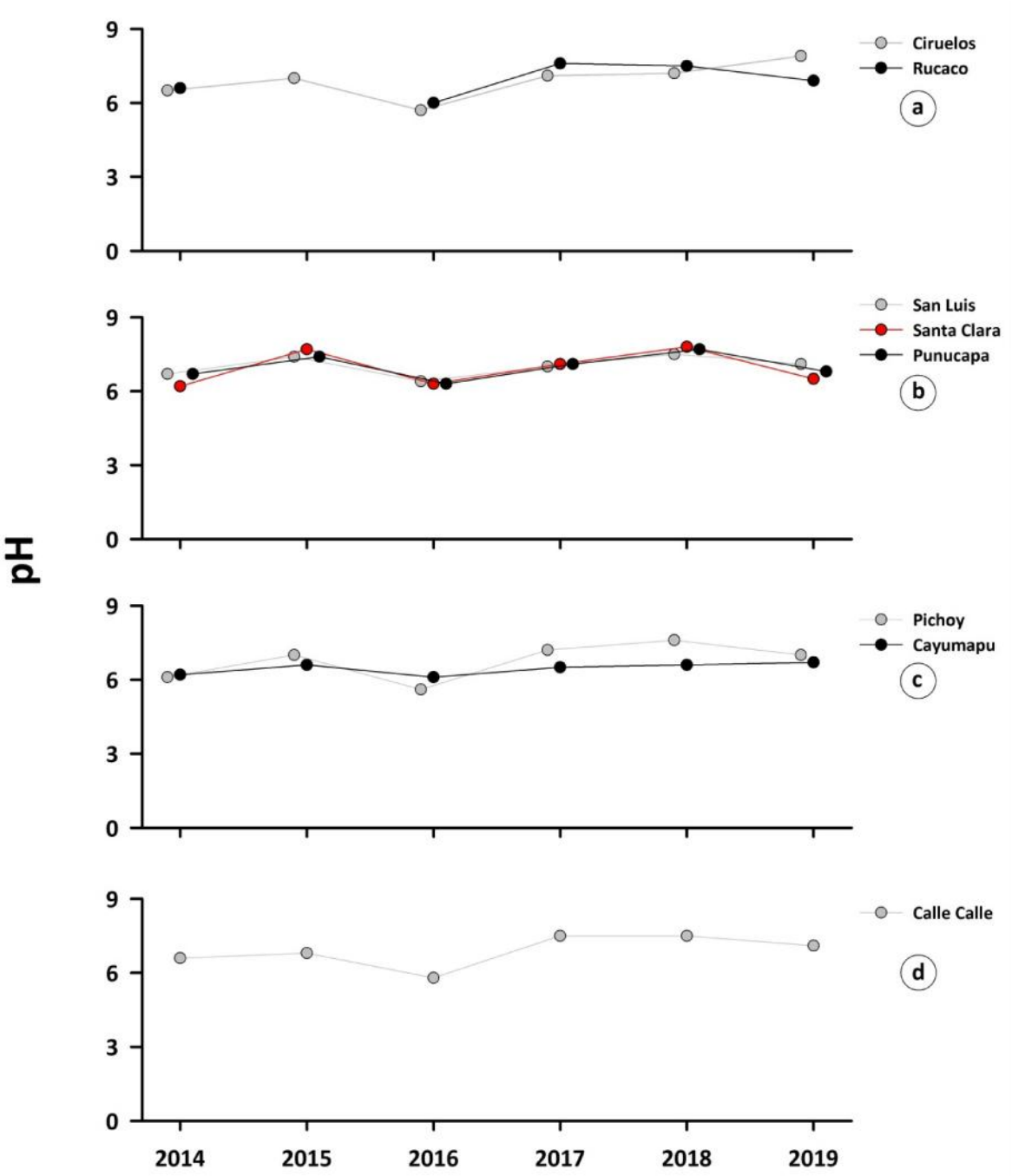


Figura 4.1.2.2. Comparación interanual de los valores de pH en los sedimentos del a) sector límnico, b) eje central y estuarial del HRC, c) ríos tributarios y d) fuera del HRC.

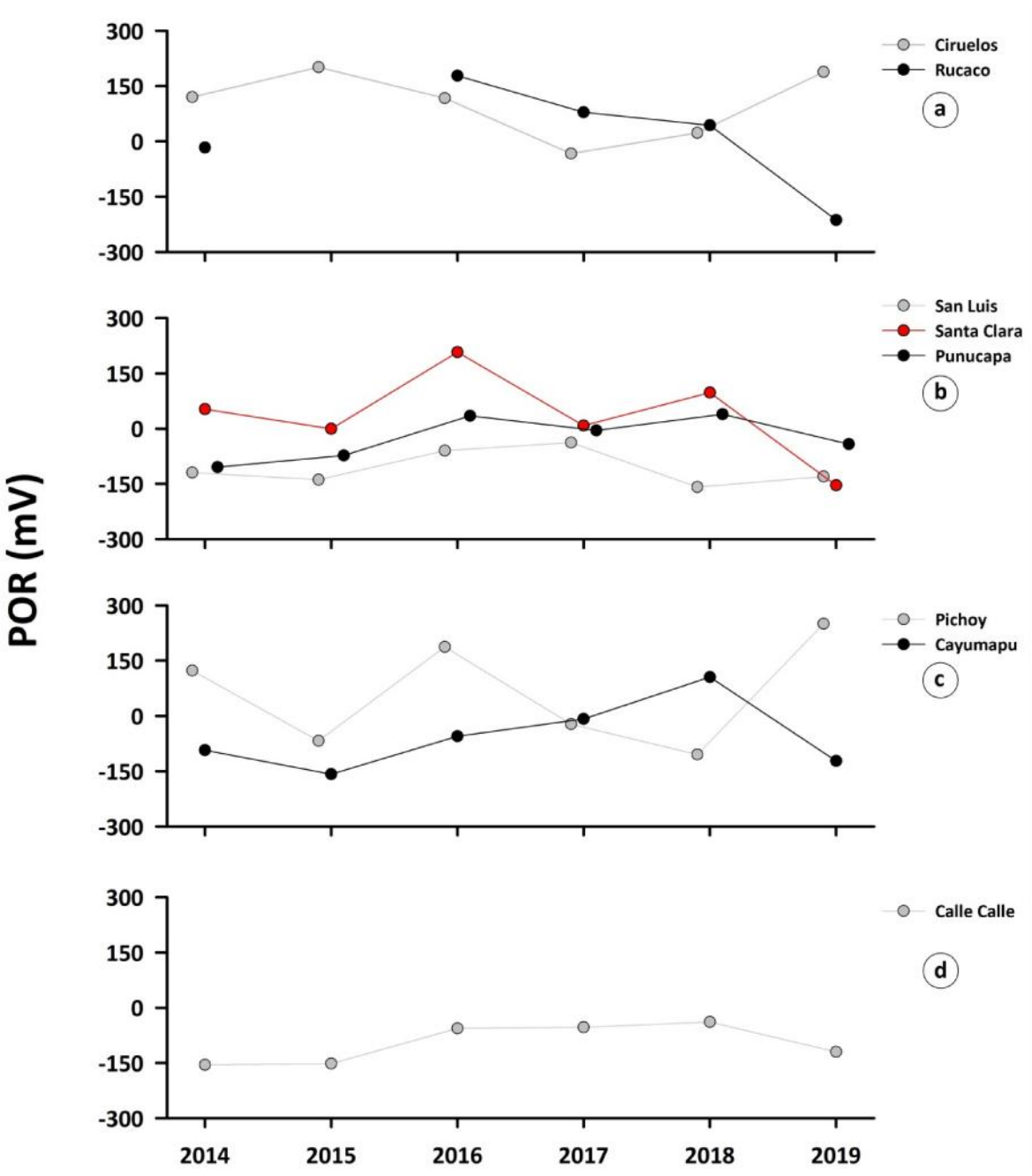


Figura 4.1.2.3. Comparación interanual de los valores de potencial óxido reducción (POR) en los sedimentos del a) sector límnico, b) eje central y estuarial del HRC, c) ríos tributarios y d) sector fuera del HRC.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.2.13 muestra la variabilidad interanual de los valores promedios de pH y potencial óxido reducción (POR) agrupados por sectores; *i.e.*, sector límnico del río Cruces (L), eje estuarial y central del río Cruces (EE), ríos tributarios del humedal del río Cruces (T) y fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (F).

Tabla 4.1.2.13. Variabilidad interanual de los valores de pH y potencial óxido reducción (POR) en los sedimentos del área de estudio: L = sector límnico del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

	pH				**POR (mV)**			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	6,6	6,5	6,2	6,6	51,5	-56,9	15,1	-155,1
abril 2015	7,0	7,5	6,8	6,8	201,1	-70,7	-112,8	-151,6
abril 2016	5,9	6,3	5,9	5,8	147,5	60,8	66,0	-56,2
abril 2017	7,4	7,1	6,9	7,5	22,9	-11,4	-15,2	-53,0
abril 2018	7,4	7,7	7,1	7,5	33,2	-7,3	0,4	-38,7
abril 2019	7,4	6,8	6,9	7,1	-12,6	-108,7	64,0	-119,9

Los valores de pH detectados durante las campañas de los años 2014 y 2016 fueron significativamente más bajos ($p<0,05$) que los encontrados en todos los otros años de estudio. No se detectaron diferencias significativas ($p<0,05$) entre los sectores (Tabla 4.1.2.14).

Los valores del potencial de óxido reducción no presentaron diferencias significativas (p>0,05) entre años, pero si entre sectores; donde valores medidos en la estación Ciruelos fueron significativamente (p<0,05) más altos (*i.e*., valores más positivos lo que indica mayor oxigenación en el agua intersticial) que los registrados en San Luis y Cale Calle (Tabla 4.1.2.14).

Tabla 4.1.2.14. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en los valores de pH y potencial óxido reducción (POR), en los sedimentos del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016-2017-2018-2019) y Sector (Ci=Ciruelos; Ru=Rucaco; SL=San Luis; SC=Santa Clara; Pu=Punucapa; Pi=Pichoy; Ca=Cayumapu; CC=Calle Calle). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05).

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor p	Prueba de Tukey
pH	Año (A)	5	10,802	2,160	21,071	**<0,001**	2019=2018=2017=2015>2016=2014
	Sector (S)	7	1,457	0,208	2,030	0,080	
	Error	34	3,486	0,103			
	Total	46	15,696	0,341			
POR	Año (A)	5	74002,125	14800,425	1,583	0,191	
	Sector (S)	7	234485,253	33497,893	3,583	**0,005**	Ci > SL = CC
	Error	34	317864,684	9348,961			
	Total	46	628058,198	13653,439			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho.

Metales pesados

Hierro, Aluminio y Manganeso

Las Tablas 4.1.2.15 a 4.1.2.17 y Figura 4.1.2.4 a la 4.1.2.6 muestran las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso en los sedimentos del área de estudio, durante las campañas realizadas en abril entre los años 2014 y 2019.

Tabla 4.1.2.15. Concentraciones de Hierro en los sedimentos del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Hierro (µg/g)			
estaciones	**2014**		**2015**	**2016**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	14.918 (192)	23.611 (1.806)	16.849 (1.644)	18.007 (360)
2 (sector Rucaco)	53.572 (24)	34.407 (30)	21.398 (157)	22.963 (1.137)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	40.592 (2.036)	55.551 (3.595)	48.426 (411)	48.466 (1.257)
4 (sector Santa Clara)	19.820 (33)	23.244 (90)	25.459 (132)	21.617 (985)
5 (sector Punucapa)	45.951 (162)	63.019 (238)	64.434 (1.503)	26.808 (1.319)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	20.827 (541)	21.885 (2.361)	42.748 (564)	15.019 (472)
7 (río Cayumapu)	54.906 (1.636)	61.560 (86)	54.652 (1.856)	60.495 (3.428)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	25.641 (742)	32.558 (492)	29.455 (145)	23.642 (1.256)

Continuación Tabla 4.1.2.15

	Hierro (µg/g)		
estaciones	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)			
1 (sector Ciruelos)	15.644 (1.746)	12.683 (357)	29.621 (835)
2 (sector Rucaco)	49.110 (869)	28.680 (1.225)	51.199 (2.207)
Eje central del río Cruces (área estuarial)			
3 (sector Fuerte San Luis)	51.137 (903)	17.023 (936)	51.876 (298)
4 (sector Santa Clara)	26.635 (175)	16.945 (365)	22.358 (7)
5 (sector Punucapa)	69.926 (654)	58.995 (5.676)	30.830 (1.983)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)			
6 (río Pichoy)	47.732 (315)	14.595 (643)	15.397 (593)
7 (río Cayumapu)	58.692 (135)	45.114 (677)	45.512 (483)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)			
8 (río Calle Calle)	32.700 (397)	25.961 (455)	30.894 (129)

Tabla 4.1.2.16. Concentraciones de Aluminio en los sedimentos del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Aluminio (µg/g)			
estaciones	**2014**		**2015**	**2016**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	16.466 (468)	20.451 (310)	17.877 (1.179)	39.453 (5.109)
2 (sector Rucaco)	58.252 (1.442)	32.807 (202)	21.389 (440)	36.667 (843)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	46.824 (2.087)	53.373 (786)	47.876 (1.778)	69.318 (162)
4 (sector Santa Clara)	23.202 (247)	23.973 (323)	40.491 (398)	37.254 (5.127)
5 (sector Punucapa)	63.232 (700)	68.053 (612)	80.645 (5.458)	34.484 (862)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	26.404 (1.591)	27.413 (252)	45.873 (1.128)	21.571 (1.516)
7 (río Cayumapu)	70.048 (1.244)	88.420 (3.149)	49.593 (3.560)	65.412 (1.568)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	28.110 (66)	37.197 (448)	38.270 (1.114)	28.192 (2.208)

Continuación Tabla 4.1.2.6

	Aluminio (µg/g)		
Estaciones	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)			
1 (sector Ciruelos)	17.757 (590)	18.582 (1.940)	30.590 (484)
2 (sector Rucaco)	44.408 (284)	35.502 (1.075)	50.110 (1.581)
Eje central del río Cruces (área estuarial)			
3 (sector Fuerte San Luis)	50.758 (809)	14.259 (903)	65.709 (955)
4 (sector Santa Clara)	23.003 (1.368)	14.555 (75)	33.874 (2.070)
5 (sector Punucapa)	68.445 (2.013)	76.327 (7.777)	40.593 (127)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)			
6 (río Pichoy)	54.554 (1.569)	11.010 (83)	19.909 (2.409)
7 (río Cayumapu)	65.603 (4.372)	45.738 (1.409)	74.482 (3.491)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)			
8 (río Calle Calle)	25.142 (1.176)	23.876 (1.043)	32.682 (1.294)

Tabla 4.1.2.17. Concentraciones de Manganeso en los sedimentos del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Manganeso (µg/g)			
estaciones	**2014**		**2015**	**2016**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	215 (13)	358 (3)	225 (1)	251 (10)
2 (sector Rucaco)	1.902 (21)	579 (5)	362 (10)	370 (14)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	1.230 (92)	838 (25)	851 (15)	914 (36)
4 (sector Santa Clara)	453 (11)	443 (17)	541 (2)	539 (17)
5 (sector Punucapa)	744 (8)	1.100 (4)	1.057 (5)	497 (15)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	519 (46)	554 (12)	486 (0)	343 (14)
7 (río Cayumapu)	1.080 (37)	1.091 (29)	1.271 (5)	1.004 (37)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	236 (2)	261 (6)	240 (3)	186 (10)

Continuación Tabla 4.1.2.17

	Manganeso (µg/g)		
estaciones	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)			
1 (sector Ciruelos)	151 (14)	266 (7)	448 (4)
2 (sector Rucaco)	1.734 (10)	881 (15)	1.004 (36)
Eje central del río Cruces (área estuarial)			
3 (sector Fuerte San Luis)	799 (27)	263 (16)	1.124 (15)
4 (sector Santa Clara)	503 (2)	451 (66)	844 (20)
5 (sector Punucapa)	567 (13)	1.063 (63)	753 (57)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)			
6 (río Pichoy)	673 (6)	351 (10)	263 (16)
7 (río Cayumapu)	551 (25)	993 (48)	1.099 (103)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)			
8 (río Calle Calle)	315 (4)	224 (3)	302 (1)

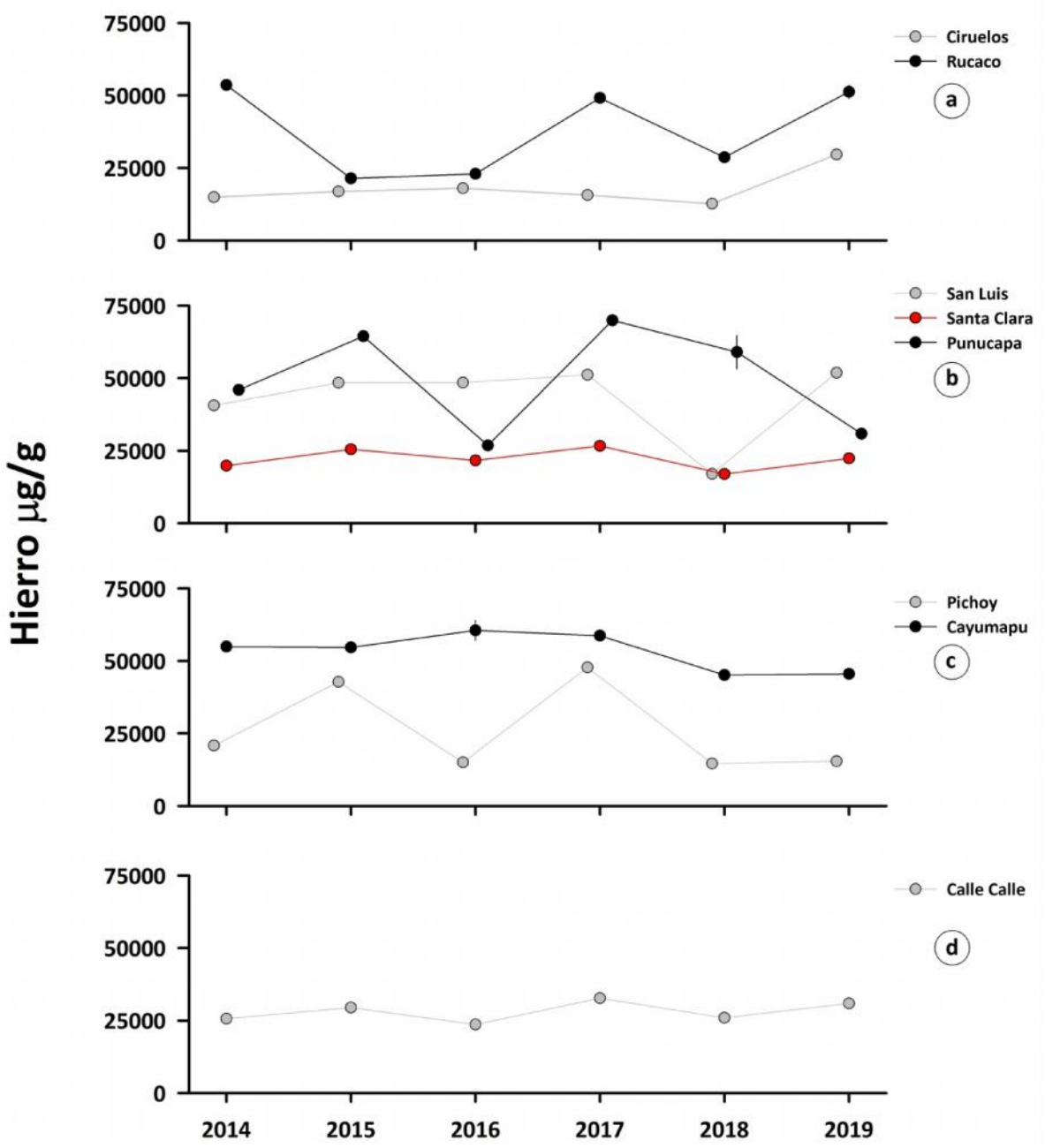


Figura 4.1.2.4. Comparación interanual de la concentración de Hierro en los sedimentos del a) sector límnico, b) eje central del HRC, c) ríos tributarios y d) fuera del HRC.

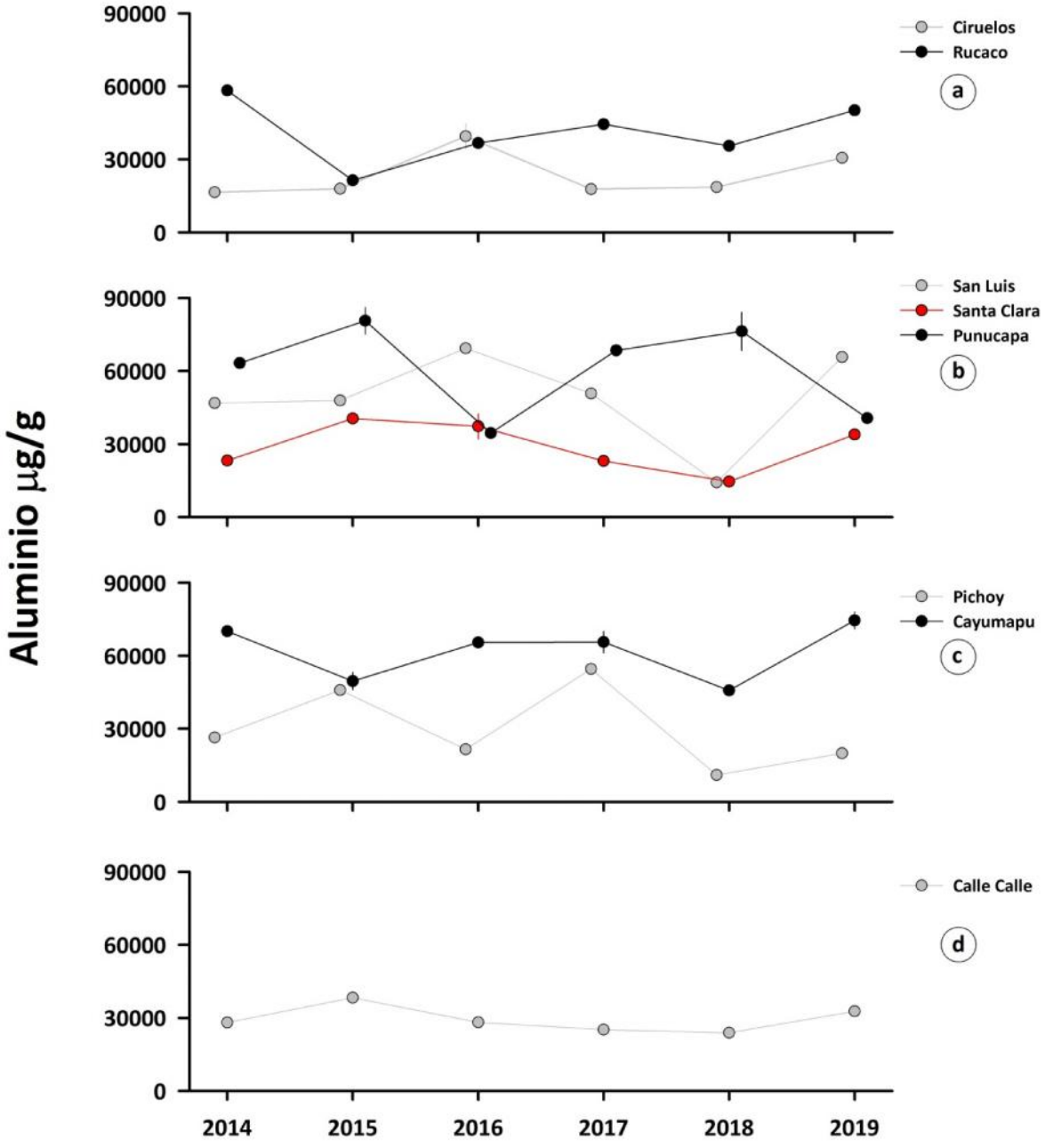


Figura 4.1.2.5. Comparación interanual de la concentración de Aluminio en los sedimentos del a) sector límnico, b) eje central del HRC, c) ríos tributarios y d) fuera del HRC.

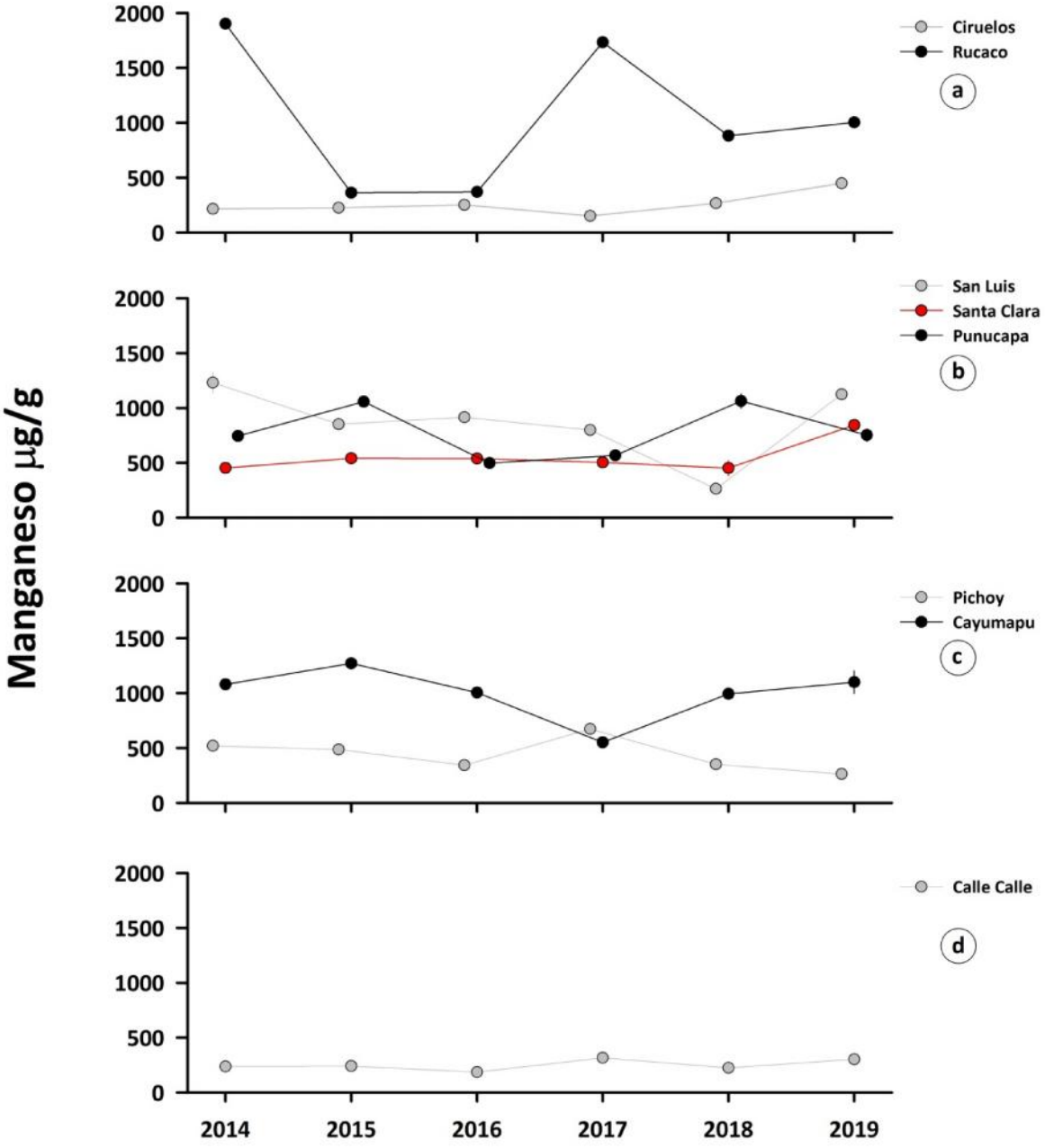


Figura 4.1.2.6. Comparación interanual de la concentración de Manganeso en los sedimentos del a) sector límnico, b) eje central del HRC, c) ríos tributarios y d) fuera del HRC.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.2.18 presenta la variabilidad interanual de los valores promedios de las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso agrupados por sectores; *i.e.*, sector límnico (L), eje central y estuarial (EE), ríos tributarios (T) y fuera del humedal del río Cruces (F).

Tabla 4.1.2.18. Variabilidad interanual (2014-2019) de las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso en los sedimentos del área de estudio: L = sector límnico; EE = eje central y estuarial s; T = ríos tributarios y F = fuera del humedal del río Cruces.

	Hierro (µg/g)				Aluminio (µg/g)				Manganeso (µg/g)			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	34.245	35.454	37.867	25.641	37.359	44.419	48.226	28.110	1.059	809	800	236
abril 2015	19.124	46.106	48.700	29.455	19.633	56.337	47.733	38.270	294	816	879	240
abril 2016	20.485	32.297	37757	23642	38.060	47.019	43491	28.192	311	650	673	186
abril 2017	32.377	49.233	53.212	32.700	31.083	47.402	60.079	25.142	943	623	612	315
abril 2018	20.681	30.988	29.854	25.961	27.042	35.045	28.374	23.876	574	592	672	224
abril 2019	40.410	35.021	30.455	30.894	40.350	46.725	47.196	32.682	726	907	681	302

Las concentraciones de Hierro y Aluminio detectadas durante el año 2018 fueron significativamente más bajas ($p<0,05$) que las registradas durante los otros años, así mismo, estas concentraciones fueron significativamente más bajas ($p<0,05$) en la estación Ciruelos (Tabla 4.1.2.19).

Por otra parte, las concentraciones de Manganeso fueron significativamente más altas ($p>0,05$) durante el Programa de Diagnóstico (2014) y el último año del Programa de Monitoreo Ambiental (2019), particularmente en las estaciones Rucaco, San Luis y río Cayumapu ($p<0,05$) (Tabla 4.1.2.19).

Tabla 4.1.2.19. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de los metales pesados; Hierro (Fe), Aluminio (Al) y Manganeso (Mn) en los sedimentos del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016-2017-2018-2019) y Sector (Ci=Ciruelos; Ru=Rucaco; SL=San Luis; SC=Santa Clara; Pu=Punucapa; Pi=Pichoy; Ca=Cayumapu; CC=Calle Calle). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05).

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Fe (*)(***)	Año (A)	5	0,515	0,103	370,935	**<0,001**	2017>2015>2019=2014>2016>2018
	Sector (S)	7	2,493	0,356	1281,963	**<0,001**	Ca>Pu>SL>Ru>CC>Pi=SC>Ci
	A x S	35	1,306	0,0373	134,279	**<0,001**	
	Error	48	0,0133	0,000278			
Al (*)(***)	Año (A)	5	0,551	0,110	200,469	**<0,001**	2019=2017=2016=2015>2014>2018
	Sector (S)	7	2,306	0,329	598,794	**<0,001**	Ca=Pu>SL>Ru>CC=SC=Pi>Ci
	A x S	35	1,847	0,0528	95,937	**<0,001**	
	Error	48	0,0264	0,000550			
Mn (*)(***)	Año (A)	5	0,330	0,0660	168,746	**<0,001**	2019=2014>2017=2015>2018>2016
	Sector (S)	7	4,747	0,678	1733,944	**<0,001**	Ca>Ru>SL=Pu>SC>Pi>CC=Ci
	A x S	35	2,219	0,0634	162,077	**<0,001**	
	Error	48	0,0188	0,000391			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho. (*) = Datos transformados $\log_{10}$ o raíz cuadrada, (***) = No cumple los supuestos de ANDEVA.

Cobre, Zinc y Plomo

Las Tablas 4.1.2.20 a 4.1.2.22 y las Figuras 4.1.2.7 a la 4.1.2.9 muestran las concentraciones de Cobre, Zinc y Plomo en los sedimentos del área de estudio, durante las campañas realizadas en abril entre los años 2014 y 2019.

Tabla 4.1.2.20. Concentraciones de Cobre en los sedimentos del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Cobre (µg/g)			
Estaciones	**2014**		**2015**	**2016**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	11,6 (0,1)	18,5 (1,6)	15,1 (0,6)	20,9 (1,5)
2 (sector Rucaco)	53,0 (1,7)	33,8 (1,3)	16,4 (0,7)	18,5 (2,0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	42,3 (1,1)	48,6 (0,6)	51,7 (0,7)	45,7 (2,8)
4 (sector Santa Clara)	11,5 (0,2)	14,8 (0,1)	16,9 (0,3)	13,5 (1,2)
5 (sector Punucapa)	43,1 (0,3)	60,5 (1,0)	63,8 (1,6)	13,6 (0,6)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	13,2 (0,6)	13,1 (1,0)	40,7 (0,1)	8,1 (0,9)
7 (río Cayumapu)	46,5 (0,3)	48,8 (0,1)	47,9 (0,1)	46,3 (0,8)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	15,3 (0,5)	25,5 (0,3)	25,1 (0,1)	11,6 (0,1)

Continuación Tabla 4.1.2.20.

	Cobre (μg/g)		
estaciones	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)			
1 (sector Ciruelos)	10,7 (0,3)	14,9 (0,0)	25,5 (0,9)
2 (sector Rucaco)	38,8 (0,2)	39,3 (4,0)	42,7 (1,0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)			
3 (sector Fuerte San Luis)	53,3 (4,2)	14,7 (1,1)	55,5 (0,0)
4 (sector Santa Clara)	16,2 (0,3)	14,0 (0,3)	21,5 (0,5)
5 (sector Punucapa)	63,7 (1,8)	81,1 (8,1)	32,7 (1,4)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)			
6 (río Pichoy)	35,5 (2,1)	12,9 (1,4)	13,7 (0,0)
7 (río Cayumapu)	53,4 (0,6)	51,6 (0,9)	48,6 (1,1)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)			
8 (río Calle Calle)	23,0 (1,0)	29,1 (0,1)	21,9 (1,1)

Tabla 4.1.2.21. Concentraciones de Zinc en los sedimentos del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Zinc (µg/g)			
estaciones	**2014**		**2015**	**2016**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	22,6 (0,4)	33,0 (1,8)	23,5 (0,1)	31,4 (2,4)
2 (sector Rucaco)	112,4 (8,1)	68,8 (0,8)	36,2 (0,4)	39,7 (2,3)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	83,1 (0,3)	127,0 (0,1)	92,1 (0,3)	82,4 (4,8)
4 (sector Santa Clara)	34,8 (0,3)	34,2 (0,2)	42,0 (0,1)	33,7 (0,9)
5 (sector Punucapa)	56,3 (0,8)	64,5 (1,3)	66,3 (1,8)	31,5 (0,1)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	26,3 (1,5)	22,6 (2,3)	57,4 (0,1)	12,6 (0,5)
7 (río Cayumapu)	91,4 (0,8)	89,7 (0,2)	88,9 (0,1)	83,1 (2,5)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	52,2 (1,2)	64,7 (1,5)	67,2 (6,6)	37,1 (1,3)

Continuación Tabla 4.1.2.21

	Zinc (µg/g)		
estaciones	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)			
1 (sector Ciruelos)	19,9 (1,5)	28,8 (0,2)	42,0 (4,1)
2 (sector Rucaco)	75,8 (1,8)	69,8 (4,9)	121,1 (1,3)
Eje central del río Cruces (área estuarial)			
3 (sector Fuerte San Luis)	81,5 (9,5)	38,3 (0,8)	102,9 (1,5)
4 (sector Santa Clara)	37,3 (1,9)	35,9 (0,1)	41,3 (3,1)
5 (sector Punucapa)	59,5 (2,7)	72,5 (5,7)	36,4 (1,3)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)			
6 (río Pichoy)	52,9 (4,9)	21,0 (2,9)	18,2 (0,6)
7 (río Cayumapu)	108,9 (1,2)	88,1 (0,1)	86,7 (2,3)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)			
8 (río Calle Calle)	54,9 (4,8)	62,6 (0,7)	53,9 (2,1)

Tabla 4.1.2.22. Concentraciones de Plomo en los sedimentos del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

	Plomo (µg/g)			
estaciones	**2014**		**2015**	**2016**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	4,6 (0,2)
2 (sector Rucaco)	11,2 (0,3)	6,0 (0,2)	*	4,7 (0,5)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	6,6 (0,3)	10,7 (0,6)	12,3 (0,1)	11,0 (0,0)
4 (sector Santa Clara)	*	*	3,7 (0,4)	4,4 (0,1)
5 (sector Punucapa)	8,8 (0,4)	12,1 (0,3)	12,8 (0,1)	4,6 (0,1)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	4,2 (0,3)	4,7 (0,3)	9,9 (0,1)	5,1 (0,4)
7 (río Cayumapu)	13,4 (0,2)	13,7 (0,2)	12,2 (0,4)	11,1 (1,3)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	5,8 (0,4)	6,6 (0,4)	6,6 (0,4)	4,2 (0,4)

Continuación Tabla 4.1.2.22

	Plomo (µg/g)		
estaciones	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)			
1 (sector Ciruelos)	*	*	*
2 (sector Rucaco)	6,5 (0,8)	*	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)			
3 (sector Fuerte San Luis)	7,9 (0,4)	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*
5 (sector Punucapa)	10,9 (0,4)	12,5 (0,1)	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)			
6 (río Pichoy)	10,0 (0,5)	*	*
7 (río Cayumapu)	8,5 (0,3)	*	9,2 (0,3)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)			
8 (río Calle Calle)	*	*	*

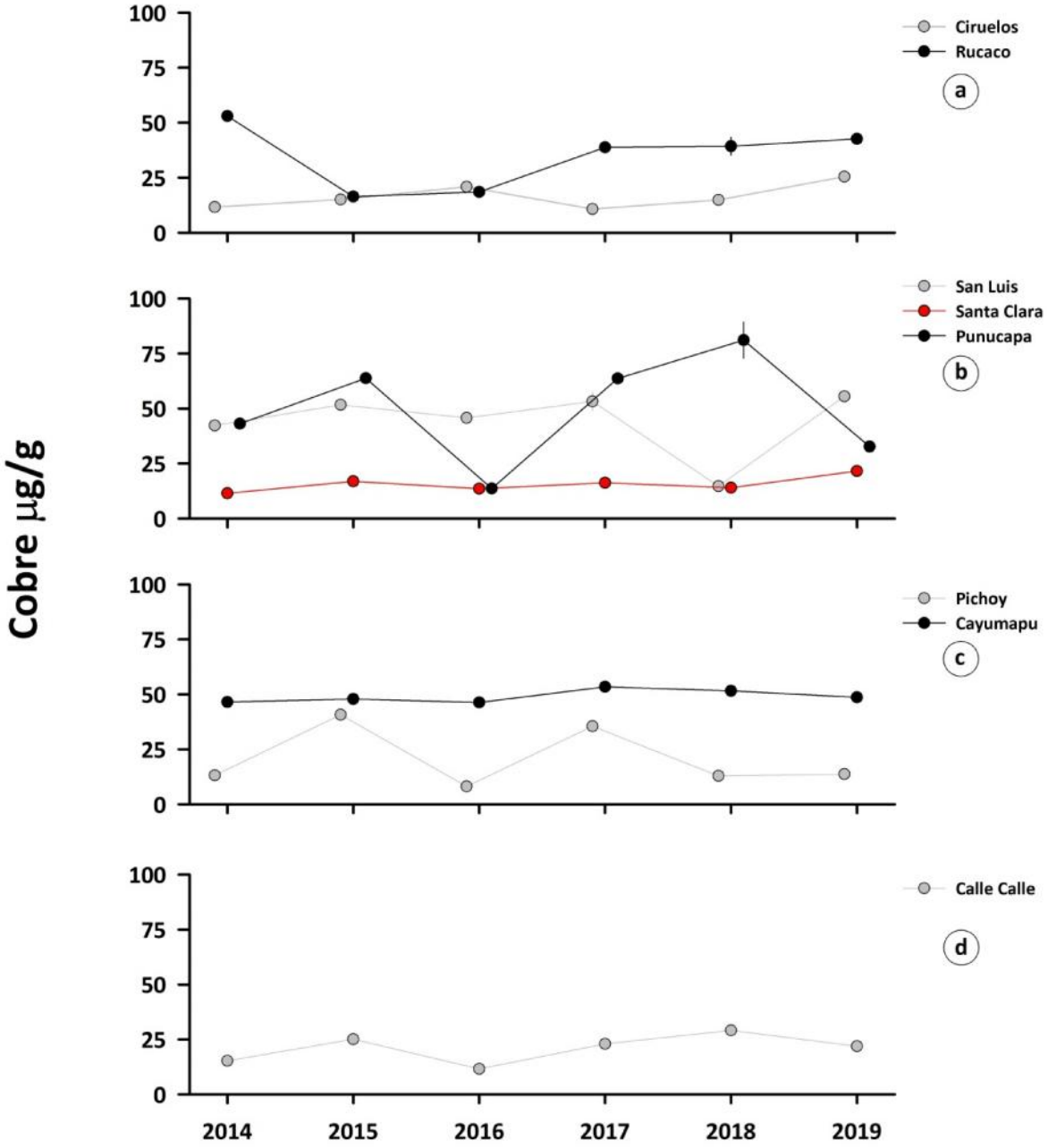


Figura 4.1.2.7. Comparación interanual de la concentración de Cobre en los sedimentos del a) sector límnico, b) eje central del HRC, c) ríos tributarios y d) fuera del HRC.

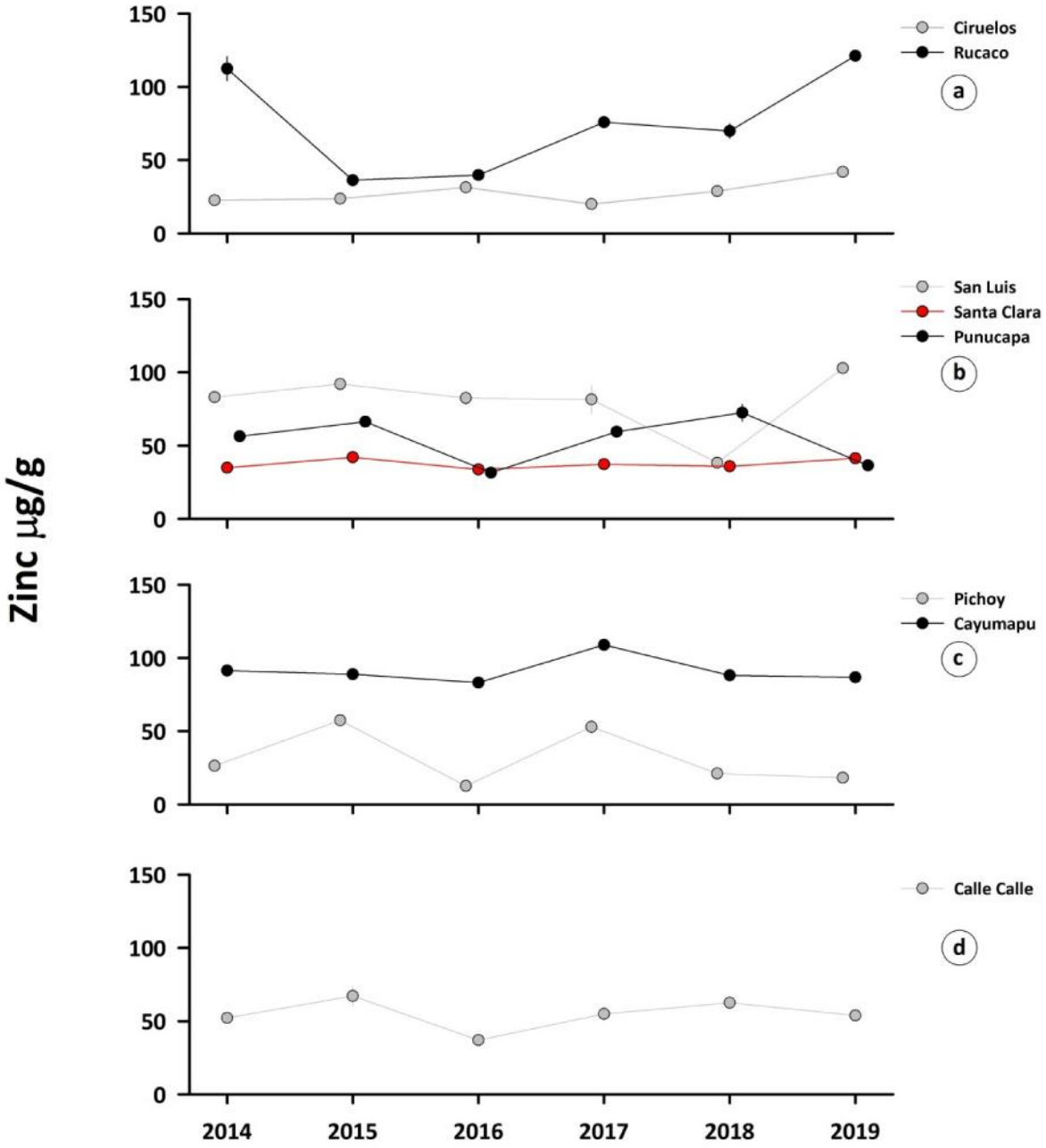


Figura 4.1.2.8. Comparación interanual de la concentración de Zinc en los sedimentos del a) sector límnico, b) eje central del HRC, c) ríos tributarios y d) fuera del HRC.

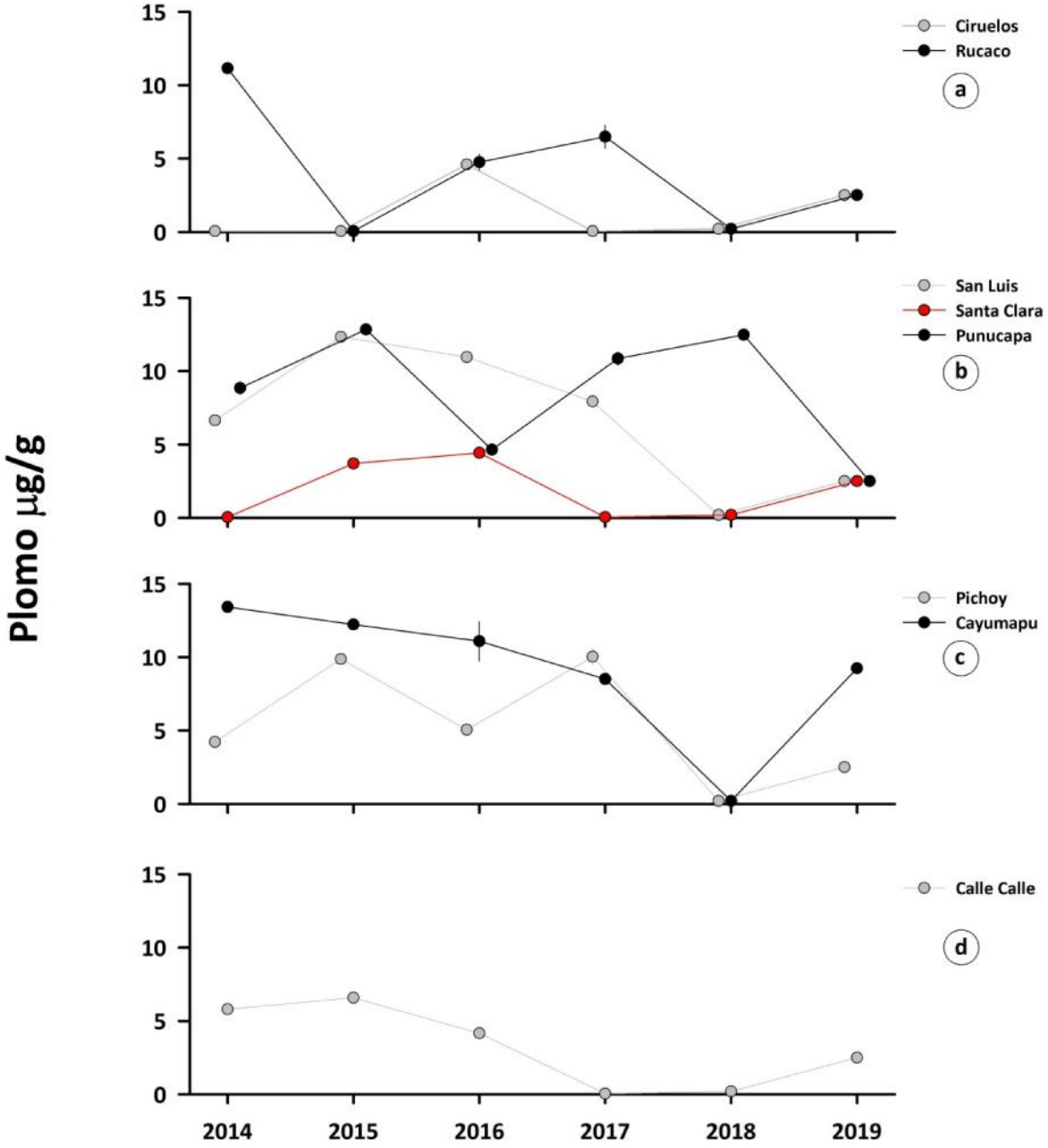


Figura 4.1.2.9. Comparación interanual de la concentración de Plomo en los sedimentos del a) sector límnico, b) eje central del HRC, c) ríos tributarios y d) fuera del HRC.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.2.23 muestra la variabilidad interanual de los valores promedios de las concentraciones de Cobre, Zinc y Plomo agrupados por sectores; *i.e.*, sector límnico (L), eje estuarial y central (EE), ríos tributarios (T) y fuera del humedal del río Cruces (F).

Tabla 4.1.2.23. Variabilidad interanual (2014-2019) de las concentraciones de Cobre, Zinc y Plomo en los sedimentos del área de estudio: L = sector límnico; EE = eje estuarial y central; T = ríos tributarios y F = fuera del humedal del río Cruces.

	Cobre (µg/g)				**Zinc (µg/g)**				**Plomo (µg/g)**			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	32,3	32,3	29,9	15,3	67,5	58,1	58,9	52,2	5,6	5,2	8,8	5,8
abril 2015	15,8	44,1	44,3	25,1	29,9	66,8	73,2	67,2	0,1	9,6	11,1	6,6
abril 2016	19,7	24,3	27,2	11,6	35,5	49,2	47,8	37,1	4,7	6,7	8,1	4,2
abril 2017	24,8	44,4	44,5	23,0	47,9	59,4	80,9	54,9	3,3	6,3	9,3	0,1
abril 2018	27,1	36,6	32,2	29,1	49,3	48,9	54,6	62,6	0,1	4,2	0,1	0,1
abril 2019	34,1	36,6	31,2	21,9	81,6	60,2	52,5	53,9	*	*	5,9	*

Los resultados de los análisis de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey, muestran que las concentraciones de Cobre y Zinc, registradas durante el año 2016 fueron significativamente más bajas ($p<0,05$) que las detectadas en otros años, por otra parte, las concentraciones de estos metales fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en el río Cayumapu.

Por el contrario, las concentraciones de Plomo fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en los sedimentos estudiados el año 2016 (Tabla 4.1.2.24), a su vez significativamente más altas ($p<0,05$) en los sectores Punucapa y río Cayumapu (Tabla 4.1.2.24).

Tabla 4.1.2.24. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en la concentración de los metales pesados; Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Plomo (Pb) presentes en los sedimentos del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016-2017-2018-2019) y Sector (Ci=Ciruelos; Ru=Rucaco; SL=San Luis; SC=Santa Clara; Pu=Punucapa; Pi=Pichoy; Ca=Cayumapu; CC=Calle Calle). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05).

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor p	Prueba de Tukey
Cu (*)(***)	Año (A)	5	18,733	3,747	220,222	**<0,001**	2017>2015=2019>2018>2014>2016
	Sector (S)	7	142,752	20,393	1198,712	**<0,001**	Ca>Pu>SL>Ru>CC>Pi>Ci=SC
	A × S	35	87,032	2,487	146,165	**<0,001**	
	Error	48	0,817	0,0170			
Zn (*)(***)	Año (A)	5	0,312	0,0623	123,352	**<0,001**	2019=2017=2015=2014>2018>2016
	Sector (S)	7	3,359	0,480	949,853	**<0,001**	Ca>SL>Ru>CC=Pu>SC>Ci=Pi
	A × S	35	1,558	0,0445	88,110	**<0,001**	
	Error	48	0,0243	0,000505			
Pb (*)(***)	Año (A)	5	27,440	5,488	1598,953	**<0,001**	2016>2015>2014>2017>2019>2018
	Sector (S)	7	48,383	6,912	2013,787	**<0,001**	Pu=Ca>SL>Pi>Ru>CC>SC>Ci
	A × S	35	56,983	1,628	474,346	**<0,001**	
	Error	48	0,165	0,00343			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho. (*) = Datos transformados $\log_{10}$ o raíz cuadrada, (***) = No cumple los supuestos de ANDEVA.

Cadmio, Arsénico y Mercurio

Las Tablas 4.1.2.25 a 4.1.2.27 y Figura 4.1.2.10 a la 4.1.2.11 muestran las concentraciones de Cadmio, Arsénico y Mercurio registradas en los sedimentos del área de estudio, durante las campañas realizadas en abril entre los años 2014 y 2019. A la fecha no se ha detectado Cadmio en los sedimentos del área de estudio.

Tabla 4.1.2.25. Concentraciones de Cadmio en los sedimentos del área de estudio. * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

	Cadmio (µg/g)						
estaciones	**2014**		**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**julio**	**Abril**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnico)							
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)							
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)							
6 (río Pichoy)	*	*	*	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)							
8 (río Calle Calle)	*	*	*	*	*	*	*

Tabla 4.1.2.26. Concentraciones de Arsénico en los sedimentos del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Arsénico (µg/g)						
estaciones	**2014**		**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)							
1 (sector Ciruelos)	3,8 (0,0)	4,1 (0,2)	3,0 (0,0)	4,0 (0,2)	3,7 (0,1)	3,4 (0,3)	4,2 (0,2)
2 (sector Rucaco)	11,4 (0,1)	4,5 (0,3)	3,6 (0,0)	3,2 (0,0)	13,6 (0,7)	7,7 (0,5)	12,6 (0,3)
Eje central del río Cruces (área estuarial)							
3 (sector Fuerte San Luis)	10,3 (0,3)	13,3 (0,5)	11,7 (0,5)	1,0 (0,0)	13,5 (0,1)	2,2 (0,1)	12,8 (0,0)
4 (sector Santa Clara)	4,4 (0,2)	4,8 (0,1)	7,2 (1,1)	2,7 (0,1)	6,1 (0,6)	2,9 (0,0)	5,8 (0,5)
5 (sector Punucapa)	10,9 (0,9)	15,2 (0,0)	14,6 (0,4)	5,9 (0,1)	16,7 (0,0)	16,7 (1,2)	8,8 (0,8)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)							
6 (río Pichoy)	4,2 (0,2)	3,6 (0,1)	9,8 (0,1)	1,9 (0,0)	12,1 (0,2)	2,6 (0,5)	3,0 (0,0)
7 (río Cayumapu)	9,1 (0,2)	10,2 (0,2)	11,2 (0,2)	1,1 (0,2)	11,4 (0,4)	10,6 (0,2)	9,9 (0,3)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)							
8 (río Calle Calle)	4,1 (0,1)	5,1 (0,1)	4,7 (0,4)	3,9 (0,1)	11,4 (1,0)	6,1 (0,5)	3,7 (0,2)

Tabla 4.1.2.27. Concentraciones de Mercurio en los sedimentos del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

	Mercurio (µg/g)			
estaciones	**2014**		**2015**	**2016**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,01 (0,001)	0,01 (0,000)	*	0,02 (0,001)
2 (sector Rucaco)	0,08 (0,008)	0,01 (0,002)	*	0,01 (0,001)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,05 (0,001)	0,06 (0,000)	0,05 (0,001)	0,06 (0,001)
4 (sector Santa Clara)	0,01 (0,001)	0,08 (0,003)	*	0,01 (0,001)
5 (sector Punucapa)	0,04 (0,003)	0,04 (0,001)	0,06 (0,004)	0,01 (0,001)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,01 (0,001)	0,00 (0,000)	0,04 (0,004)	0,01 (0,001)
7 (río Cayumapu)	0,08 (0,001)	0,07 (0,000)	0,05 (0,004)	0,09 (0,001)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,01 (0,002)	0,02 (0,001)	0,01 (0,001)	0,01 (0,002)

Continuación Tabla 4.1.2.27.

	Mercurio (µg/g)		
estaciones	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)			
1 (sector Ciruelos)	0,01 (0,000)	0,02 (0,002)	0,01 (0,000)
2 (sector Rucaco)	0,06 (0,002)	0,05 (0,000)	0,07 (0,004)
Eje central del río Cruces (área estuarial)			
3 (sector Fuerte San Luis)	0,07 (0,000)	0,01 (0,000)	0,08 (0,002)
4 (sector Santa Clara)	0,02 (0,000)	0,01 (0,000)	0,01 (0,000)
5 (sector Punucapa)	0,06 (0,000)	0,10 (0,011)	0,06 (0,002)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)			
6 (río Pichoy)	0,04 (0,000)	0,01 (0,001)	0,01 (0,000)
7 (río Cayumapu)	0,10 (0,004)	0,09 (0,001)	0,08 (0,002)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)			
8 (río Calle Calle)	0,02 (0,001)	0,04 (0,003)	0,03 (0,001)

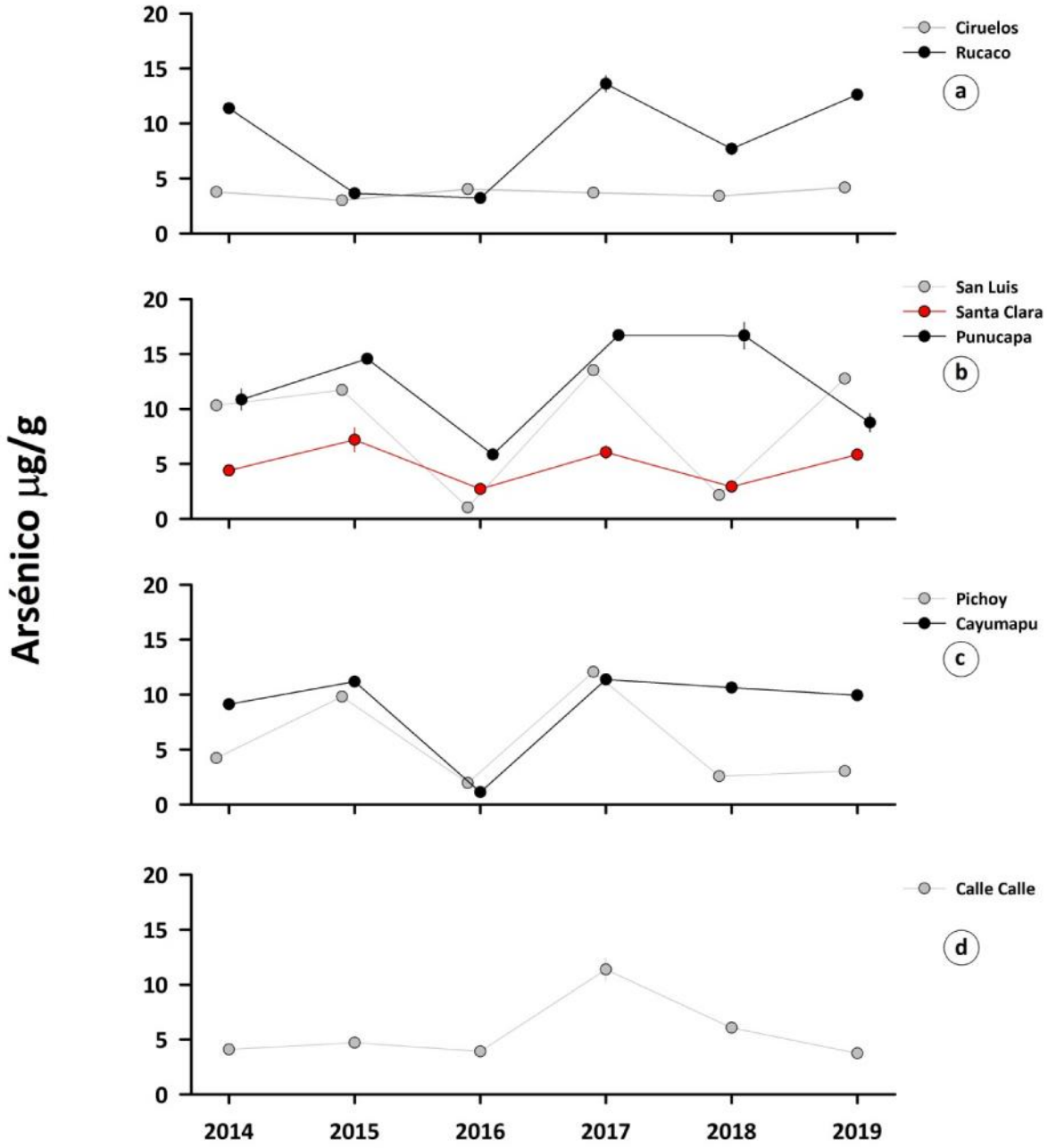


Figura 4.1.2.10. Comparación interanual de la concentración de Arsénico en los sedimentos del a) sector límnico, b) eje central del HRC, c) ríos tributarios y d) fuera del HRC.

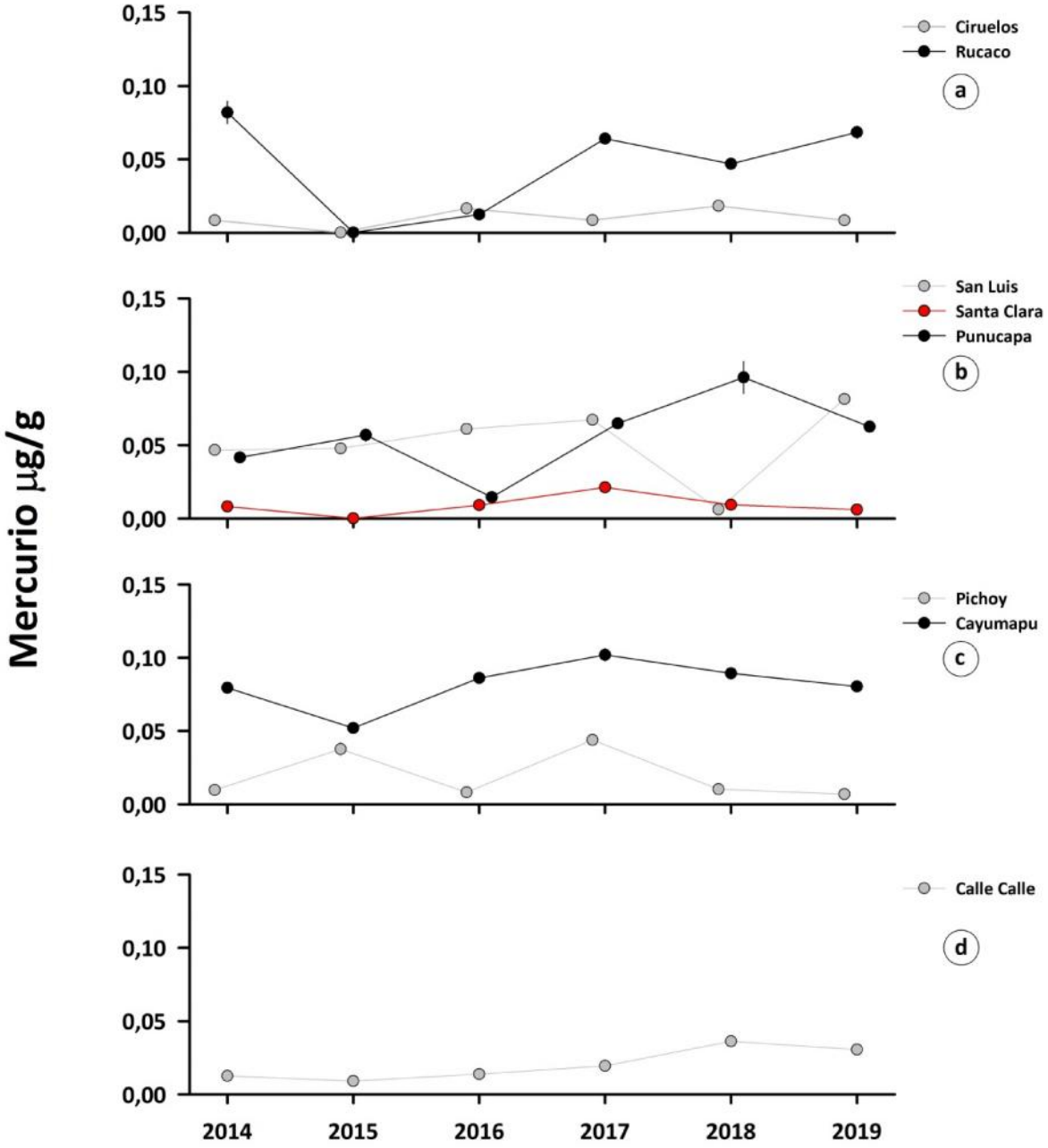


Figura 4.1.2.11. Comparación interanual de la concentración de Mercurio en los sedimentos del a) sector límnico, b) eje central del HRC, c) ríos tributarios y d) fuera del HRC.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.2.28 muestra la variabilidad interanual de los valores promedios de las concentraciones de Arsénico y Mercurio en los sedimentos del área de estudio, agrupados por sectores; *i.e.*, sector límnico (L), eje estuarial y central (EE), ríos tributarios (T) y fuera del humedal del río Cruces (F).

Tabla 4.1.2.28. Variabilidad interanual (2014-2019) de las concentraciones de Arsénico y Mercurio en los sedimentos del área de estudio. L = sector límnico; EE = eje estuarial y central; T = ríos tributarios y F = fuera del humedal del río Cruces.

	Arsénico (µg/g)				**Mercurio (µg/g)**			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	7,6	8,5	6,7	4,1	0,044	0,029	0,040	0,010
abril 2015	3,3	11,2	10,5	4,7	0,040	0,050	0,050	0,010
abril 2016	3,6	3,2	1,5	3,9	0,014	0,028	0,047	0,014
abril 2017	8,7	12,1	11,8	11,4	0,036	0,051	0,073	0,019
abril 2018	5,5	7,3	6,6	6,1	0,033	0,024	0,050	0,036
abril 2019	8,4	9,1	6,5	3,7	0,038	0,050	0,044	0,031

Los resultados del ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey, evidenciaron que las concentraciones de Arsénico difieren ($p<0,05$) entre años; aquellas detectadas el año 2017 fueron más altas que las registradas durante los otros años (Tabla 4.1.2.29), particularmente en el sector Punucapa, en el eje central del HRC. Igualmente, a lo detectado en el Arsénico, las concentraciones de Mercurio fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2017, sin embargo, estas concentraciones fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en los sedimentos de los ríos tributarios particularmente en el río Cayumapu (Tabla 4.1.2.29).

Tabla 4.1.2.29. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en la concentración de Arsénico (As) y Mercurio (Hg) en los sedimentos del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016-2017-2018-2019) y Sector (Ci=Ciruelos; Ru=Rucaco; SL=San Luis; SC=Santa Clara; Pu=Punucapa; Pi=Pichoy; Ca=Cayumapu; CC=Calle Calle). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05).

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor p	Prueba de Tukey
As (*)(***)	Año (A)	5	3,243	0,649	959,312	**<0,001**	2017>2015>2019=2014>2018>2016
	Sector (S)	7	2,106	0,301	444,873	**<0,001**	Pu>Ru=Ca>SL>CC>SC=Pi>Ci
	A × S	35	3,459	0,0988	146,150	**<0,001**	
	Error	48	0,0325	0,000676			
Hg(*)(***)	Año (A)	5	9,931	1,986	2202,101	**<0,001**	2017>2019>2018=2014>2016>2015
	Sector (S)	7	16,734	2,391	2650,473	**<0,001**	Ca>Pu>SL>CC=Ru>PI>Ci=SC
	A × S	35	21,312	0,609	675,130	**<0,001**	
	Error	48	0,0433	0,000902			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho. (*) = Datos transformados $\log_{10}$ o raíz cuadrada, (***) = No cumple los supuestos de ANDEVA.

Ácidos grasos y Ácidos resínicos

Las Tablas 4.1.2.30 y 4.1.2.31 y Figura 4.1.2.12 muestran las concentraciones de Ácidos grasos y Ácidos resínicos, registradas en los sedimentos del área de estudio, durante las campañas realizadas en abril entre los años 2014 y 2019. A la fecha no se han detectado Ácidos resínicos en los sedimentos del área de estudio

Tabla 4.1.2.30. Concentraciones de Ácidos grasos en los sedimentos del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Ácidos grasos (µg/g)			
estaciones	**2014**		**2015**	**2016**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	52,2 (5,5)	2,0 (0,0)	4,9 (0,5)	0,6 (0,0)
2 (sector Rucaco)	532,7 (27,6)	11,0 (1,0)	6,1 (1,5)	1,5 (0,4)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	101,4 (9,6)	25,0 (3,0)	12,7 (0,6)	5,2 (0,3)
4 (sector Santa Clara)	275,8 (35,8)	14,0 (3,0)	7,6 (0,1)	1,1 (0,0)
5 (sector Punucapa)	312,8 (56,3)	6,0 (1,0)	8,5 (1,6)	1,2 (0,3)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	216,5 (28,1)	1,0 (0,0)	6,8 (2,1)	0,8 (0,4)
7 (río Cayumapu)	346,5 (9,8)	16,0 (3,0)	64,5 (0,4)	26,0 (3,3)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	474,9 (57,7)	8,0 (2,0)	32,4 (2,1)	1,4 (0,3)

Continuación Tabla 4.1.2.30.

	Ácidos grasos (µg/g)		
estaciones	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**julio**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)			
1 (sector Ciruelos)	0,9 (0,0)	0,3 (0,0)	1,9 (0,4)
2 (sector Rucaco)	1,0 (0,1)	4,4 (0,1)	20,7 (1,6)
Eje central del río Cruces (área estuarial)			
3 (sector Fuerte San Luis)	5,2 (1,0)	0,4 (0,1)	3,9 (0,9)
4 (sector Santa Clara)	2,9 (0,2)	0,6 (0,0)	0,5 (0,1)
5 (sector Punucapa)	1,9 (0,2)	4,9 (0,1)	10,2 (1,0)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)			
6 (río Pichoy)	1,8 (0,6)	3,4 (0,9)	1,0 (0,2)
7 (río Cayumapu)	22,3 (0,7)	16,3 (0,6)	15,5 (1,2)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)			
8 (río Calle Calle)	1,2 (0,2)	4,2 (0,9)	1,6 (0,5)

Tabla 4.1.2.31. Concentraciones de Ácidos resínicos contenidos en los sedimentos del área de estudio. * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

	Ácidos resínicos (µg/g)						
estaciones	**2014**		**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)							
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)							
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)							
6 (río Pichoy)	*	*	*	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	*	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)							
8 (río Calle Calle)	*	*	*	*	*	*	*

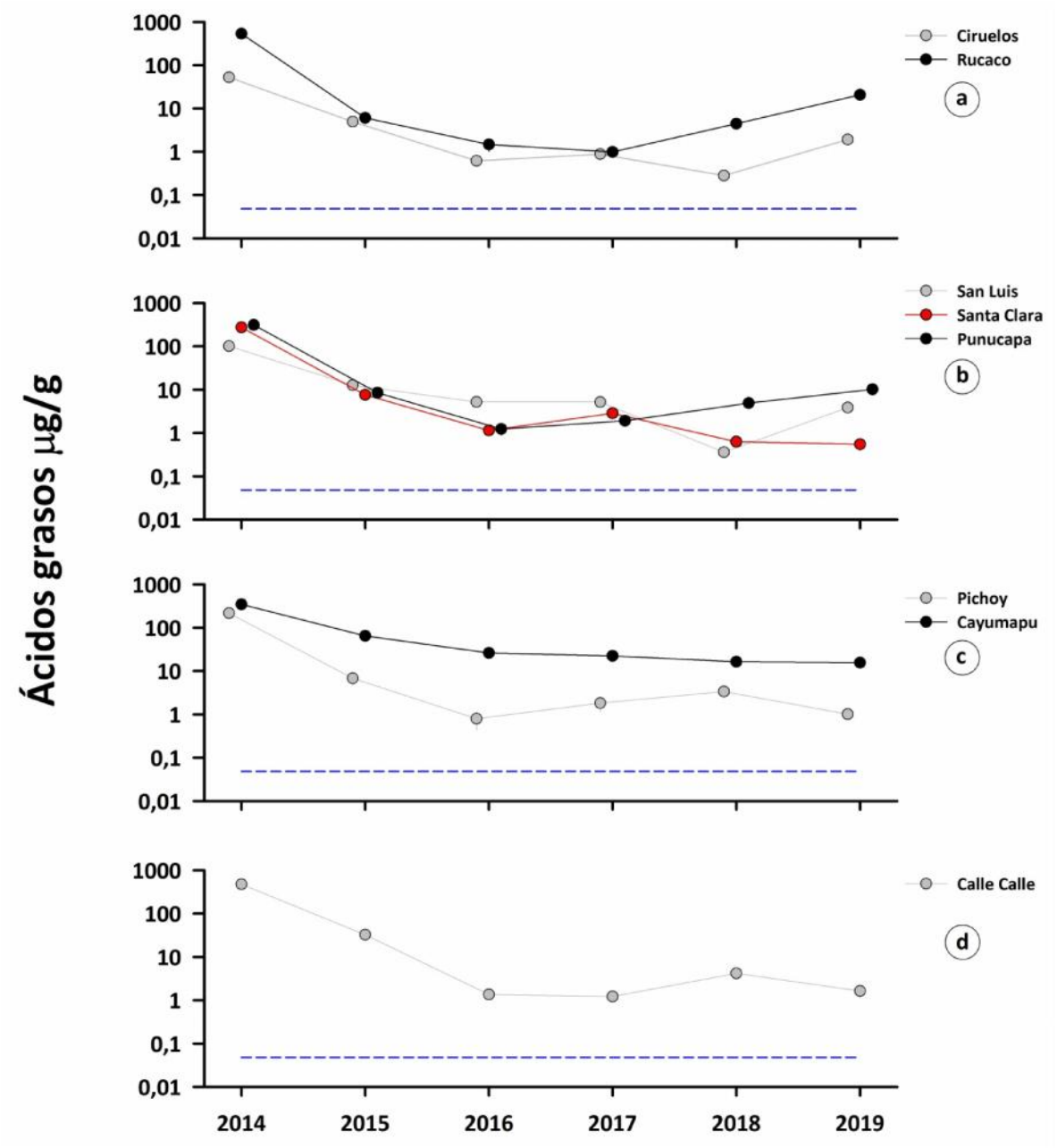


Figura 4.1.2.12. Comparación interanual de la concentración de Ácidos grasos en los sedimentos del a) sector límnico, b) eje central del HRC, c) ríos tributarios y d) fuera del HRC. La línea punteada azul hace referencia al límite de detección del método utilizado para Ácidos grasos.

AOX y EOX

Las Tablas 4.1.2.32 y 4.1.2.33 y Figura 4.1.2.13 muestran las concentraciones de AOX y EOX registradas en los sedimentos del área de estudio, durante las campañas realizadas en abril entre los años 2014 y 2019.

Tabla 4.1.2.32. Concentraciones de AOX en los sedimentos del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	AOX (µg/g)			
Estaciones	**2014**		**2015**	**2016**
	abril	**julio**	**abril**	**Abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	17,4 (0,8)	22,9 (3,2)	23,6 (3,8)	25,1 (5,8)
2 (sector Rucaco)	174,9 (16,0)	61,9 (0,6)	35,8 (6,1)	33,7 (6,8)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	46,6 (6,5)	76,7 (0,6)	67,0 (1,8)	48,5 (2,5)
4 (sector Santa Clara)	33,1 (1,9)	24,2 (0,1)	35,7 (3,3)	25,1 (4,9)
5 (sector Punucapa)	25,1 (1,7)	24,4 (2,7)	60,4 (0,6)	26,0 (3,2)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	10,4 (0,9)	8,6 (0,0)	25,9 (3,2)	12,8 (4,1)
7 (río Cayumapu)	67,0 (5,9)	59,2 (2,6)	121,5 (0,1)	87,7 (4,6)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	47,2 (2,1)	69,5 (7,6)	64,2 (3,9)	32,2 (2,6)

Continuación Tabla 4.1.2.32.

estaciones	2017	2018	2019
	abril	abril	abril
Eje central del río Cruces (sector límnico)			
1 (sector Ciruelos)	16,9 (0,3)	20,6 (2,3)	20,9 (4,7)
2 (sector Rucaco)	105,3 (7,0)	63,0 (5,3)	53,5 (5,8)
Eje central del río Cruces (área estuarial)			
3 (sector Fuerte San Luis)	52,8 (3,2)	43,4 (2,8)	25,7 (4,6)
4 (sector Santa Clara)	22,6 (2,6)	29,3 (0,3)	32,1 (1,2)
5 (sector Punucapa)	27,6 (1,6)	28,2 (2,6)	29,4 (2,7)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)			
6 (río Pichoy)	14,6 (0,6)	22,5 (3,3)	18,1 (1,6)
7 (río Cayumapu)	88,6 (1,1)	66,6 (5,6)	36,0 (3,9)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)			
8 (río Calle Calle)	47,9 (0,6)	63,8 (0,5)	47,3 (6,1)

Tabla 4.1.2.33. Concentraciones de EOX (haluros orgánicos extraíbles) en los sedimentos del área de estudio. * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

	EOX (µg/g)						
estaciones	**2014**		**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)							
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	*	*	*	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	*	*	*	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)							
3 (sector Fuerte San Luis)	*	*	*	*	*	*	*
4 (sector Santa Clara)	*	*	*	*	*	*	*
5 (sector Punucapa)	*	*	*	*	*	*	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)							
6 (río Pichoy)	*	*	*	*	*	*	*
7 (río Cayumapu)	*	*	*	0,13 (0,02)	*	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)							
8 (río Calle Calle)	*	*	*	*	*	*	*

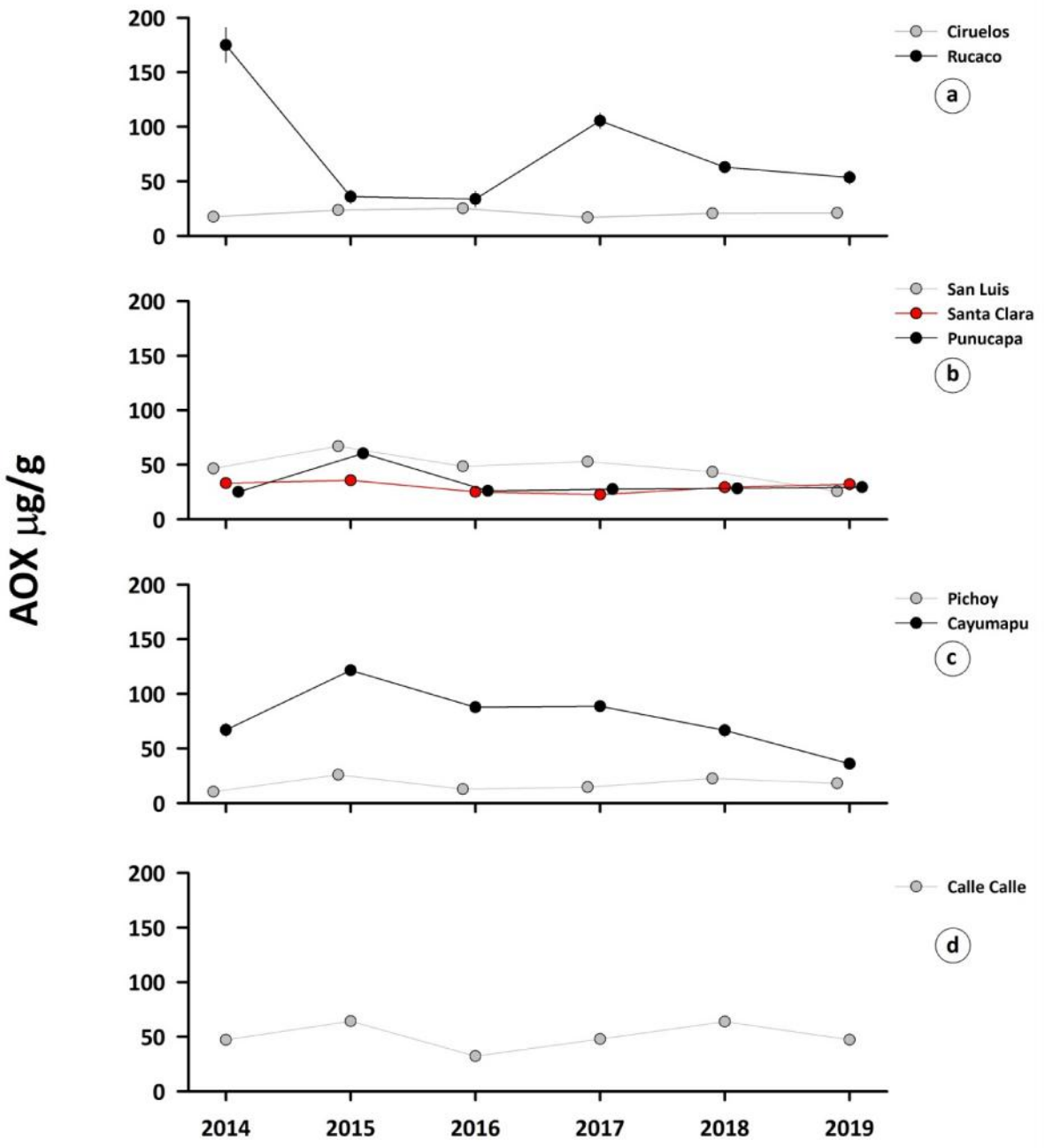


Figura 4.1.2.13. Comparación interanual de las concentraciones de AOX en los sedimentos del a) sector límnico, b) eje central del HRC, c) ríos tributarios y d) fuera del HRC.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.2.34 muestra la variabilidad interanual de los valores promedios de las concentraciones de Ácidos grasos y AOX en los sedimentos del área de estudio, agrupados

por sectores; *i.e.*, sector límnico (L), eje estuarial y central (EE), ríos tributarios (T) y fuera del humedal del río Cruces (F).

Tabla 4.1.2.34. Variabilidad interanual (2014-2019) de las concentraciones de Ácidos grasos y compuestos Halogenados Adsorbibles (AOX) en los sedimentos del área de estudio: L = sector límnico; EE = eje estuarial y central; T = ríos tributarios y F = fuera del humedal del río Cruces.

	Ácidos grasos (µg/L)				**AOX (µg/L)**			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	292,5	230,0	281,5	475,0	96,2	34,9	38,7	47,2
abril 2015	5,5	9,6	35,7	32,4	29,7	54,4	73,7	64,2
abril 2016	1,0	2,5	13,4	1,4	29,4	33,2	50,2	32,2
abril 2017	0,9	3,3	12,0	1,2	61,1	34,3	51,6	47,9
abril 2018	2,4	2,0	9,8	4,2	41,8	33,7	44,6	63,8
abril 2019	11,3	4,9	8,3	1,6	37,2	29,1	27,1	47,3

Los resultados de los análisis de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey, indican que las concentraciones de Ácidos grasos fueron significativamente ($p<0,05$) más altas durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (Tabla 4.1.2.35), particularmente ($p<0,05$) en el río Cayumapu, tributario del HRC.

Por otra parte, las concentraciones de AOX en los sedimentos fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2015, a su vez estas concentraciones difieren entre sectores, donde Rucaco y río Cayumapu presentaron altas ($p<0,05$) concentraciones de este metal, con respecto a otras estaciones del área de estudio (Tabla 4.1.2.35).

Tabla 4.1.2.35. Resumen del ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey, para evaluar diferencias en las concentraciones de Ácidos grasos y Compuestos Halogenados Adsorbibles (AOX) en los sedimentos del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016-2017-2018-2019) y Sector (Ci=Ciruelos; Ru=Rucaco; SL=San Luis; SC=Santa Clara; Pu=Punucapa; Pi=Pichoy; Ca=Cayumapu; CC=Calle Calle). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05).

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor p	Prueba de Tukey
Ác. Grasos	Año (A)	5	2644,296	528,859	3075,666	**<0,001**	2014>2015>2019>2017=2018=2016
(*)(***)	Sector (S)	7	220,402	31,486	183,112	**<0,001**	Ca>Ru=CC>Pu>SC=SL=Pi>Ci
	A × S	35	351,384	10,040	58,387	**<0,001**	
	Error	48	8,254	0,172			
AOX (*)(**)	Año (A)	5	23,755	4,751	47,190	**<0,001**	2015>2014=2017=2018>2016>2019
	Sector (S)	7	241,033	34,433	342,015	**<0,001**	Ru=Ca>CC=SL>Pu=SC>Ci>Pi
	A × S	35	123,887	3,540	35,158	**<0,001**	
	Error	48	4,833	0,101			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho. (*) = Datos transformados $\log_{10}$ o raíz cuadrada, (**) = Cumple al menos un supuesto de ANDEVA (***) = No cumple los supuestos de ANDEVA.

Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos

El contenido de estos compuestos se expresa como la suma de los congéneres individuales analizados, *i.e*., 7 Dioxinas y 10 Furanos. Por otra parte, los Equivalentes Tóxicos totales son la suma de los 17 congéneres, multiplicados por el factor equivalente respectivo utilizando los factores equivalentes de peces, según lo sugerido en las directrices establecidas en la Guía Provisoria de Calidad de Sedimentos (ISQG en inglés). Estas fueron propuestas por el Consejo Canadiense de Ministros del Ambiente (CCME en inglés) en el año 2001 y son actualmente utilizadas para definir el riesgo toxicológico de una muestra de sedimento.

Durante la última campaña realizada en abril del año 2019 se detectó la Dioxina 2.3.7.8-TCDD en los sedimentos del río Calle Calle y la dioxina 1.2.3.7.8-PeCDD en los

sedimentos del sector Rucaco, esta última ha sido detectada anteriormente en otros sectores del HRC (Fig. 4.1.2.17).

Las Tablas 4.1.2.36 a 4.1.2.38 y Figura 4.1.2.14 a la 4.1.2.16 muestran los resultados de los análisis de Dioxinas, Furanos y su expresión en Equivalentes Tóxicos contenidos en los sedimentos del área de estudio, durante las campañas realizadas en abril entre los años 2014 y 2019.

Tabla 4.1.2.36. Concentraciones de Dioxinas en los sedimentos del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Dioxinas (ng/g)		
estaciones	**2014**		**2015**
	abril	**julio**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)			
1 (sector Ciruelos)	0,004 (0,001)	0,002 (0,002)	0,016 (0,010)
2 (sector Rucaco)	0,083 (0,005)	0,019 (0,000)	0,004 (0,001)
Eje central del río Cruces (área estuarial)			
3 (sector Fuerte San Luis)	0,198 (0,016)	0,125 (0,007)	0,182 (0,009)
4 (sector Santa Clara)	0,004 (0,001)	0,011 (0,001)	0,003 (0,001)
5 (sector Punucapa)	0,013 (0,002)	0,014 (0,001)	0,011 (0,001)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)			
6 (río Pichoy)	0,006 (0,001)	0,003 (0,001)	0,007 (0,001)
7 (río Cayumapu)	0,078 (0,002)	0,016 (0,001)	0,004 (0,000)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)			
8 (río Calle Calle)	0,002 (0,002)	0,012 (0,001)	0,013 (0,002)

Continuación Tabla 4.1.2.36.

	Dioxinas (ng/g)			
Estaciones	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,004 (0,000)	0,003 (0,000)	0,016 (0,017)	0,003 (0,001)
2 (sector Rucaco)	0,008 (0,000)	0,001 (0,000)	0,016 (0,019)	0,052 (0,002)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,397 (0,049)	0,490 (0,035)	0,002 (0,001)	0,003 (0,001)
4 (sector Santa Clara)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	0,004 (0,000)	0,025 (0,032)
5 (sector Punucapa)	0,002 (0,000)	0,018 (0,000)	0,044 (0,024)	0,021 (0,002)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	0,029 (0,002)	0,046 (0,001)
7 (río Cayumapu)	0,083 (0,004)	0,108 (0,010)	0,125 (0,001)	0,029 (0,037)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,003 (0,001)	0,009 (0,005)	0,020 (0,001)	0,003 (0,000)

Tabla 4.1.2.37. Concentraciones de Furanos en los sedimentos del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Furanos (ng/g)		
estaciones	**2014**		**2015**
	abril	**julio**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)			
1 (sector Ciruelos)	0,0004 (0,0001)	0,0003 (0,0002)	0,0015 (0,0005)
2 (sector Rucaco)	0,0077 (0,0004)	0,0019 (0,0004)	0,0009 (0,0001)
Eje central del río Cruces (área estuarial)			
3 (sector Fuerte San Luis)	0,0170 (0,0003)	0,0103 (0,0002)	0,0150 (0,0004)
4 (sector Santa Clara)	0,0006 (0,0002)	0,0007 (0,0000)	0,0004 (0,0000)
5 (sector Punucapa)	0,0004 (0,0000)	0,0004 (0,0000)	0,0003 (0,0000)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)			
6 (río Pichoy)	0,0004 (0,0001)	0,0001 (0,0001)	0,0006 (0,0004)
7 (río Cayumapu)	0,0025 (0,0004)	0,0011 (0,0000)	0,0018 (0,0020)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)			
8 (río Calle Calle)	0,0002 (0,0002)	0,0005 (0,0000)	0,0007 (0,0001)

Continuación Tabla 4.1.2.37.

	Furanos (ng/g)			
estaciones	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,0003 (0,0001)	0,0002 (0,0000)	0,0004 (0,0004)	0,0005 (0,0005)
2 (sector Rucaco)	0,0006 (0,0001)	0,0002 (0,0000)	0,0012 (0,0017)	0,0064 (0,0023)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,0246 (0,0033)	0,0246 (0,0022)	0,0009 (0,0009)	0,0004 (0,0003)
4 (sector Santa Clara)	0,0001 (0,0001)	0,0000 (0,0000)	0,0006 (0,0001)	0,0026 (0,0030)
5 (sector Punucapa)	0,0002 (0,0002)	0,0007 (0,0001)	0,0009 (0,0004)	0,0009 (0,0007)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,0002 (0,0003)	0,0000 (0,0000)	0,0006 (0,0000)	0,0039 (0,0001)
7 (río Cayumapu)	0,0066 (0,0003)	0,0023 (0,0007)	0,0105 (0,0009)	0,0024 (0,0029)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,0006 (0,0006)	0,0005 (0,0002)	0,0010 (0,0000)	0,0008 (0,0002)

Tabla 4.1.2.38. Concentraciones de Equivalentes Tóxicos (EQTs) en los sedimentos del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	EQTs (ng/g)		
estaciones	**2014**		**2015**
	abril	**julio**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)			
1 (sector Ciruelos)	0,00002 (0,00000)	0,00006 (0,00008)	0,00007 (0,00004)
2 (sector Rucaco)	0,00051 (0,00012)	0,00016 (0,00008)	0,00002 (0,00000)
Eje central del río Cruces (área estuarial)			
3 (sector Fuerte San Luis)	0,00087 (0,00009)	0,00051 (0,00002)	0,00047 (0,00005)
4 (sector Santa Clara)	0,00002 (0,00000)	0,00031 (0,00035)	0,00001 (0,00000)
5 (sector Punucapa)	0,00011 (0,00011)	0,00004 (0,00000)	0,00004 (0,00000)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)			
6 (río Pichoy)	0,00003 (0,00002)	0,00000 (0,00000)	0,00003 (0,00002)
7 (río Cayumapu)	0,00049 (0,00005)	0,00017 (0,00008)	0,00002 (0,00001)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)			
8 (río Calle Calle)	0,00001 (0,00001)	0,00002 (0,00000)	0,00002 (0,00000)

Continuación Tabla 4.1.2.38.

	EQTs (ng/g)			
estaciones	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
	abril	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	0,00001 (0,00000)	0,00002 (0,00000)	0,00010 (0,00014)	0,00003 (0,00003)
2 (sector Rucaco)	0,00001 (0,00000)	0,00000 (0,00000)	0,00006 (0,00008)	0,00044 (0,00023)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,00096 (0,00005)	0,00081 (0,00003)	0,00005 (0,00005)	0,00000 (0,00000)
4 (sector Santa Clara)	0,00000 (0,00000)	0,00000 (0,00000)	0,00001 (0,00000)	0,00001 (0,00001)
5 (sector Punucapa)	0,00000 (0,00000)	0,00016 (0,00003)	0,00025 (0,00008)	0,00016 (0,00003)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,00001 (0,00002)	0,00000 (0,00000)	0,00028 (0,00002)	0,00003 (0,00000)
7 (río Cayumapu)	0,00050 (0,00008)	0,00031 (0,00000)	0,00055 (0,00012)	0,00002 (0,00002)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,00008 (0,00010)	0,00004 (0,00002)	0,00006 (0,00002)	0,00007 (0,00006)

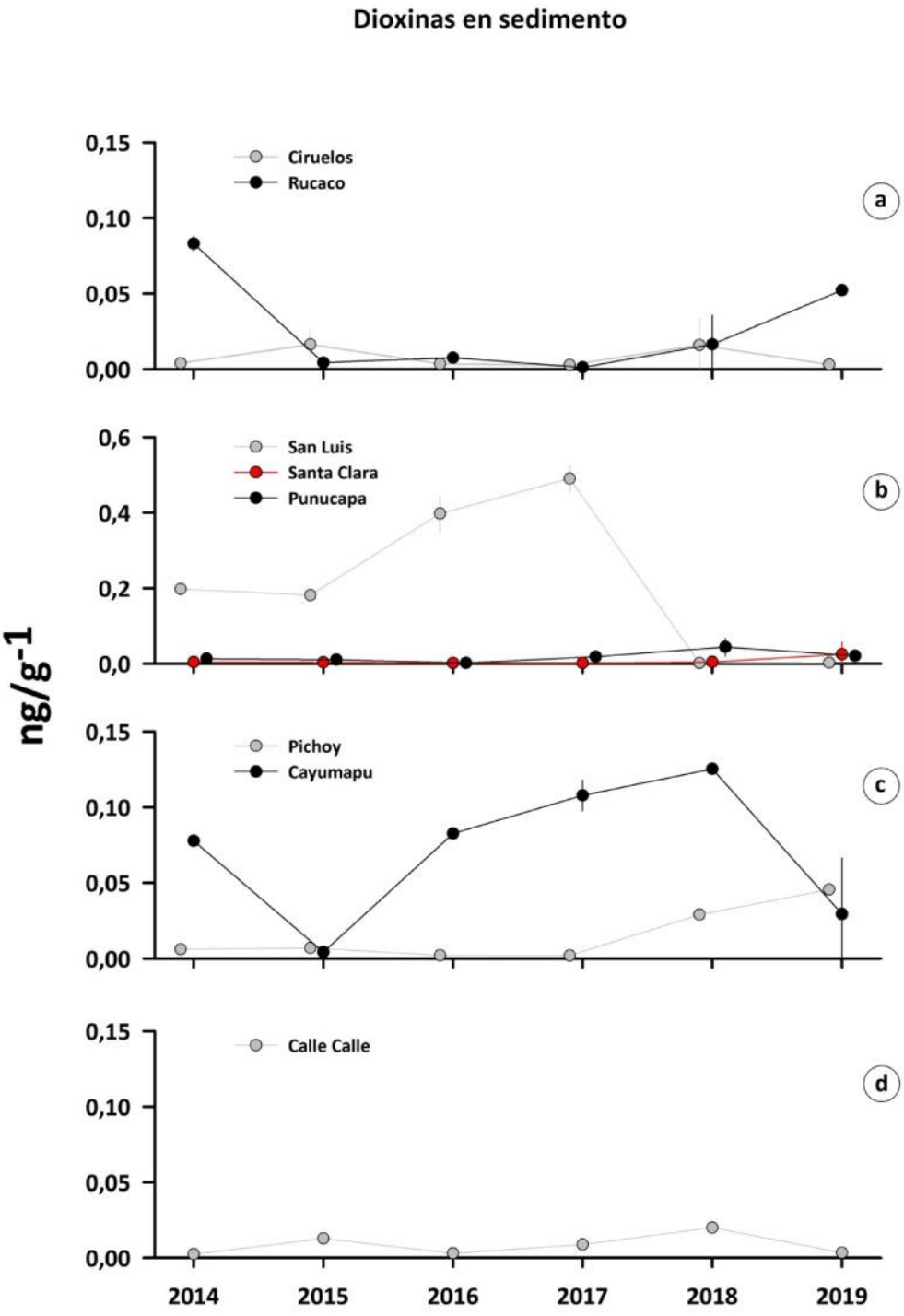


Figura 4.1.2.14. Comparación interanual de las concentraciones de Dioxinas en los sedimentos del a) sector límnico, b) eje central del HRC, c) ríos tributarios y d) fuera del HRC.

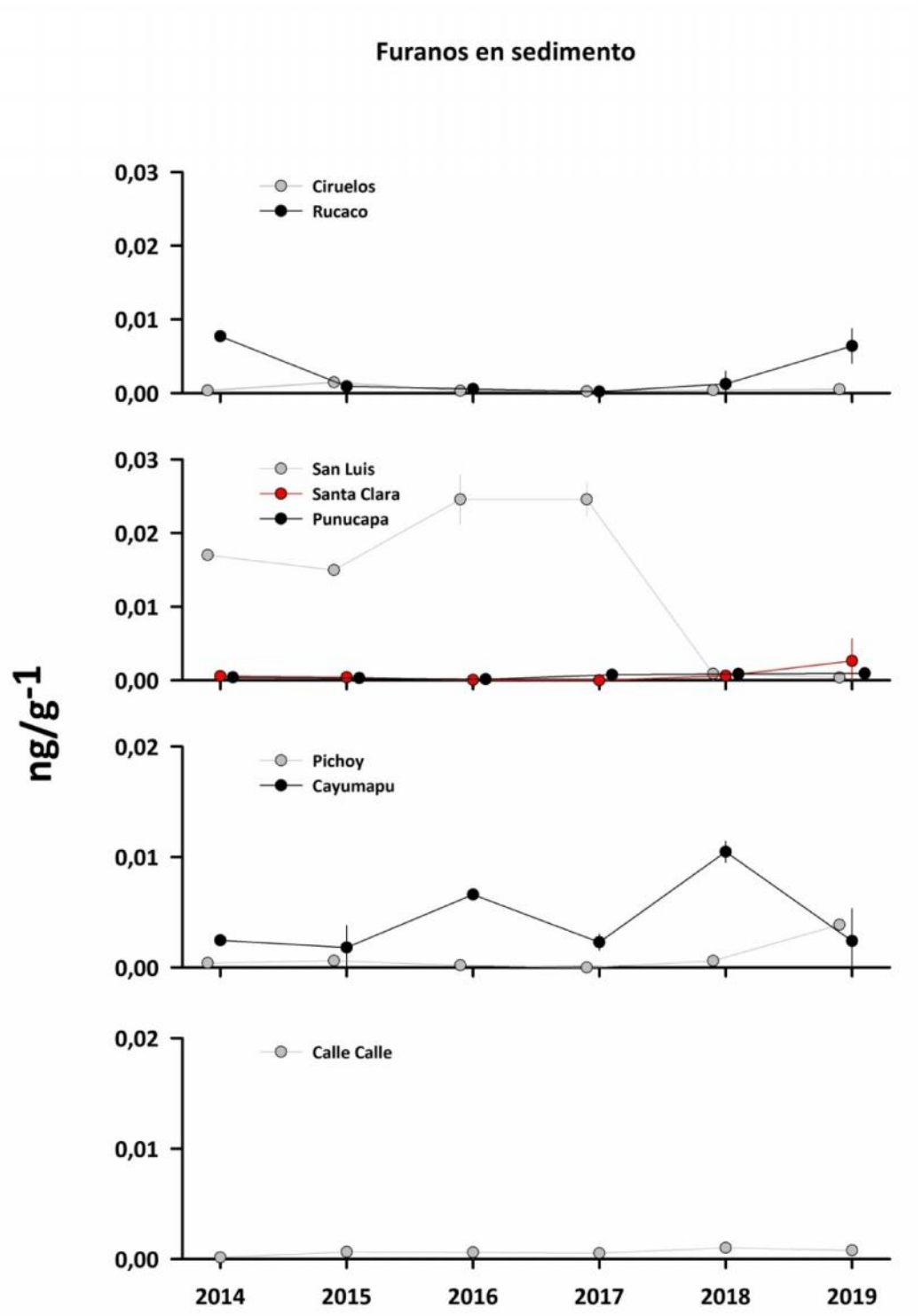


Figura 4.1.2.15. Comparación interanual de las concentraciones de Furanos en los sedimentos del a) sector límnico, b) eje central del HRC, c) ríos tributarios y d) fuera del HRC

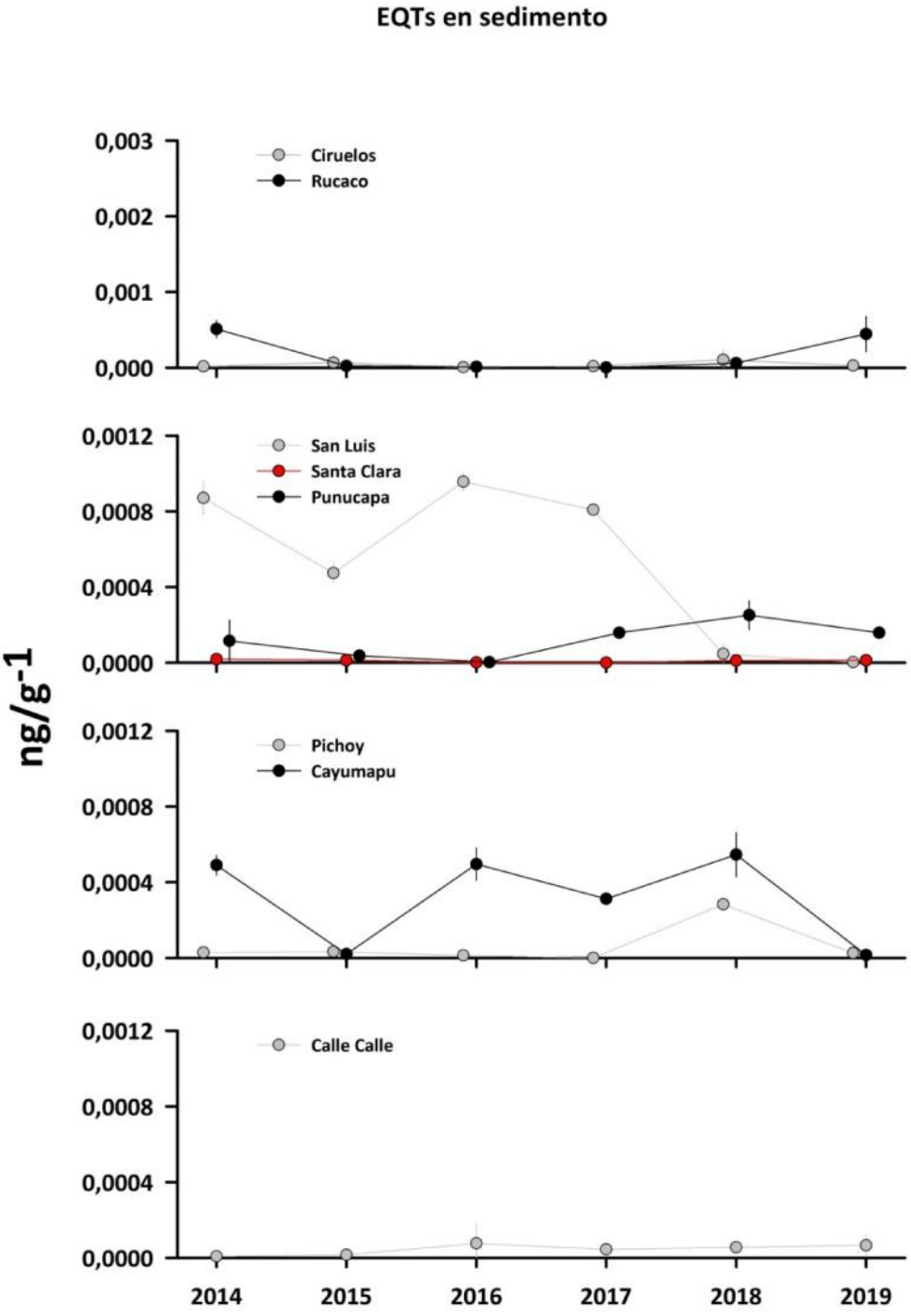


Figura 4.1.2.16. Comparación interanual de las concentraciones de EQTs en los sedimentos del a) sector límnico, b) eje central del HRC, c) ríos tributarios y d) fuera del HRC.

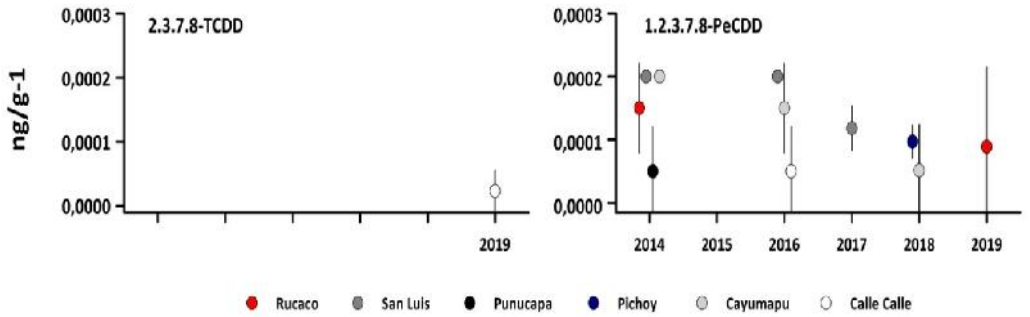


Figura 4.1.2.17. Concentración de Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y Dioxinas 1.2.3.7.8 PeCDD detectadas en los sedimentos del área de estudio.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.2.39 muestra la variabilidad interanual de los valores promedios de las concentraciones de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos en los sedimentos del área de estudio, agrupados por sectores; *i.e.*, sector límnico (L), eje estuarial y central (EE), ríos tributarios (T) y fuera del humedal del río Cruces (F).

Tabla 4.1.2.39. Variabilidad interanual (2014 -2019) de las concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQT en los sedimentos del área de estudio: L = sector límnico; EE = eje estuarial y central; T = ríos tributarios y F = fuera del humedal del río Cruces.

	Dioxinas (ng/g)				**Furanos (ng/g)**				**EQTs (ng/g)**			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	0,042	0,076	0,042	0,002	0,0041	0,0060	0,0015	0,0002	0,00061	0,00033	0,00026	0,00001
abril 2015	0,008	0,065	0,006	0,013	0,0012	0,0052	0,0014	0,0007	0,00005	0,00017	0,00004	0,00002
abril 2016	0,006	0,134	0,043	0,003	0,0005	0,0083	0,0034	0,0006	0,00001	0,00032	0,00026	0,00008
abril 2017	0,002	0,170	0,055	0,009	0,0006	0,0084	0,0012	0,0005	0,00001	0,00032	0,00016	0,00004
abril 2018	0,016	0,017	0,077	0,020	0,0008	0,0008	0,0055	0,0010	0,00008	0,00010	0,00041	0,00006
abril 2019	0,028	0,016	0,037	0,003	0,0035	0,0013	0,0031	0,0008	0,00024	0,00006	0,00002	0,00007

Los resultados de los análisis de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey, indican que las concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs fueron significativamente más altas (p<0,05) en el eje central y estuarial del HRC, particularmente en el sector San Luis. Sin embargo, solo las concentraciones de Dioxinas y EQTs presentaron diferencias interanuales significativas (p<0,05), donde el primer compuesto tuvo mayores concentraciones durante el año 2017 y el segundo durante los años 2014 y 2017 (Tabla 4.1.2.40).

Tabla 4.1.2.40 Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs en los sedimentos del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016-2017-2018-2019) y Sector (Ci=Ciruelos; Ru=Rucaco; SL=San Luis; SC=Santa Clara; Pu=Punucapa; Pi=Pichoy; Ca=Cayumapu; CC=Calle Calle). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05).

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Dioxinas (*)(***)	Sector (S)	7	0,415	0,0593	363,787	**<0,001**	SL>Ca>Ru=Pi>SC=Ci>CC
	Año (A)	5	0,0377	0,00755	46,282	**<0,001**	2017>2016>2014>2018=2019=2015
	S x A	35	0,403	0,0115	70,646	**<0,001**	
	Error	48	0,00783	0,000163			
Furanos (*)(***)	Sector (S)	7	0,0706	0,0101	79,363	**<0,001**	SL>Ca>Ru>Pi=SC=CC=Pu=Ci
	Año (A)	5	0,000983	0,000197	1,547	0,193	
	S x A	35	0,0642	0,00183	14,435	**<0,001**	
	Error	48	0,00610	0,000127			
EQTs (*)(***)	Sector (S)	7	0,00274	0,000392	56,293	**<0,001**	SL>Ca>Ru=Pu>Pi=CC=Ci>SC
	Año (A)	5	0,000338	0,0000676	9,700	**<0,001**	2014=2018>2015=2019=2017=2016
	S x A	35	0,00371	0,000106	15,238	**<0,001**	
	Error	48	0,000334	0,0000070			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho. (*) = Datos transformados $\log_{10}$ o raíz cuadrada, (***) = No cumple los supuestos de ANDEVA.

4.1.2.4. Análisis comparativos en relación con calidad de sedimentos

Debido a la no existencia de normativas de calidad ambiental para sedimentos en Chile, los resultados de este Programa de Monitoreo se comparan con datos tomados de la literatura especializada y con los resultados del Programa de Diagnóstico Ambiental obtenidos durante el año 2014.

Adicionalmente, se utilizan en esta sección los resultados de metales pesados y compuestos orgánicos (TOC, Ácidos grasos, Ácidos resínicos, AOX, EOX, Dioxinas y Furanos) obtenidos desde las muestras estratificadas de sedimentos (corer), durante noviembre de 2014 (Estudio Hidrografía, Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC). Estos resultados permiten obtener los niveles basales locales anteriores al año 2004, año en que se originaron los cambios ambientales en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

Metales pesados

Los elementos que ingresan al cauce de un río eventualmente pueden ser depositados en los sedimentos superficiales, este proceso depende principalmente del caudal, velocidad de arrastre y de la densidad de las partículas. El material sedimentado es de gran valor científico para el estudio de estos ecosistemas, debido a que en ellos se conserva un registro histórico que permite determinar la forma y cantidad de elementos depositados. En específico, la concentración de metales pesados en los sedimentos tiene estrecha relación con el tamaño de las partículas que constituyen el sedimento (*e.g*., limo, arcilla y arena) y con la cantidad de materia orgánica sedimentada, lo que afecta al equilibrio ecológico y biogeoquímico del sistema. Los compuestos y elementos acumulados en los sedimentos también pueden posteriormente ser removidos y transportados por el caudal del río, pudiendo actuar como fuentes de estos mismos compuestos o de sustancias hacia otras zonas o a otros ecosistemas conectados, tales como humedales, estuarios y zonas costeras, estos procesos están fuertemente moderados por la tasa de depositación

y degradación, además del pH y potencial Redox presente, entre otros factores (Acosta *et al.,* 2002).

Los sedimentos de los ríos, humedales y estuarios están conformados principalmente, por la fracción sedimentable orgánica y mineral de los sólidos suspendidos, y por los desechos celulares de la actividad bacteriana producidos por la oxidación de compuestos orgánicos biodegradables que ingresan al cauce por aportes naturales y antropogénicos (Bohn *et al.*, 2001). Consecuentemente, el aumento de caudal y cambios en la dinámica fluvial de los cuerpos de agua superficial pueden afectar drásticamente la configuración del lecho de estos cuerpos acuáticos, así como la distribución y composición del sedimento.

Durante el desarrollo de este Programa de Monitoreo, los metales pesados en los sedimentos presentaron el siguiente patrón en términos de concentración: Aluminio > Hierro > Manganeso > Zinc > Cobre > Arsénico > Plomo > Mercurio > Cadmio. El hecho de que el Aluminio, Hierro y Manganeso sean los metales más abundantes en los sedimentos del río Cruces y sus ríos tributarios, sugiere un origen común para los mismos; en la superficie del suelo estos metales se acumulan en forma de los siguientes agregados: i) limonita (agregado de óxidos e hidróxidos de Hierro), ii) bauxita (agregado de óxidos e hidróxidos de Aluminio); y iii) “wad” (óxidos e hidróxidos de Manganeso) (Otero *et al.*, 2005). A medida que el agua lluvia (pH < 5) se filtra por los suelos (percolación) y arrastra estos minerales (óxidos e hidróxidos), estos se disuelven (lixiviado) transformándose en soluciones o material particulado fino, los cuales se depositan en el sedimento de los cauces hídricos, aportando una señal de la corteza terrestre a la matriz sedimentaria.

En promedio, Arsénico, Plomo, Mercurio y Cadmio son los metales menos abundantes en los sedimentos del área de estudio. Estos cuatro metales pesados son considerados los de mayor preocupación debido a su alta toxicidad en bajas concentraciones, baja solubilidad y su capacidad para ser bioacumulados en la biota o

biomagnificados en la cadena trófica. La principal fuente natural de estos metales es el vulcanismo y la erosión de los suelos, procesos que aportan estos elementos a los sistemas continentales. En este monitoreo, el Cadmio no fue detectado en ninguna de las estaciones de muestreo, a la vez que las concentraciones de Mercurio se encuentran para todas las estaciones bajo el rango informado para suelos continentales por Chester (2000). El Arsénico presenta un rango de 1,6 a 6,0 ug/g para suelos continentales (sensu, Chester, 2000; Tratado de Geoquímica), lo que evidencia que los sedimentos 7 de las 16 estaciones evaluadas durante el 2019 en el río Cruces presentan concentraciones sobre el rango comparado, con concentraciones máximas en la estación E-3 (12,8 ± 0,01 µg/g), lo que equivale a un 113% por sobre el rango informado por Chester, evidenciando un enriquecimiento de este metal para los sedimentos evaluados durante 2019. Como patrón general, se observa que la estación E-3 presenta las mayores concentraciones para Fe, Mn, Cu, As y Hg, condición que podría indicar que este aumento en las concentraciones de metales para esta estación es producto de una zona con mayor depositación de solidos desde la columna de agua, donde predomina el grano fino y por lo tanto las señales naturales de aportes naturales se ven incrementadas.

Para evaluar los efectos adversos que podrían generar los sedimentos las concentraciones de compuestos o elementos sobre los organismos acuáticos, se utiliza de manera referencial la Guía de Calidad de Sedimentos de Canadá (SQG) basada en los estudios de Long *et al*. (1995) y MacDonald *et al.* (2000). La SQG establece valores de referencia, que permiten establecer la presencia de efectos de rango bajo (ERL) y efecto de rango medio (ERM), de los cuales se derivan tres categorías de efectos biológicos adversos: raramente observados (concentración < ERL), ocasionalmente observados (concentración entre ERL y ERM) y frecuentemente observados (concentración > ERM). La Tabla 4.1.2.41 incorpora los valores de ERL y ERM; según esta clasificación, el contenido de Zinc, Plomo, Cadmio y Mercurio raramente generarían efectos adversos en los organismos, en tanto que, el Cobre presenta concentraciones que podrían generar efectos en los sectores del eje central (EC) y el Arsénico podría generar efectos en los sectores límnico y eje central. Sin

embargo, estas comparaciones son solo referenciales, ya que los criterios de calidad de los sedimentos (Long *et al.,* 1995), hacen referencia a sedimentos cuyo origen y dinámica pueden ser distintos a los del área estudiada en este Programa de Monitoreo.

Tabla 4.1.2.41. Cuadro comparativo de los valores de concentración de parámetros medidos en los sedimentos del área de estudio durante el año 2019. L = sector límnico del HRC, EE = eje estuarial del río Cruces, T = ríos tributarios del humedal, F = fuera del humedal del río Cruces.

parámetros		unidad	Programa de Monitoreo 2019				criterios de calidad de los sedimentos (Long et al., 1995)		rango		referencias
			L	EE	T	F	ERL	ERM	Min	Max	
	COT	%	4,2	2,8	3,0	0,7	-	-	0,1	5,4	Nassm Malik *et al*., 2014
metales disueltos	Fe	µg/g	40410	35021	30455	30894	-	-	40000	41700	Chester, 2000 / Tratado Geoquímica
	Al	µg/g	40350	46725	47196	32682	-	-	71000	78300	Chester, 2000 / Tratado Geoquímica
	Mn	µg/g	726	907	681	302	-	-	7700	10000	Chester, 2000 / Tratado Geoquímica
	Cu	µg/g	34	37	31	22	34	270	30	39	Chester, 2000 / Tratado Geoquímica
	Zn	µg/g	82	60	52	54	150	410	67	90	Chester, 2000 / Tratado Geoquímica
	Pb	µg/g	BLD	BLD	9,2	BLD	47	218	17	35	Chester, 2000 / Tratado Geoquímica
	Cd	µg/g	BLD	BLD	BLD	BLD	1,2	9,6	0,1	0,35	Chester, 2000 / Tratado Geoquímica
	As	µg/g	8,4	9,1	6,5	3,7	8,2	70	1,6	6	Chester, 2000 / Tratado Geoquímica
	Hg	µg/g	0,04	0,05	0,04	0,03	0,15	0,71	-	0,08	Tratado Geoquímica
Comp. orgánicos	Ac. Grasos	µg/g	11,3	4,9	8,3	1,6	-	-	9,9	29,7	Brewer *et al* 1998
	Ac. Resínicos	µg/g	BLD	BLD	BLD	BLD	-	-	0,24	0,79	Brewer *et al* 1998
	AOX	µg/g	37,2	29,1	27,1	47,3	-	-	5,6	231,4	Palm & Lammi, 1995
	EOX	µg/g	BLD	BLD	BLD	BLD	-	-	0,25	70,62	Palm & Lammi, 1995
	Dioxinas	ng/g	0,02761	0,01612	0,03748	0,00340	-	-	0,00005	3,44	National Dioxins Program, 2004
	Furanos	ng/g	0,00346	0,00132	0,00313	0,00078	-	-	0,00006	0,51	National Dioxins Program, 2004
	EQTs	ng/g	0,00024	0,00006	0,00002	0,00007	-	-	0,00004	0,03	National Dioxins Program, 2004

Índices de Calidad de los sedimentos

Para establecer la calidad de los sedimentos y obtener una visión amplia del valor ambiental que tienen las concentraciones de metales obtenida desde la matriz sedimentaria, se han comparado los resultados obtenidos durante el muestreo del año 2019 con valores de referencia preindustriales a nivel local, tal como ha sido descrito en (Chandía & Salamanca, 2012), para lo cual se realizaron los cálculos de índices. En este análisis se utilizaron las concentraciones de metales pesados y compuestos orgánicos (Ácidos Grasos y Ácidos Resínicos, AOX, EOX, Dioxinas y Furanos) obtenidos desde un corer de sedimentos desde el río Cruces, en un sitio dentro y fuera del HRC (sectores Fuerte San Luis & San Martín y Angachilla, respectivamente), durante noviembre de 2014 (Programa de Diagnóstico Ambiental).

Los valores referenciales ("background") fueron obtenidos desde la base de 2 testigos (cores o núcleos) recolectados desde el sector del eje central del río Cruces (C-1: 14 cm de sedimento) y del sector Angachilla o fuera del humedal (A-1: 24 cm de sedimento), respectivamente, durante noviembre de 2014. Las muestras fueron tratadas químicamente de igual forma que el resto de las muestras de sedimentos obtenidas en el Programa de Diagnóstico (abril y julio de 2014) y Monitoreo (abril de 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019) río Cruces. Los sedimentos de la base del corer presentan características propias del suelo vegetal previo al terremoto del año 1960 que afectó a la zona de Valdivia, lo que permite establecer que estos sedimentos son representativos de las condiciones basales, con concentraciones de elementos y compuestos presentes antes del año 1960, donde la intervención industrial era reducida.

Factor de enriquecimiento (EF)

Este índice permite evaluar el significado de la información de metales en sedimentos obtenidos de un cálculo del factor de enriquecimiento el cual se utiliza para evaluar el origen de los metales pesados en los sedimentos.

$$EF = \frac{(Me/Al)s}{(Me/Al)c}$$

Donde, (*Me*)*s* es la concentración del metal en una muestra *(s)*; (*Al*)*s* es la concentración de *Aluminio*, (*Me*)*c* es la concentración de referencia del metal y (*Al*)*c* es la concentración de referencia de *Al*. Si el valor del *EF* varía entre 0,5 y 1,5, esto sugiere que los metales trazas serían de origen natural de acuerdo a la categorización de Zhang & Liu (2002).

EF = >1, enriquecimiento promedio.

EF = <1, metal relativamente empobrecido respecto a la referencia (procesos de transformación físico/química).

EF = 1, concentración igual a la referencia.

Los resultados obtenidos del cálculo de los factores de enriquecimiento informados en la Tabla 4.1.2.42 muestran que el 64,8% de las muestras analizadas, presentan concentraciones comparables a las naturales, es decir, no se observa un enriquecimiento de los metales evaluados. El rango absoluto de los factores de enriquecimiento obtenido varió entre 0,1 a 2,3 (Tabla 4.1.2.42), 14 de las 128 muestras analizadas para los metales en sedimentos presentaron un valor de enriquecimiento mayor a 1,5 (considerado enriquecimiento de origen natural, según Zhang & Liu, 2002), respecto de los valores de comparación utilizados, lo que indica que el 89,1% de los sedimentos presentan condiciones normales y totalmente comparable con los valores obtenidos desde la base de los testigos usados como referencia.

Tabla 4.1.2.42 Factores de Enriquecimiento (FE) en los sedimentos durante la campaña de abril 2019; Programa de Monitoreo del humedal del río Cruces, i= réplica 1; ii= réplica 2.

Estación	FE	Al	As	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
1	***i***	0,5	1,0	0,8	**1,1**	0,2	**1,4**	0,0	1,0
	ii	0,5	1,0	0,9	**1,1**	0,2	**1,3**	0,0	**1,2**
2	***i***	0,9	**1,8**	0,9	**1,2**	**1,1**	**1,8**	0,0	**1,9**
	ii	0,8	**1,9**	0,9	**1,1**	**1,3**	**1,8**	0,0	**2,0**
3	***i***	**1,1**	**1,4**	0,8	0,9	**1,1**	**1,6**	0,0	**1,3**
	ii	**1,1**	**1,4**	0,9	0,9	**1,1**	**1,6**	0,0	**1,3**
4	***i***	0,6	**1,4**	0,7	0,8	**0,2**	**2,3**	0,0	**1,1**
	ii	0,6	**1,1**	0,6	0,7	**0,1**	**2,2**	0,0	0,9
5	***i***	0,7	**1,7**	0,8	0,9	**1,4**	**1,8**	0,0	0,7
	ii	0,7	**1,5**	0,8	0,8	**1,3**	**1,6**	0,0	0,7
6	***i***	0,3	**1,2**	0,8	0,9	0,3	**1,3**	0,0	0,8
	ii	0,4	1,0	0,6	0,8	0,3	**1,2**	0,0	0,7
7	***i***	1,3	1,0	0,6	0,7	0,9	**1,4**	0,8	0,9
	ii	1,2	1,0	0,7	0,7	1,0	**1,3**	0,9	1,0
8	***i***	0,6	0,8	0,7	1,0	0,8	0,8	0,0	1,3
	ii	0,5	0,8	0,7	**1,1**	0,8	0,9	0,0	1,3

Índice de Geoacumulación (I_{geo})

Otro criterio para evaluar el grado de contaminación es el Índice de Geoacumulación (I_{geo}) propuesto por Müller (1979), el cual compara las concentraciones actuales y con las pre-industriales para los metales en sedimentos.

$$I_g = \log_2\left(\frac{C_n}{1.5B_n}\right)$$

Donde C_n es la concentración medida de un metal dado en los sedimentos y B_n es la concentración de referencia del metal (n). El factor 1.5 es el factor de corrección de la matriz de referencia debido a las variaciones producto de procesos litogénicos. Para la evaluación llevada a cabo en este estudio, se utilizaron las Clases de Contaminación propuestas por Müller (1981), detalladas a continuación:

Clases de Contaminación de sedimentos:

< 0: no contaminado
0 - 1: no contaminado a levemente contaminado
1 - 2: moderadamente contaminado
2 - 3: contaminado
3 - 4: muy contaminado
4 - 5: muy fuertemente contaminado
> 5: totalmente contaminado

Los resultados obtenidos del cálculo del Índice de geo acumulación muestran que más del 96% de las determinaciones, se encuentra en el rango considerado no contaminado, y sólo 12 de las 128 muestras se pueden clasificar en el rango de "*no contaminado a levemente contaminado"* con un Igeo de > 0,1, valor muy cercano al nivel de no contaminado (Tabla 4.1.2.43). Los parámetros que están en esta categoría son el Arsénico, Manganeso y Zinc en las estaciones 2 y 3 (sectores Rucaco y San Luis), presentando un patrón espacial que indica en términos generales una mayor concentración de ellos principalmente en la estación 3, las restantes estaciones no presentan un patrón espacial o temporal claro, por lo tanto, estos resultados representan la variabilidad propia de un sistema natural altamente dinámico, como el sistema del río cruces.

Tabla 4.1.2.43. Índice de Geo acumulación (I_{geo}) en los sedimentos durante la campaña de abril 2019; Programa de Monitoreo Ambiental del humedal del río Cruces, i= réplica 1; ii= réplica 2.

Estación	I_{geo}	Al	As	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
1	***i***	-1,5	-1,6	-1,8	-1,4	-5,5	-1,1	-	-1,5
	ii	-1,5	-1,5	-1,7	-1,4	-5,4	-1,1	-	-1,3
2	***i***	-0,8	**0,0**	-1,0	-0,6	-4,7	**0,1**	-	**0,2**
	ii	-0,8	**0,1**	-1,0	-0,7	-4,8	**0,0**	-	**0,1**
3	***i***	-0,4	**0,1**	-0,6	-0,6	-4,3	**0,2**	-	-0,1
	ii	-0,4	**0,1**	-0,6	-0,6	-4,4	**0,2**	-	-0,1
4	***i***	-1,4	-1,0	-2,0	-1,8	-5,4	-0,2	-	-1,3
	ii	-1,3	-1,1	-2,0	-1,8	-5,2	-0,2	-	-1,5
5	***i***	-1,1	-0,4	-1,4	-1,3	-5,0	-0,3	-	-1,5
	ii	-1,1	-0,6	-1,5	-1,4	-5,0	-0,4	-	-1,6
6	***i***	-2,3	-2,0	-2,7	-2,4	-6,2	-1,9	-	-2,5
	ii	-2,0	-2,0	-2,7	-2,3	-5,9	-1,8	-	-2,6
7	***i***	-0,2	-0,2	-0,8	-0,8	-4,1	**0,3**	-0,6	-0,3
	ii	-0,3	-0,3	-0,9	-0,8	-4,2	**0,1**	-0,5	-0,4
8	***i***	-1,4	-1,6	-1,9	-1,3	-5,3	-1,7	-	-1,0
	ii	-1,5	-1,7	-2,0	-1,3	-5,4	-1,7	-	-1,0

Índice de carga de contaminación (PLI)

Para comparar el contenido total de metales en los diferentes sitios de muestreo, se utilizó el Índice de Carga de Contaminación por metales (Tomlinson *et al*., 1980), obtenido por la siguiente ecuación:

$PLI = (Cf1 \times Cf2 \ldots Cfn)^{1/n}$

Donde *n* es el número de metales (siete en el presente estudio) y Cf_n es el factor de contaminación. El factor de contaminación puede ser calculado desde la siguiente relación:

$$Cfn = \frac{\text{Concentración de metal en sedimentos}}{\text{Nivel de referencia del metal}}$$

PLI = < 1: ausencia de contaminantes
PLI = 1: contaminación transitoria
PLI = > 1: contaminado

Los niveles siguientes (2, 3,…, 10) indican el deterioro progresivo de los sedimentos.

Los resultados obtenidos del cálculo del Índice de Carga de Contaminación muestran que las estaciones 2, 3 y 7 (sectores de Rucaco, San Luis y río Cayumapu) presenta un valor de PLI > 1, en tanto que las restantes estaciones presentan un valor de PLI que no sobrepasa 0,83 (Tabla 4.1.2.44), de acuerdo con la categorización del Índice de Carga de Contaminación, permite establecer la ausencia de contaminación por metales pesados en los sedimentos de las estaciones analizadas a excepción de las estaciones 2, 3, y 7 que estarían presentando algún grado de contaminación, dado que están muy cercanos al valor de límite (< 1), estos resultados presentan una situación de contaminación leve y transitoria.

Tabla 4.1.2.44. Índice de Carga de Contaminación (PLI) en los sedimentos; Programa de Monitoreo de Ambiental del humedal del río Cruces 2019. i= réplica 1; ii= réplica 2.

Estación	Réplica	PLI
1	*I*	0,44
	ii	0,48
2	*i*	**1,23**
	ii	**1,21**
3	*i*	**1,36**
	ii	**1,34**
4	*i*	0,50
	ii	0,48
5	*i*	0,83
	ii	0,78
6	*i*	0,28
	ii	0,29
7	*i*	**1,27**
	ii	**1,21**
8	*i*	0,56
	ii	0,53

Ácidos Grasos

Las concentraciones de estos compuestos registradas en los sedimentos durante abril del año 2019 fueron muy variables entre sectores de muestreo (Tabla 4.1.2.30), donde el mayor valor registrado se obtuvo en la estación 2 (sector Rucaco) con una concentración de 20,7 µg g^{-1} y la menor concentración obtenida fue de 0,6 µg g^{-1} para la estación 4 (sector Santa Clara). A pesar de esta variabilidad, las concentraciones promedio por sector son muy similares a los obtenidos en abril del año 2018, pero menores en casi dos órdenes de

magnitud comparados con los valores obtenidos durante julio del año 2014 y dentro del mismo orden de magnitud que los resultados obtenidos durante abril del año 2015. Los resultados obtenidos en abril del año 2019 muestran que el sector límnico y ríos tributarios del HRC presentan la mayor concentración por sectores (11,3 y 8,3 µg g^{-1}, respectivamente). De igual forma, el sector área estuarial (río calle calle) presentó la menor concentración (1,6 µg g^{-1}). Los valores obtenidos en abril del año 2019 están dentro de rango informado para sedimentos lacustres por Brewer *et al.,* (1998).

AOX

Las concentraciones de AOX presentaron diferencias entre estaciones, debido principalmente a que las mayores concentraciones se registraron en la estación 2 ubicada en Rucaco, sector límnico. La Tabla 4.1.2.41, presenta los resultados promedio por sector muestreado en este monitoreo y el rango de concentración para AOX en sedimentos informados por Palm & Lammi (1995). De esta comparación se desprende que todos los sectores evaluados están dentro del rango de concentración de la referencia utilizada lo que sugiere que no existe un proceso de acumulación de los AOX en los sedimentos evaluados.

Dioxinas, Furanos y EQTs

Durante la campaña realizada el año 2019 se detectó la presencia de 2 de congéneres de mayor toxicidad de este grupo de compuestos clorados, en 2 muestras de sedimentos, una en la estación 8 (río Calle Calle) la cual presento 0,00005 ng/g de 2.3.7.8 – TCDD y en la estación 2 (sector Rucaco) que presento 0,00018 ng/g de 1.2.3.7.8-PeCDD, dadas las concentraciones registradas se puede establecer que la toxicidad de las muestras analizadas es baja expresada como EQTs. En términos generales, el patrón de distribución de los 17 congéneres está dominado por la OCDD y HpCDD/F (moléculas con 8 y 7 sustituciones de cloro), con concentraciones variables, pero dentro de los valores informados para los mismos congéneres en los años anteriores. El rango absoluto

registrado durante esta campaña de monitoreo es de 0,00005 a 0,00501 ng g^{-1} para Dioxinas y de 0,00004 a 0,00152 ng g^{-1} para Furanos.

En general, se detectaron Dioxinas y Furanos, en todas las muestras de sedimentos con concentraciones en el orden de decenas de ng g^{-1} y con valores en equivalentes tóxicos menores a 0,001 ng g^{-1}. La Tabla 4.1.2.41, muestra los resultados promedio por sector para el monitoreo 2019 y el rango de concentración para Dioxinas y Furanos en sedimentos informados por el National Dioxins Program (2004) de Australia. De esta comparación se observa que todos los sectores evaluados están dentro del rango de concentración para la referencia utilizada.

Factores de Enriquecimiento de Compuestos Orgánicos

Utilizando las concentraciones locales de referencia de los sedimentos del río Cruces, obtenidas desde la base de los dos testigos muestreados en noviembre 2014, en el contexto del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, se obtuvieron los factores de enriquecimiento para los compuestos orgánicos complejos (*i.e.,* Ácidos grasos, Ácidos resínicos, Compuestos Órgano-Halogenados adsorbidos (AOX), Dioxinas y Furanos) en los sedimentos del área de estudio (Tabla 4.1.2.45). Los resultados del año 2019 muestran que los Ácidos resínicos presentan concentraciones bajo el límite de detección, igual condición que los resultados obtenidos entre los años 2014 a 2018, para sedimentos superficiales, por lo cual no es posible calcular los enriquecimientos de estos parámetros.

El sector límnico (L), conformado por las estaciones 1 y 2 (sector Ciruelos y Rucaco), presenta enriquecimiento para los parámetros COT, Dioxinas y Furanos donde en promedio se observa un aumento de un 83, 77 y 147% con respecto a las concentraciones de referencia, producto principalmente de los altos valores registrados en la estación de Rucaco (Tabla 4.1.2.45).

En el sector eje estuarial (EE), conformado por las estaciones 3, 4 y 5 (sectores Fuerte San Luis, Santa Clara y Punucapa), no se presenta enriquecimiento para Ácidos grasos, AOX y Furanos (Tabla 4.1.2.45). Sin embargo, los AOX y Dioxinas se encuentran enriquecidas respecto a la referencia utilizada, con un enriquecimiento promedio de 23% y 3%, respectivamente. Este resultado puede ser efecto de lo somero que es el río en este sector y de la menor velocidad del agua que se presenta aquí, favoreciendo la retención del material particulado y en suspensión.

Los ríos tributarios (T), están conformados por las estaciones 6 y 7 (río Pichoy y río Cayumapu), en estas estaciones no presentaron enriquecimiento los parámetros Ácidos grasos y AOX (Tabla 4.1.2.45). No obstante, el COT, Dioxinas y Furanos se encuentran enriquecidos respecto a la referencia utilizada, aumentando un 33, 140 y 124%, respectivamente. El enriquecimiento de estos parámetros puede estar relacionado con otras actividades desarrolladas aguas arriba en estos ríos aportantes al humedal del río Cruces y sus ríos tributarios, lo que dado los resultados obtenidos estarían aportando materia orgánica, lo que favorecería la retención de otros compuestos orgánicos en estas estaciones, tales como las Dioxinas.

En la estación ubicada en el río Calle Calle, todos los parámetros se encuentran empobrecidos respecto a la referencia obtenida desde los testigos muestreados en noviembre 2014 (Tabla 4.1.2.45). Esto evidencia que no existe un grado de alteración o enriquecimiento respecto a la referencia utilizada.

Tabla 4.1.2.45. Factores de Enriquecimiento estimados a partir de los resultados del corer de sedimentos recolectado en el río Cruces durante noviembre 2014. L = sector límnico, EE = eje estuarial del río Cruces, T = ríos tributarios del HRC.

parámetros	unidad	Corer	Factor de Enriquecimiento (%)			
		Promedio	L	EE	T	río Calle Calle
Ác. Grasos	µg/g	14,6	-23	-67	-43	-89
Ác. Resínicos	µg/g	-	-	-	-	-
COT	%	2,3	**83**	**23**	**33**	-68
AOX	µg/g	68,2	-45	-57	-60	-31
EOX	µg/g	0,07	-	-	-	-
Dioxinas	ng/g	0,0156	**77**	**3**	**140**	-78
Furanos	ng/g	0,0014	**147**	-6	**124**	-44

4.1.2.5. Análisis históricos de los sedimentos superficiales

Como una manera de evaluar la variabilidad en las matrices y parámetros analizados desde una perspectiva multivariada, se efectuaron análisis de componentes principales (ACP) para las bases de datos de los sedimentos, considerando las campañas ejecutadas entre los años 2014 y 2019. El ACP permite reducir el set de variables a un menor número de componentes ortogonales, perdiendo la menor cantidad de información posible (Cayuela, 2011).

Los puntajes obtenidos como resultado del análisis fueron graficados mediante representaciones Biplot y clasificados espacialmente (estación de muestreo) y temporalmente (año), determinándose la existencia de diferenciación estadística entre tales reclasificaciones mediante PERMANOVA.

Adicionalmente, como una forma de detectar la existencia de tendencias temporales estadísticamente significativas, se incorporó la prueba de Mann & Kendall (Mann 1945, Kendall 1975, Gilbert 1987) de tendencia neta, cuyo propósito es evaluar

estadísticamente la existencia de una tendencia monotónica (no necesariamente lineal) ascendente o descendente de las variables de interés a lo largo del tiempo. En atención a los objetivos del monitoreo, se destacaron aquellos parámetros que mostraron tendencias ascendentes estadísticamente significativas. En estos casos, el análisis fue complementado con representaciones Boxplot por campaña de muestreo.

En la Figura 4.1.2.17 se entrega el resultado del ACP ejecutado para la totalidad de parámetros muestreados en sedimentos. En este caso, las 2 primeras componentes explican el 72% de la varianza total de la base de datos analizada. En la Figura 4.1.2.17a los puntajes han sido agrupados por estación de muestreo y en la Figura 4.1.2.17b se han agrupado por Año.

El resultado del análisis revela una alta diferenciación entre estaciones de muestreo (PERMANOVA R^2=0,54; p<0,001), observándose una segregación clara de la estación de muestreo E-3, asociada a mayores concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs, y de las estaciones de muestreo E-2 y E-7, asociadas a mayores concentraciones de la totalidad de los parámetros medidos en sedimentos (Fig. 4.1.2.17a). En este sentido, destaca particularmente E-7 con altas concentraciones y baja variabilidad temporal (elipse de menor tamaño). Al agrupar los mismos puntajes por Año (Fig. 4.1.2.17b), se observa que no existe diferenciación temporal estadísticamente significativa (PERMANOVA R^2=0,07; p=0,114), lo que indica una alta estabilidad de esta matriz ambiental.

Un análisis de tendencias de Mann y Kendall reveló que, del total de los parámetros medidos en sedimentos, no mostró tendencias ascendentes estadísticamente significativas (Tabla 4.1.2.46).

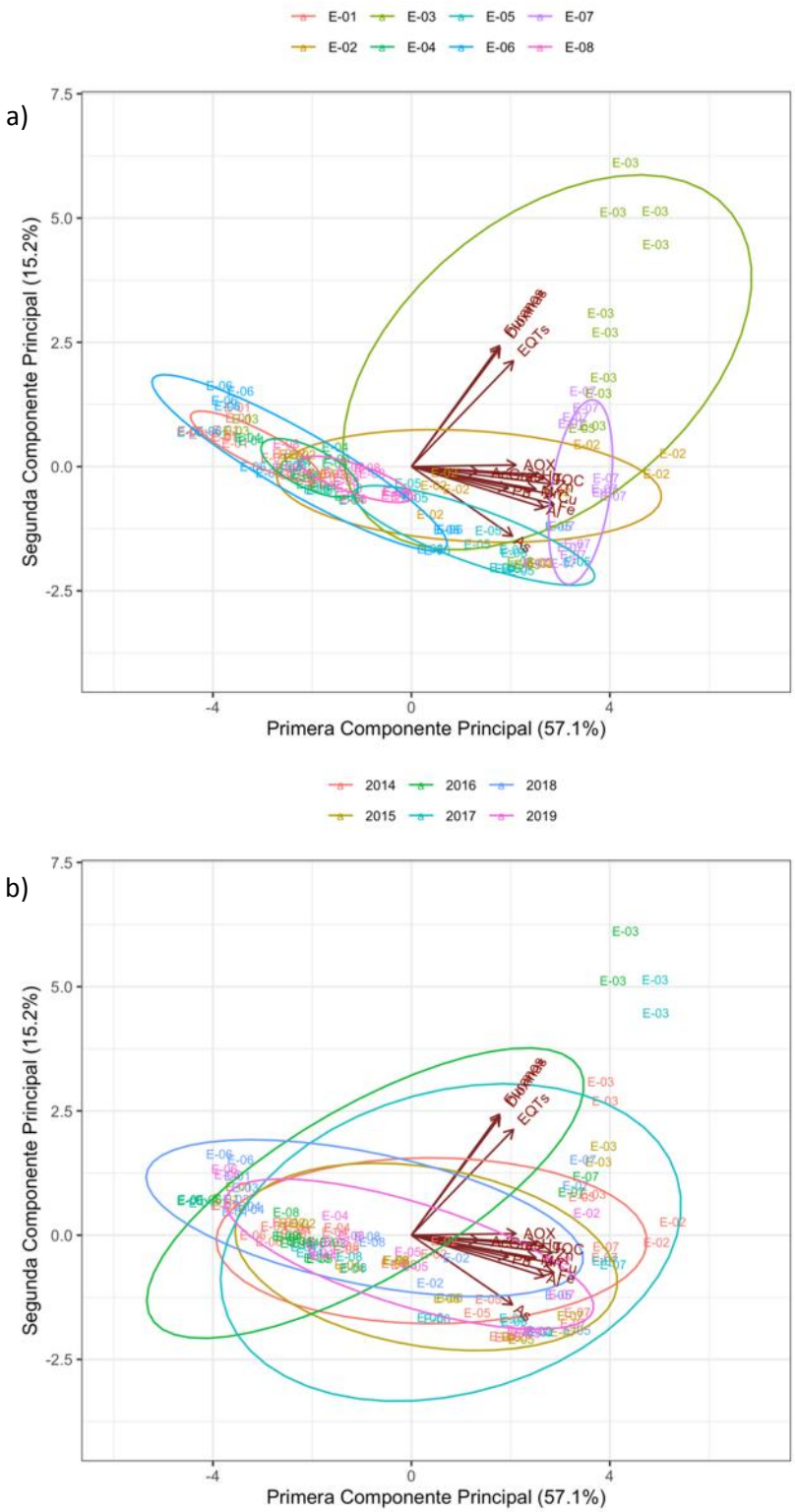


Figura 4.1.2.17. Biplot resultado del ACP para el total de parámetros analizados en sedimentos. a) puntajes agrupados por estación de muestreo; b) puntajes agrupados por Año. Los porcentajes de varianza explicada por componente se indican en los ejes X e Y.

Tabla 4.1.2.46. Resultado de la prueba de Mann y Kendall para el análisis de tendencias en parámetros medidos en sedimentos. "+" indica la existencia de una tendencia ascendente estadísticamente significativa.

Parámetro	Tau	valor-p
Al	-0,0341	0,5957
As	-0,0151	0,8151
Cd	1,0000	1,0000
Cu	0,0376	0,5580
Fe	-0,0241	0,7079
Hg	0,0646	0,3145
Mn	-0,0251	0,6967
Pb	-0,2588	0,0001
Zn	-0,0032	0,9619
AOX	-0,0354	0,5819
EOX	1,0000	1,0000
TOC	-0,0042	0,9499
AcGras	-0,3700	0,0000
AcRes	1,0000	1,0000
Dioxinas	-0,0288	0,6544
Furanos	0,0093	0,8879
EQTs	-0,0809	0,2069

4.1.2.6. Conclusiones

- No se detectaron diferencias significativas entre años y sectores para el tamaño de la partícula de arena, sin embargo, los porcentajes de grava fueron significativamente más altos ($p<0,05$) en Rucaco, pero no difieren significativamente entre años; los porcentajes de fango fueron significativamente más altos ($p<0,05$) el año 2014 y 2017, particularmente en Rucaco, Cayumapu y Punucapa. A su vez que los porcentajes de arena encontrados en los ríos tributarios (río Cayumapu) fueron significativamente más bajos ($p<0,05$) que las proporciones observadas en las otras áreas de estudio.
- Las concentraciones de agregados biogénicos, materia orgánica y carbono orgánico total en el sedimento presentaron valores significativamente más altos ($p<0,05$) en los ríos tributarios y el sector límnico, particularmente el río Cayumapu y Rucaco, respectivamente. No se observaron diferencias interanuales.
- Los valores de pH detectados durante los años 2019, 2018, 2017 y 2015 fueron significativamente más altos que los encontrados durante los años 2014 y 2016. Este parámetro no difiere significativamente ($p<0,05$) entre sectores.
- Los valores de Redox registrados en los sedimentos fueron homogéneos entre los años de estudio, no registrándose diferencias significativas. Entre sectores, los valores medidos en el sector Ciruelos fueron significativamente más altos que los registrados en San Luis y el río Calle Calle.
- Las concentraciones de Hierro (Fe), Aluminio (Al), Manganeso (Mn), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Plomo (Pb) en los sedimentos, presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) entre años, donde los valores detectados de Fe, Al y Pb fueron más bajos el año 2018 y los de Mn, Cu y Zn el año 2016. Por otra parte, las concentraciones de Arsénico (As) y Mercurio (Hg) fueron significativamente más altas ($p<0,05$) el año 2017.

- Los análisis de ANDEVA para el factor Sector mostró que las concentraciones de Fe, Mn, Cu y Zn fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en el río Cayumapu, el Al y Pb presento altas concentraciones en Cayumapu y en Punucapa.
- Por otra parte, el As y Hg presentó concentraciones significativamente más altas ($p<0,05$) el año 2017, donde el primero fue significativamente mayor en Punucapa y el Hg en Cayumapu.
- No se detectó Cadmio durante la campaña 2019.
- El Índice de Carga de Contaminación de metales indica que el contenido de estos en el área de estudio y durante el año 2019, presenta un grado de contaminación leve en las estaciones 2, 3 y 7. Esta condición es producto principalmente del aumento de los Factores de Enriquecimiento de Arsénico, Manganeso y Zinc, con un rango entre 1,1 y 2,3 veces por sobre el nivel natural local obtenido desde la base de un testigo de sedimentos recolectado el año 2014. Esta condición se presenta por primera vez en el Programa de Monitoreo Ambiental del HRC.
- Las concentraciones de Ácidos Grasos detectadas durante todo el Programa de Monitoreo fueron, significativamente más bajas ($p<0,05$) a las obtenidas durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, particularmente en el en el sector Ciruelos.
- No se detectaron Ácidos Resínicos en ninguna de las estaciones y campañas realizadas entre los años 2014 a 2019.
- Las concentraciones de AOX muestran variaciones significativas ($p>0,05$) al comparar años y sectores, donde mayores concentraciones fueron detectadas el año 2015 en los sectores de Rucaco y río Cayumapu.
- No se detectaron EOX en los sedimentos del área de estudio, con excepción del año 2016 en el sector de río Cayumapu.
- Los Factores de Enriquecimiento para los compuestos orgánicos en el sector fuera del humedal no muestran enriquecimiento para ningún parámetro.
- Las Dioxinas y EQTs presentaron diferencias significativas ($p<0,05$) al comparar las concentraciones entre años, las Dioxinas fueron más altas durante el año 2017 y los

EQTs durante los años 2014 y 2018. Sin embargo, al comparar entre sectores, los tres compuestos presentaron concentraciones significativamente más altas ($p<0,05$) en San Luis, eje central y estuarial del HRC.

- Durante este último año de monitoreo se ha detectado la presencia de la Dioxina 2,3,7,8-TCDD en los sedimentos del río Calle Calle, fuera del HRC. A su vez, durante las campañas de los años 2017, 2018 y 2019 se detectó por primera vez la presencia de la Dioxina 1,2,3,7,8 PeCDD (con el mismo nivel de toxicidad que la 2,3,7,8 TCDD) en los sedimentos del eje estuarial del río Cruces (sector San Luis), en los ríos tributarios del mismo (río Cayumapu y río Pichoy) y en los sedimentos del sector límnico, particularmente en Rucaco, respectivamente.
- Los resultados del análisis estadístico multivariado revelan que las mediciones efectuadas en los sedimentos presentan una significativa diferenciación espacial, sin observarse variaciones temporales estadísticamente significativas. En este caso, se destacaron concentraciones significativamente más altas de Dioxinas y Furanos en la estación E-3 (Fuerte San Luis, antes de la entrada al humedal) y altas concentraciones para el resto de los parámetros medidos en las estaciones E-7 (río Cayumapu) y E-2 (sector Rucaco, descarga de la planta de celulosa).

4.1.2.7. Referencias

Acosta V, Lodeiros C, Senior W, Martínez G (2002) Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. Interciencia 27(12):686-690

Anderson F, Black L, Mayer L, Watling L (1981) A temporal and spatial study of mudflat texture. Northeastern Geology 3:184-191

Bohn HL, McNeal BL, O'Connor GA (2001) Soil chemistry, 3rd edition. John Wiley & Sons Inc., New York, p 307

Brewer R, Sekela M, Sylvestre S, Tuominen T, Moyle G (1998) Contaminants in bed sediments from 15 reaches of the Fraser River basin DOE FRAP 1997-37. Aquatic and Atmospheric Sciences Division Environmental Conservation Branch, Pacific and Yukon Region, Environment Canada, Vancouver, BC, p 68-174

Cayuela L (2011) Análisis Multivariante, Área de Biodiversidad y Conservación. Universidad Rey Juan Carlos, Madrid

Chandía C, Salamanca M (2012) Long-term monitoring of heavy metals in coastal sediments of the eastern South Pacific Ocean, Chile. Marine Pollution Bulletin 64(10):2254-2260

Chester (2000) Marine geochemistry, 2nd edition. Blackwell Science Ltd., Oxford, p 506

Emery KO (1938) Rapid method of mechanical analysis of sands. Journal of Sedimentary Research 8(3):105-111

Gilbert RO (1987) Statistical methods for environmental pollution monitoring. Wiley, New York

Kendall MG (1975) Rank correlation methods, 4th edition. Charles Griffin, London
Long ED, MacDonald DD, Smith SL, Calder FD (1995) Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Environmental Management 19 (1):81-97

Long ED, MacDonald DD (1998) Recommended uses of empirically derived, sediment quality guidelines for marine and estuarine ecosystems. Human and Ecological Risk Assessment 4(5):1019-1093

MacDonald DD, Ingersoll CG, Berger TA (2000) Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 39(1):20-31

Malik RN, Mehboob F, Ali U, Katsoyiannis A, Schuster JK, Moeckel C, Jones KC (2014) Organo-halogenated contaminants (OHCs) in the sediments from the Soan River, Pakistan: OHCs (adsorbed TOC) burial flux, status and risk assessment. Science of the Total Environment 481:343-351. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.02.042

Mann HB (1945) Non-parametric tests against trend. Econometrica 13(13):245-259

Müller G (1979) Schwermetalle in den sedimenten des Rheins-Veränderungen seitt 1971. Umschan 79:778-783

Müller G (1981) Die Schwermetallbelastung der Sedimenten des Neckars und Seiner Nebenflusse. Chemiker-Zeitung 6:157-64

Bawden K, Ormerod R, Starke G, Zeise K (2004) Australian Inventory of Dioxin Emissions. National Dioxins Program, Technical report No. 3. Australian Government Department of the Environment and Heritage, Canberra

Otero N, Vitoria L, Soler A, Canals A (2005) Fertilizer characterization: major, trace and rare earth elements. Applied Geochemistry 20(8):1473-1488

Palm H, Lammi R (1995) Fate of pulp mill organochlorines in the Gulf of Bothnia sediments. Environmental Science & Technology 29(7):1722-1727

Strickland JDH, Parsons TR (1972) A Practical handbook of seawater analysis. Bulletin No. 167, 2nd edition. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa

Tomlinson DL, Wilson JG, Harris CR, Jeffrey DW (1980) Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. Helgoländer Meeresuntersuchungen 33(1):566-575

Zhang J, Liu CL (2002) Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China-Weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes. Estuarine, Coastal and Shelf Science 54(6):1051-1070

4.2. COMPONENTES BIOLÓGICOS

4.2.1. MACRÓFITAS ACUÁTICAS

4.2.1.1. Análisis espacio - temporal de la cobertura de macrófitas acuáticas y calidad de agua mediante sensores remotos

4.2.1.1.1. Antecedentes

Distintos estudios realizados desde el año 2004 han dado cuenta de la importancia de las macrófitas acuáticas para el ecosistema del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC). Estas plantas cumplen distintas funciones ecosistémicas, destacando su aporte como alimento para las aves acuáticas herbívoras del humedal como los cisnes de cuello negro y las taguas. Sumado a su aporte al flujo de energía y materia orgánica de la cadena trófica del HRC, las macrófitas acuáticas son un elemento clave del funcionamiento ecosistémico, aportando también a la estructura del paisaje del mismo y funcionamiento y estabilidad del sedimento en el humedal.

Durante el desarrollo del Programa de Diagnóstico Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios, se recopiló una serie de indicadores de distribución y cobertura de las principales plantas acuáticas de interés, al igual que indicadores de calidad de agua (principalmente reflectancia). Dicho estudio se realizó durante el verano 2015 (enero 2015) y se basó en el uso de información de terreno, en conjunto con imágenes de sensores remotos, empleando el archivo de imágenes satelitales Landsat disponibles para el HRC. Eso permitió generar una estimación espacial y temporal de cobertura para las especies más importantes de las macrófitas acuáticas, al igual que series de tiempo espaciales de indicadores de calidad de agua. De esta forma, los resultados de ese Programa de Diagnóstico entregaron una estimación espacialmente explicita de la cobertura de macrófitas y transparencia del agua para el verano del año 2015, además de una estimación retrospectiva de estos indicadores para el periodo previo y posterior al año 2004.

Posteriormente, durante los cuatro primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios, se actualizó esa información con datos obtenidos durante el período primaveral de los años 2015, 2016 y en el periodo estival de los años 2017-2018 y 2018-2019. Esos estudios permitieron documentar la importancia de las macrófitas acuáticas presentes en el HRC, al igual que la dinámica sucesional observada tras una década de recuperación del humedal.

En este contexto, el presente estudio analiza los resultados del quinto año del Programa de Monitoreo, correspondiente a la temporada estival del año 2019-2020. Este trabajo tiene como objetivo continuar el estudio sistemático de la cobertura y distribución de las plantas acuáticas dominantes del humedal mediante el uso de modelos de distribución basados en información obtenida mediante sensores remotos. Para ello se emplea la metodología aplicada en el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (verano 2015) y durante los cuatro primeros años del Programa de Monitoreo del mismo humedal (primaveras de los años 2015 y 2016 y verano del año 2017-2018 y 2018-2019). Así se modela y representa cartográficamente la distribución a lo largo del HRC de aquellas macrófitas acuáticas más relevantes.

Se analizó la variación espacial en la reflectancia, parámetro utilizado como indicador de la transparencia del agua en los distintos sectores del HRC y derivado de la información de sensores remotos. La información así obtenida se complementó con un estimador *in situ* de la transparencia del agua (ver Material y Métodos) contrastada con la concentración de sólidos suspendidos totales (SST) en la misma. De esta forma, se estima el grado de variabilidad temporal observado en la cobertura de macrófitas y la calidad de agua del HRC. Ello busca aportar a la conservación y manejo del humedal, mediante el estudio de la variación temporal de descriptores espacialmente explícitos de dos componentes ecosistémicos clave del HRC: la distribución y cobertura de macrófitas acuáticas y la calidad o transparencia del agua a lo largo de distintos sectores del HRC.

4.2.1.1.2. Objetivos

• Evaluar, mediante el uso de indicadores estimados mediante sensores remotos y mediciones *in situ*, la variabilidad espacial y temporal en la cobertura de macrófitas acuáticas y calidad de agua del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios, durante el período estival del año 2019-2020.

•Comparar los resultados obtenidos durante este período de estudio con los resultantes del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (verano 2015) y los primeros tres años del Programa de Monitoreo Ambiental del mismo humedal (períodos primaverales de los años 2015 y 2016 y estival del año 2017).

En términos operacionales, se entiende por indicador de calidad de agua a:

i) el análisis de la reflectancia de las imágenes satelitales asociadas a los colores primarios de la luz visible (azul, verde y rojo), así como de la reflectancia de las imágenes satelitales asociada al infrarrojo cercano.

ii) la estimación *in situ* de la transparencia del agua en puntos específicos del humedal.

Por cobertura de macrófitas, se entiende el análisis de los siguientes indicadores estimados mediante sensores remotos:

• Determinación de los pixeles con presencia de plantas macrófitas acuáticas en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

• Delimitación de los polígonos que describen la presencia de plantas macrófitas acuáticas sobre el HRC en distintos sectores de interés.

4.2.1.1.3. Material y métodos

Obtención de imágenes satelitales

De acuerdo con la metodología empleada durante el desarrollo del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (verano 2015) y durante el transcurso de los primeros tres años del Programa de Monitoreo Ambiental del mismo humedal (períodos primaverales de los años 2015 y 2016 y estival de los años 2017 y 2018), se analizaron imágenes satelitales en base a la información contenida en los archivos históricos de imágenes captadas por la misión satelital Landsat 8. Para ello, se realizó una búsqueda en los registros de archivo, contemplando el periodo comprendido entre los meses de noviembre del año 2019 y febrero del año 2020. La información analizada fue obtenida desde el archivo histórico de imágenes satelitales del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS; http://earthexplorer.usgs.gov/).

Al igual que en estudios previos del humedal, el área de estudio tiene como punto central las coordenadas 40°19'20"S, 72°51'00"W, correspondiente a la región comprendida en la combinación 233/88 del Sistema Mundial de Referencia 2 (WRS-2). Para poder contar con imágenes adecuadas, se examinó el archivo de imágenes buscando seleccionar aquellas fechas para las cuales se contase con una baja cobertura de nubes sobre el humedal. Usualmente, esto corresponde a imágenes satelitales con una cobertura de nubes inferior al 20% del área de barrido satelital en la celda 233/88 WRS2.

La búsqueda realizada permitió contar con una imagen única pero adecuada para los fines del presente análisis y correspondiente al día 25 de febrero del año 2020; las otras imágenes existentes en el archivo entre noviembre 2019 y febrero 2020, presentaron excesiva cobertura de nubes sobre el área del HRC o corresponden a fechas muy distantes de las fechas en que se realizaron las mediciones de transparencia *in situ* para validación en terreno. En la Figura 4.2.1.1 se muestra una representación de verdadero color (imagen

tricromática en base a las bandas de color rojo, verde azul) de la escena captada por el sensor OLI / Landsat 8, para el área de estudio (25 de febrero 2020).

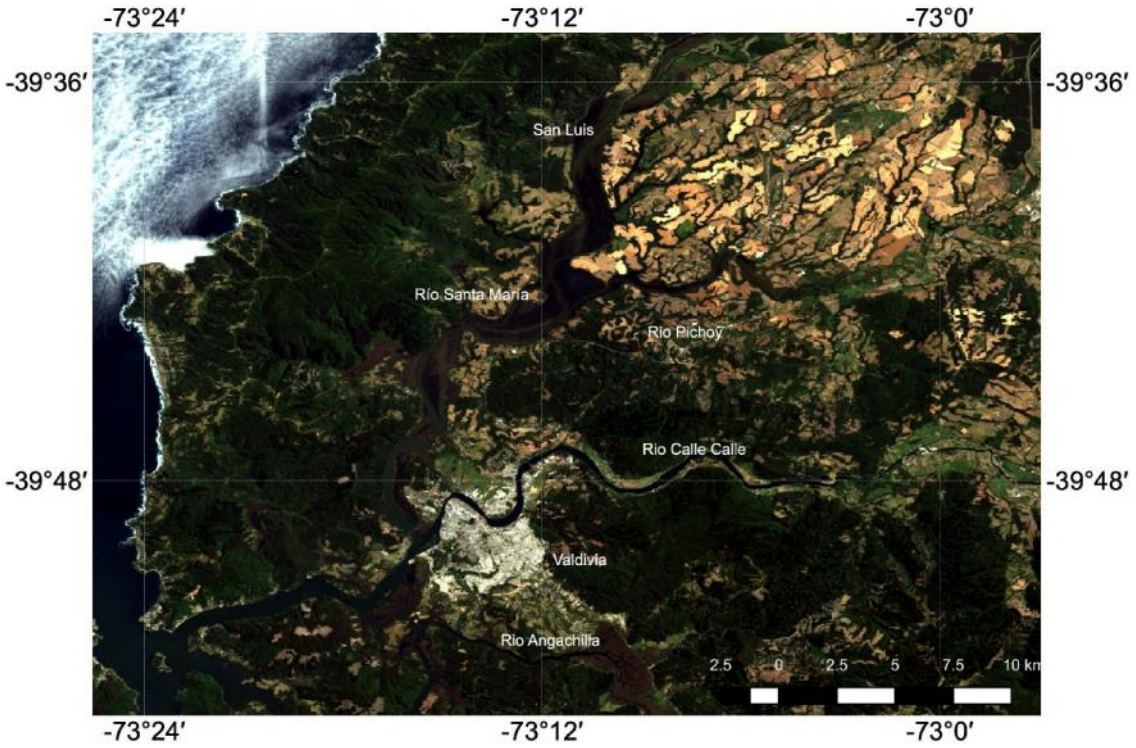


Figura 4.2.1.1. Área de estudio. Se ilustra una imagen de color verdadero, basada en la combinación de las bandas rojo, verde y azul (bandas 4, 3, 2 del sensor Landsat 8). La imagen corresponde al día 25 de febrero del año 2020. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18S.

Procesamiento y corrección de imágenes satelitales

De forma similar a lo realizado en estudios anteriores, la imagen satelital obtenida del archivo histórico del sensor OLI fue procesada y calibrada radiométricamente, y corregida de acuerdo a lo descrito para aguas turbias (caso-2), mediante las ecuaciones y parámetros descritos en la literatura (Chander & Markham 2003; Hwan-Ahn *et al.*, 2004; Lagos *et al.*, 2008). Estos procedimientos permitieron la transformación de los valores de los

números digitales (DN) presentes en las distintas bandas de datos de cada imágen a valores de porcentajes de reflectancia atmosférica superior (R_{TOA}), permitiendo la comparación con imágenes obtenidas en diferentes fechas, o bien con imágenes captadas por diferentes sensores, como por ejemplo los sensores TM, TM+ o ETM, correspondientes a las misiones Landsat anteriores a la misión Landsat 8. Dadas las características del HRC, y conforme a los estudios previos, se aplicó una corrección atmosférica para aguas turbias caso-2, mediante el método de *path extraction* (Hwan-Ahn *et al.*, 2004; Lagos *et al.*, 2008;). Esta transformación permite dar cuenta de los efectos de la absorción y dispersión sobre la reflectancia del agua. Estos se deben a la radiación difusiva causada por la dispersión de fotones por las moléculas de aire y aerosoles. Esta se suma a aquella causada por el reflejo en la superficie del agua por efecto de los sólidos suspendidos totales (SST), clorofila y la materia orgánica disuelta opaca (CDOM).

La corrección mediante "path extraction" se centra en la substracción de la irradiancia mínima o path radiance (r_{Path}) de la banda para toda la imagen. Este método asume que la señal R_{TOA} se reduce a r_{Path} en el caso de las aguas azules claras, debido a que estas presentan valores mínimos de reflectancia (Antoine & Morel, 1999). Además, se asume que el valor de r_{Path} es homogéneo a través de la escena Landsat (ver Hwan-Ahn *et al.,* 2004) para las ecuaciones correspondientes y parámetros. Una vez realizadas estas correcciones, se extrajo para cada imagen el valor de reflectancia a partir de las bandas correspondientes al espectro de luz visible e infrarrojo cercano. Para el caso del sensor OLI (misión Landsat 8), estas bandas corresponden a las bandas 2 a 5.

Para estimar la calidad del agua vía anáisis de los productos de los sensores remotos, se analizaron los perfiles espectrales de reflectancia de las cuatro bandas (2 a 5). De igual forma, se calculó la razón entre las bandas azul y verde (bandas 2 y 3) como indicador sustituto del nivel de clorofila en el agua (Parslow & Harris, 1990; Peñuelas *et al.,* 1993). El sensor a bordo del satélite Landsat 8 entrega imágenes con una resolución espacial de entre 15 y 30 m, dependiendo de la banda de radiación a analizar. La Tabla 4.2.1.1 indica las

longitudes de onda correspondientes a las distintas bandas del sensor OLI, al igual que la resolución espacial correspondiente a cada banda.

Tabla 4.2.1.1. Bandas del sensor OLI, misión Landsat 8. La Tabla muestra, para las distintas bandas del sensor OLI los atributos o colores que capta cada banda, al igual que la longitud de onda y la resolución espacial o tamaño de pixel.

banda	atributo o color	longitud de onda («m)	resolución (m)
1	Aerosol costero	0,43 – 0,45	30
2	Azul	0,45 – 0,51	30
3	Verde	0,53 – 0,59	30
4	Rojo	0,64 – 0,67	30
5	Infrarrojo cercano	0,85 – 0,88	30
6	Infrarrojo de onda corta 1	1,57 – 1,65	30
7	Infrarrojo de onda corta 2	2,11 – 2,29	30
8	Imagen Pancromática	0,50 – 0,68	15
9	Cirrus	1,36 – 1,38	30
10	Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10,60 – 11,19	100 x (30)
11	Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11,50 – 12,51	100 x (30)

Cabe señalar que al igual que en informes anteriores, no se consideraron las bandas 9, 10 y 11. La primera está definida para identificar presencia de nubes tipo cirrus, mientras que las dos últimas difieren en la resolución de origen, siendo re-muestreadas a partir de una escala de 100 m a la resolución final de 30 m. De igual forma, para el caso de la imagen pancromática y dado que esta banda integra información de un rango más amplio de longitud de onda y que es interpolada a una resolución mayor, no ha sido considerada para los esfuerzos de modelamiento de distribución. Ello debido a que su superposición con las bandas restantes y diferencia en resolución, pueden llevar a artefactos o errores en el ajuste del modelo de distribución de plantas acuáticas.

Obtención de registros de parches mono específicos de macrófitas acuáticas.

Para poder contar con registros de presencia para las macrófitas acuáticas presentes en el HRC, se llevaron a cabo prospecciones en diferentes sectores del área de estudio,

seleccionándose aquellos en los que se observó presencia de áreas monoespecíficas o con dominancia de determinadas especies de plantas.

Se registraron datos georeferenciados de presencia de parches mono específicos de las siguientes especies: *Egeria densa* (Luchecillo), *Potamogeton pusillus* (Huiro de agua dulce), *Potamogeton lucens* (Huiro verde) y *Ludwigia peploides* (Clavito de agua). Cabe destacar que en esta campaña de terreno no se observaron parches mono-específicos de *Sagittaria montevidensis* (Flecha de agua). En el caso de *Nymphaea alba* (Loto) y *Schoenoplectus californicus* (Totora), la georreferenciación de presencia de parches mono específicos se realizó mediante inspección visual de imágenes de alta resolución obtenidas mediante sobrevuelos de aeronaves no tripuladas (dron o unmanned aerial vehicles, UAV). Estas imágenes fueron obtenidas a partir de un sobrevuelo planificado mediante el software Pix4d, para posteriormente obtener ortomosaicos georeferenciados. En total se realizaron sobrevuelos en 19 áreas del humedal, correspondientes a las zonas de inspección visitadas mediante UAV en campañas anteriores. Cada imagen de ortomosaico se cargó en el entorno de Sistema de Información Geográfico Quantum Gis (QGIS), en conjunto con la imagen Landsat 8 del 25 de febrero de 2020. Esto permitió identificar aquellos parches monoespecíficos de radio igual o mayor al tamaño de pixel de la imagen Landsat (30 metros).

La información recolectada (véase Figs. 4.2.1.2 a 4.2.1.7) fue consolidada en planillas de cálculo Excel (Microsoft Office ©), mientras que las georeferenciaciones se consolidaron en un archivo Shape de Arcgis. La información recolectada y verificada fue consolidada en una base de datos geoespacial en el programa QGIS. Todas las coordenadas fueron verificadas y almacenadas en archivos con una proyección WSG84/UTM, utilizando el Huso 18 Sur.

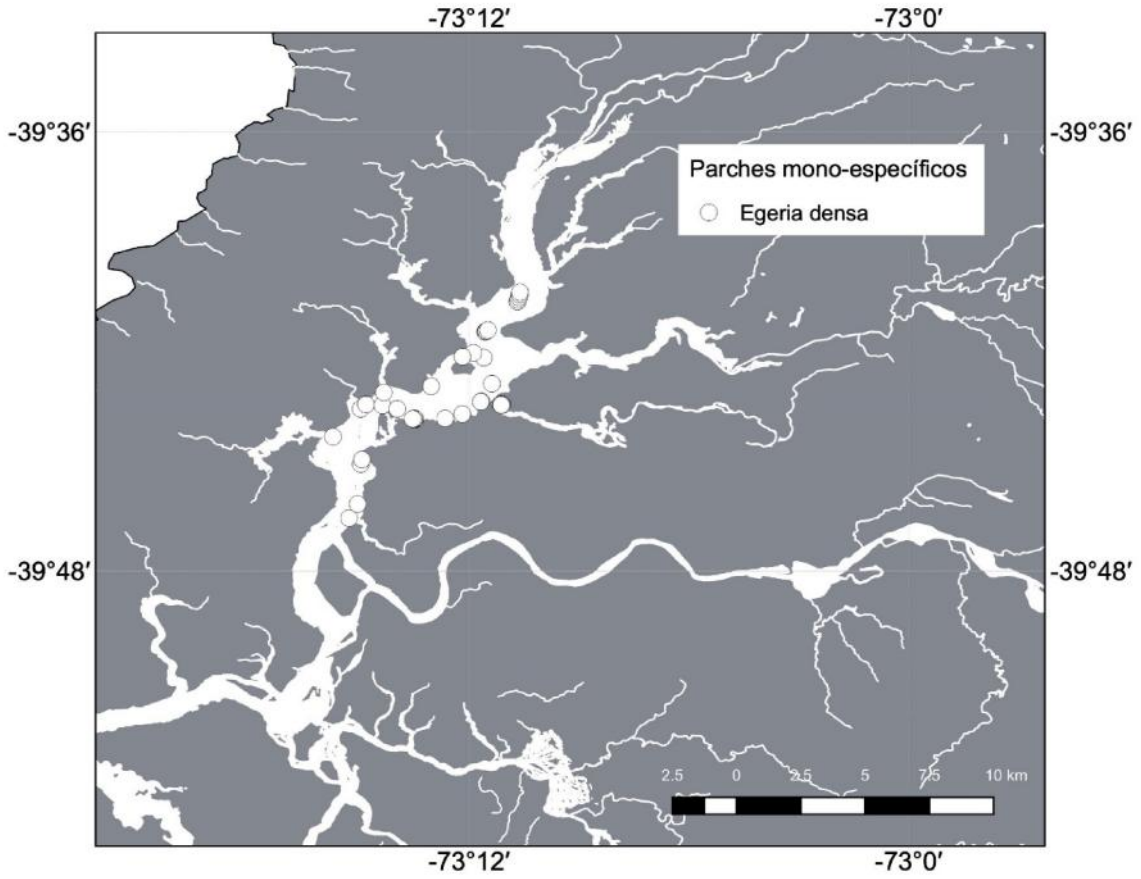


Figura 4.2.1.2. Puntos de muestro para la distribución de *Egeria densa* (Luchecillo) mediante georreferenciación de parches mono-específicos. Se ilustran aquellos puntos en los que se determinó la presencia de Luchecillo (círculos blancos). La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales cursos de agua en los sitios de estudio. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18 Sur.

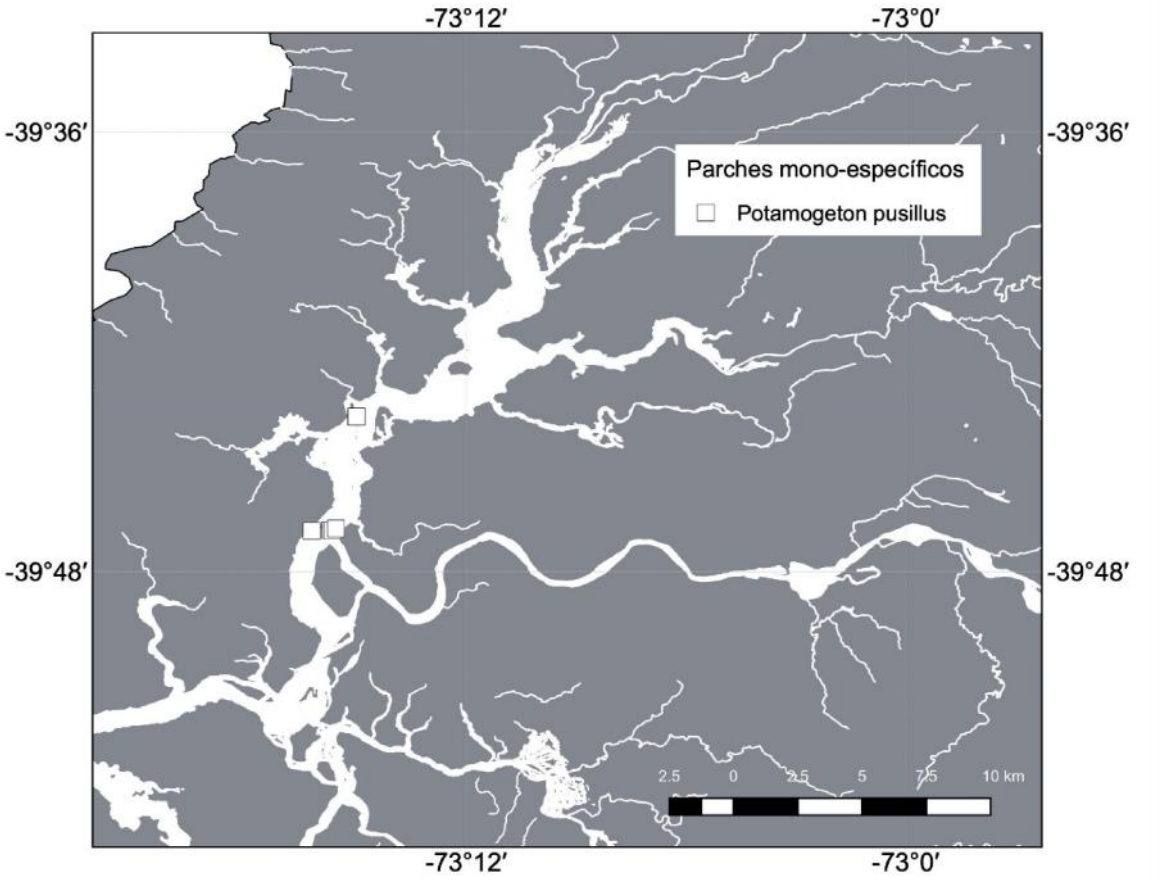


Figura 4.2.1.3. Puntos de muestro para la distribución de *Potamogeton pusillus* (Huiro de agua dulce) mediante georreferenciación de parches mono-específicos. Se ilustran aquellos puntos en los que se determinó la presencia de Huiro de agua dulce (cuadrados blancos). La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales cursos de agua en los sitios de estudio. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18 Sur.

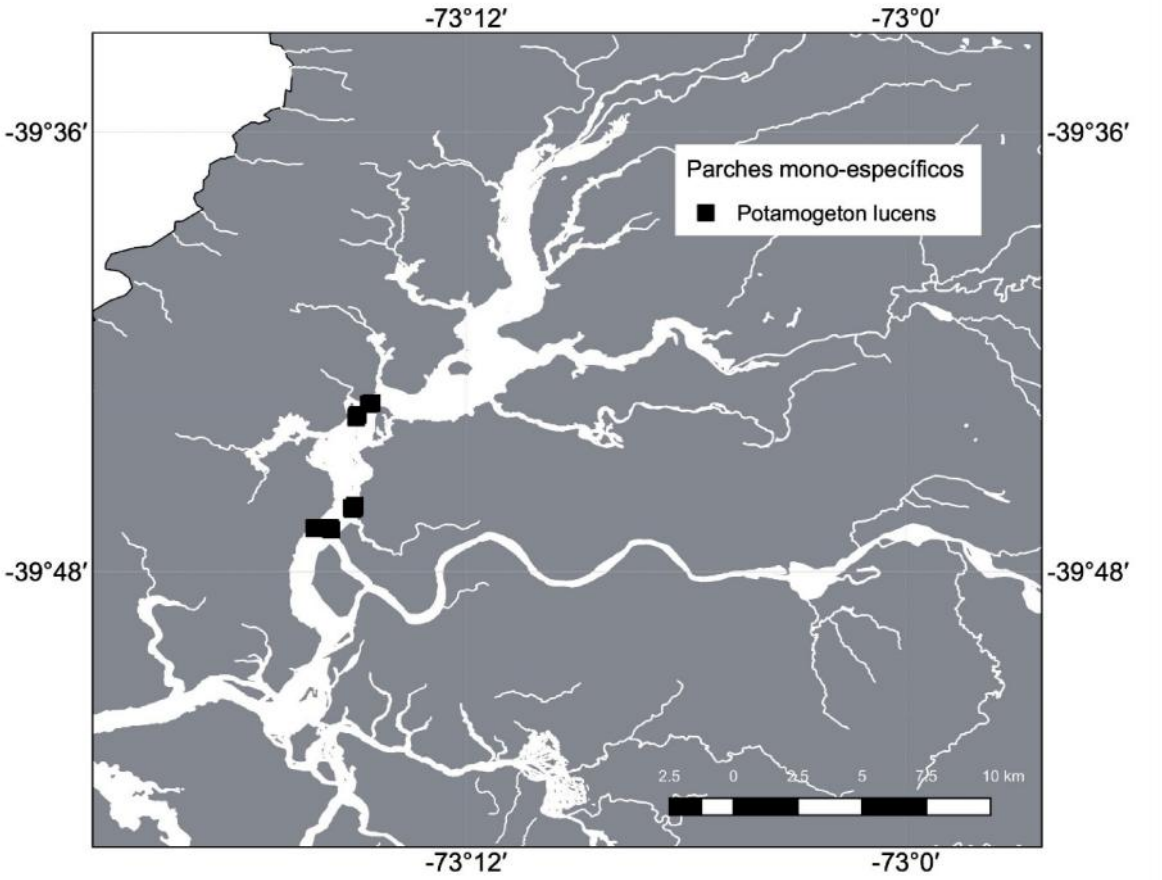


Figura 4.2.1.4. Puntos de muestro para la distribución de *Potamogeton lucens* (Huiro verde) mediante georreferenciación de parches mono-específicos. Se ilustran aquellos puntos en los que se determinó la presencia de Huiro verde (cuadrados negros). La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales cursos de agua en los sitios de estudio. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18 Sur.

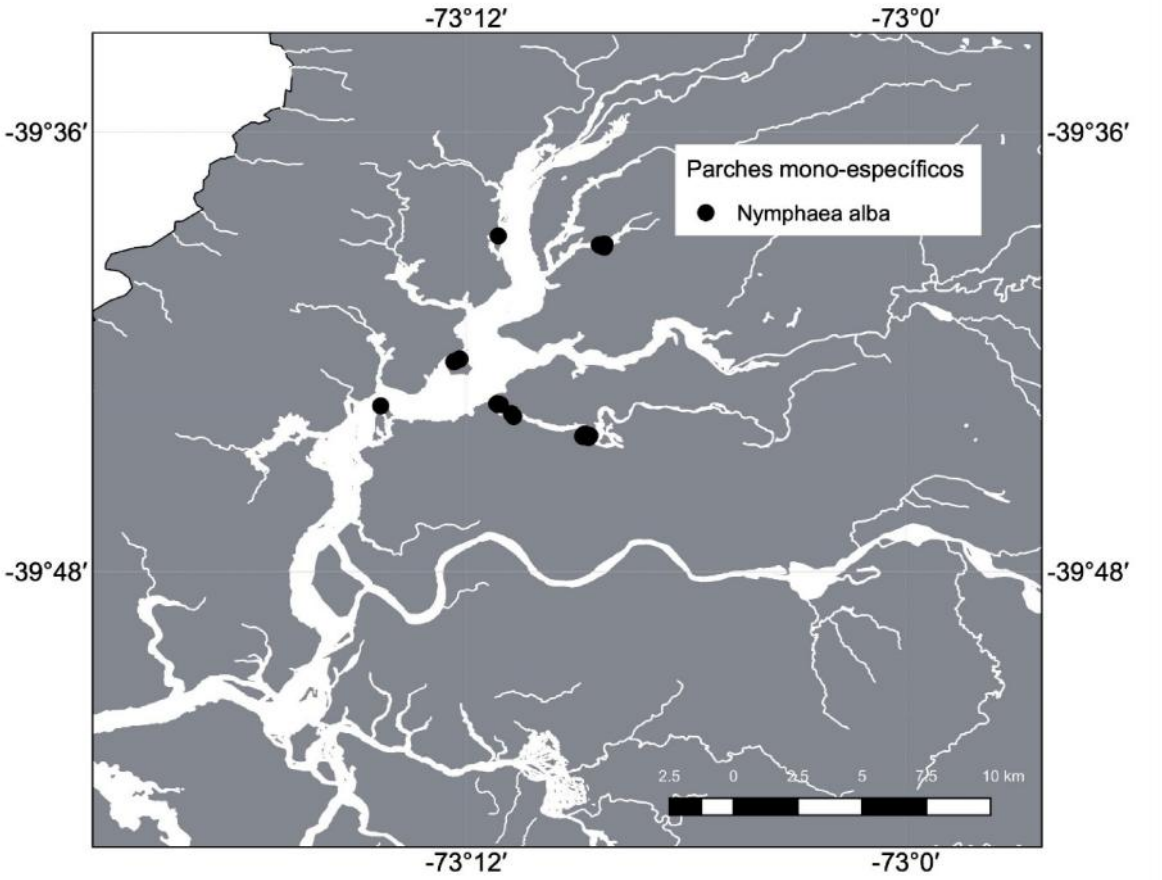


Figura 4.2.1.5. Puntos de muestro para la distribución de *Nymphaea alba* (Loto) mediante georreferenciación de parches mono-específicos. Se ilustran aquellos puntos en los que se determinó la presencia de Loto (círculos negros). La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales cursos de agua en los sitios de estudio. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18 Sur.

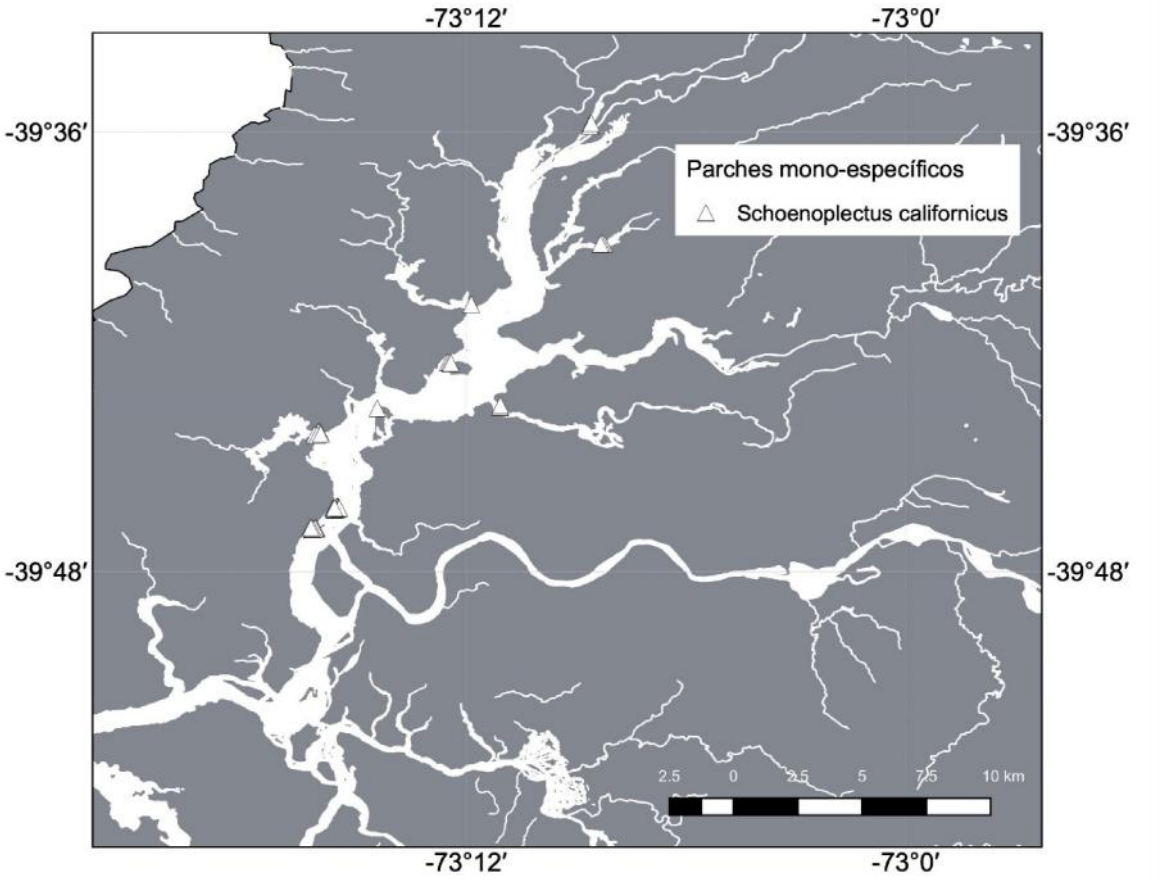


Figura 4.2.1.6. Puntos de muestro para la distribución de *Schoenoplectus californicus* (Totora) mediante georreferenciación de parches mono-específicos. Se ilustran aquellos puntos en los que se determinó la presencia de Totora (triángulos blancos). La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales cursos de agua en los sitios de estudio. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18 Sur.

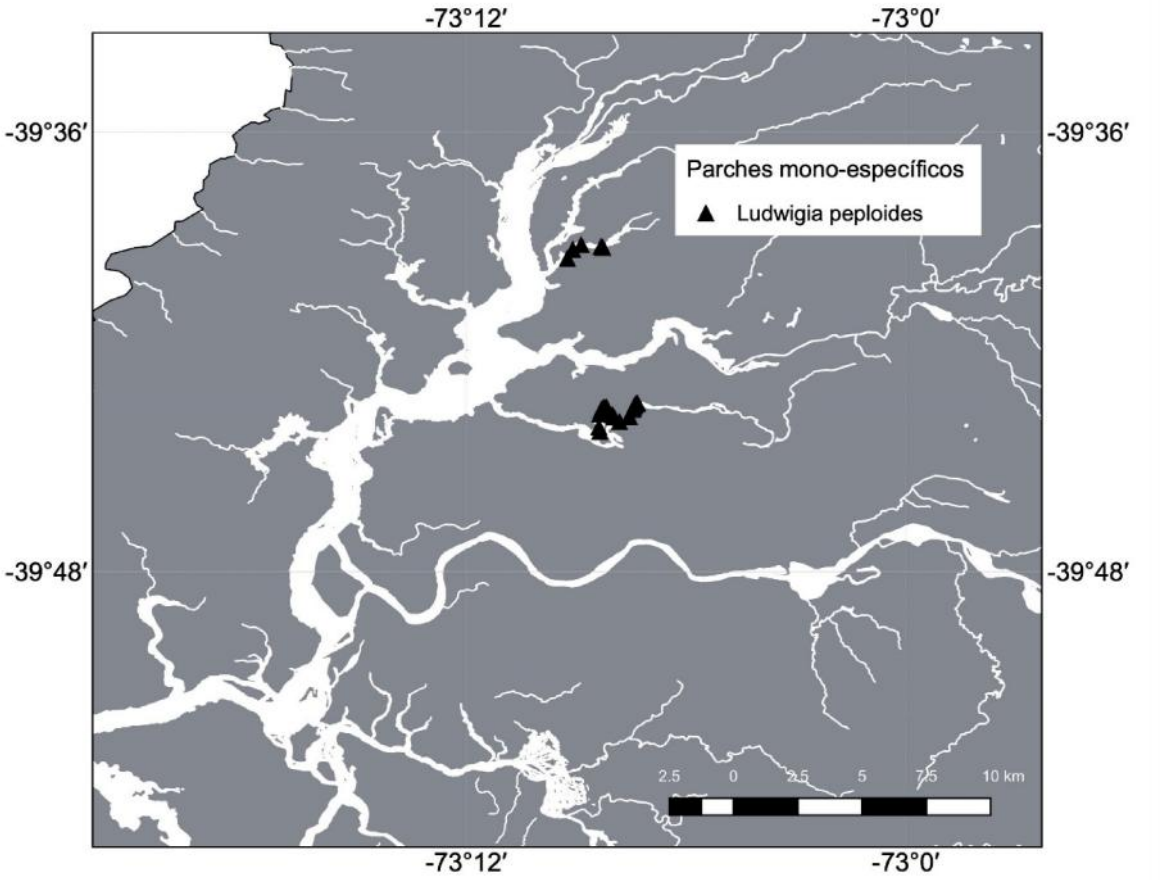


Figura 4.2.1.7. Puntos de muestro para la distribución de *Ludwigia peploides* (Clavito de agua) mediante georreferenciación de parches mono-específicos. Se ilustran aquellos puntos en los que se determinó la presencia de Clavito de agua (triángulos negros). La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales cursos de agua en los sitios de estudio. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18 Sur.

Obtención de registros de indicadores de calidad de agua *in situ*

A fin de contar con estimaciones empíricas para calidad de agua, durante el período de mareas bajas comprendido entre el 15 y 17 de enero del año 2020 se realizaron mediciones *in situ* de transparencia del agua y se recolectaron muestras de agua para análisis de concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en 16 sectores del área de estudio (Fig. 4.2.1.8). La transparencia (n= 5 mediciones por sector) se estimó con un disco Secchi (Lagos *et al.,* 2008), artefacto que permite medir de modo indirecto la penetración de la luz en el agua; *i.e*., mientras mayor sea la profundidad a la que se observa el Disco Secchi, mayor es la transparencia del agua o penetración de la luz en la misma y *viceversa*. Las muestras de agua (n=5 en cada uno de los 16 sectores) se recolectaron a una profundidad aproximada de 20 cm con frascos plásticos Nalgene de 1 litro. La estimación de SST, se basó en el método de Strickland & Parsons (1972).

La información obtenida fue tabulada en planillas de cálculo Excel (Microsoft Office ©), para luego ser vertida en una base de datos geoespacial en el programa QGIS. De igual forma, la información fue consolidada en una base de datos para su posterior análisis en el entorno de cómputo estadístico R (R Core Team 2013). Todas las coordenadas fueron verificadas y almacenadas en archivos con una proyección WSG84/UTM, utilizando el Huso 18 Sur.

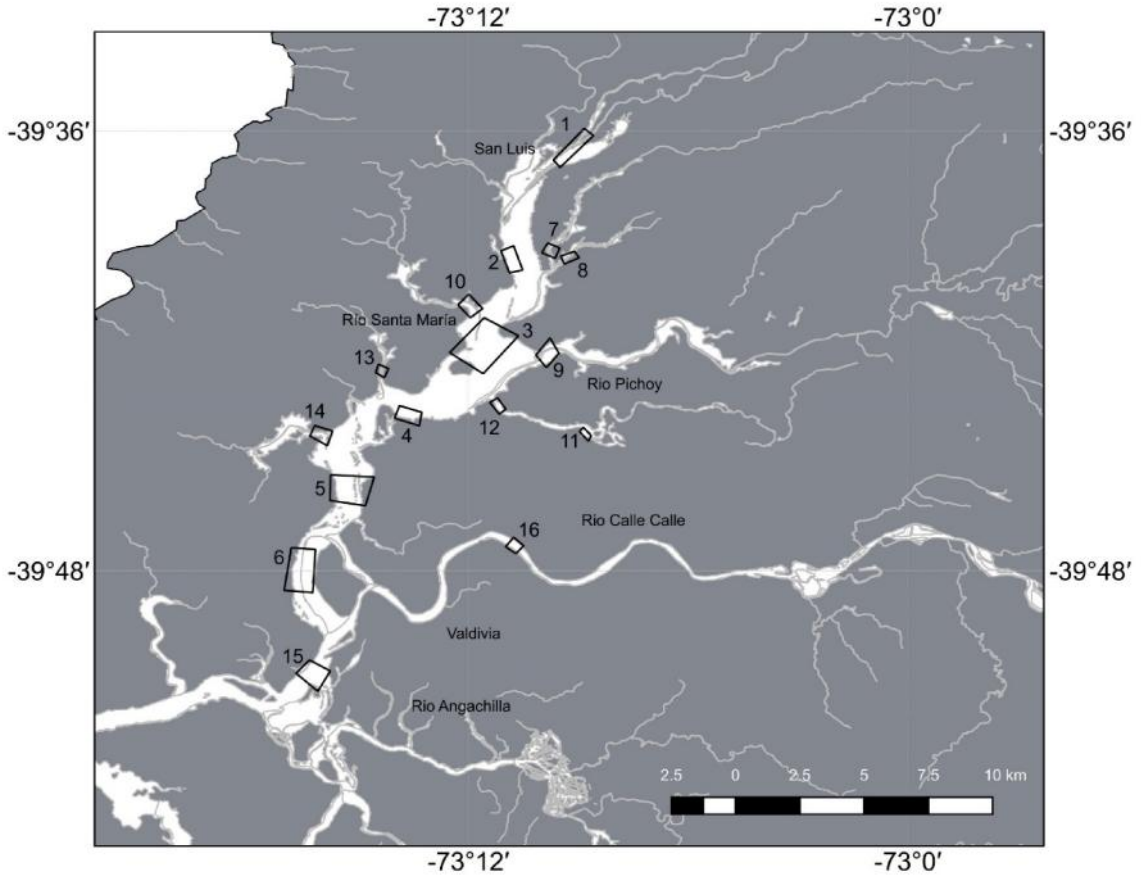


Figura 4.2.1.8. Sectores de estudio para la estimación de parámetros de calidad de agua. La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales cursos de agua en los sitios de estudio. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18 Sur. Los sectores de estudio corresponden a: 1. río Cruces, sector San Luis, 2. río Cruces, sector Santa María, 3. río Cruces, sector Isla Rialejo, 4. río Chorocamayo, 5. río Cruces, sector Punucapa, 6. río Cruces, sector Isla Teja, 7. río Nanihue, 8. río Cudico, 9. desembocadura río Pichoy, 10. río Santa María, 11. río Cayumapu interior, 12. desembocadura río Cayumapu, 13. río Tambillo, 14. río San Ramón, 15. río Valdivia, sector Torobayo, 16. río Calle Calle.

Modelamiento de distribución de especies de macrófitas acuáticas

A fin de generar estimaciones espacialmente explícitas de la distribución de las macrófitas acuáticas, se ajustaron modelos de distribución para cada especie (Franklin, 2009). Se utilizaron los registros de presencia georeferenciados, en conjunto con imágenes geográficas generadas a partir del satélite Landsat 8. El ajuste de estos modelos se realizó de acuerdo a la metodología aplicada durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, lo que permite realizar comparaciones temporales de la distribución espacial de las plantas de interés. Conforme a la metodología aplicada durante ese programa y durante el primer año del Programa de Monitoreo del humedal, se seleccionó como algoritmo de modelamiento el ajuste mediante máxima entropía (MaxEnt). De acuerdo a la literatura especializada, esta técnica de aprendizaje de máquina ("machine learning") se caracteriza por ser una de las que presenta mejor desempeño frente a tamaños de muestra con bajos valores de presencia de las especies estudiadas (Elith *et al.*, 2006; Elith & Leathwick, 2009; Elith *et al*., 2011).

La comparación de múltiples métodos de modelamiento ha permitido determinar que los modelos de aprendizaje de máquina, permiten la elaboración de modelos más robustos cuando solo se cuenta con datos de presencia para una especie dada (Elith *et al.*, 2006; Elith & Leathwick, 2009; Elith *et al*., 2011, Phillips *et al.,* 2017). En particular, la aproximación basada en máxima entropía (MaxEnt) ha sido destacada por su éxito en el ajuste de modelos en base a registros de presencia de especies cuando el tamaño de muestra es bajo (Phillips *et al.*, 2006; Phillips & Dudik, 2008; Elith *et al.*, 2011, Phillips *et al.*, 2017). Maxent estima la distribución (rango geográfico) de una especie al encontrar la distribución que tiene máxima entropía (es decir, está más cerca de ser geográficamente uniforme), utilizando como restricción los momentos estadísticos de las variables ambientales en aquellas ubicaciones de ocurrencia registradas (Phillips *et al.*, 2006; Phillips & Dudik, 2008; Elith *et al.*, 2011, Phillips *et al.,* 2017). Estudios recientes han demostrado que el modelo de máxima entropía ajustado por MaxEnt puede reducirse a un proceso de Poisson heterogéneo, permitiendo una inferencia más robusta. En particular, las

actualizaciones recientes han sugerido mejoras al proceso de estimación de la probabilidad de presencia de una especie en el paisaje, mediante la implementación de una transformación cloglog (Phillips *et al.,* 2017). De esta forma, MaxEnt entrega no solamente una estimación de los puntos donde la especie se encuentra presente, sino también una medida de la probabilidad de presencia de la especie, representada en una escala numérica acotada entre 0 y 1, que corresponde a una transformación cloglog de la probabilidad de ocurrencia de la especie evaluada en el paisaje (Phillips *et al.*, 2017). Distintos estudios han determinado que este algoritmo presenta un mejor desempeño en relación a métodos similares de aprendizaje de máquina (ver, por ejemplo, Elith *et al*., 2006; Ortega-Huerta & Peterson, 2008), siendo particularmente eficaz incluso en situaciones en que el tamaño muestral es pequeño (Hernández *et al*., 2006; Pearson *et al*., 2007; Papes & Gaubert, 2007; Wisz *et al*., 2008, Phillips *et al.,* 2017).

La implementación del ajuste de modelos de distribución se realizó utilizando el software MaxEnt versión 3.4.1 (Phillips *et al.*, 2017). Para ajustar el modelo, se emplearon los datos georeferenciados de presencia para las especies de interés. Se utilizaron las bandas 1 a 7 de la imagen Landsat 8 ilustrada en la Figura 4.2.1.1, al igual que el índice de vegetación normalizada (NVDI) y el índice de vegetación mejorado (EVI) y la razón entre las bandas azul y verde (bandas 2 y 3) como indicador sustituto del nivel de clorofila en el agua (Parslow & Harris, 1990; Peñuelas *et al.,* 1993). De igual manera, se construyó una máscara correspondiente a sectores cubiertos por agua utilizando el índice normalizado de agua (NDWI; Xu 2006). Esto permitió restringir el dominio de modelación a los cursos de agua principales en el área de estudio. La bondad de ajuste de los modelos, definida como la capacidad del modelo de MaxEnt para discriminar entre los sitios de presencia frente a sitios de pseudo-ausencias, se evaluó usando mediante el estadístico AUC, correspondiente al área bajo la curva ROC (Area under the curve, AUC por sus siglas en inglés).

La curva ROC, corresponde al gráfico de la proporción de falsos positivos (1-especificidad) *versus* la proporción de verdaderos positivos (sensibilidad) (Phillips & Dudik,

2008). Para cada especie, se construyó un modelo de máxima entropía mediante un procedimiento de validación cruzada. En este procedimiento el subconjunto de datos de presencia se dividió al azar en cinco subconjuntos o "folds". Para cada uno de estos subconjuntos o "folds" de validación cruzada, se ajustó un modelo usándolo como set de prueba y usando a su vez todos los subconjuntos restantes como set de entrenamiento, permitiendo así una mayor robustez en la estimación, particularmente para tamaños muestrales bajos (Elith *et al.,* 2011). Una vez ajustados los modelos para cada uno de los cinco subconjuntos de validación cruzada, estos se promediaron, entregando un modelo promedio. Este modelo entrega una medida de la idoneidad del hábitat, en una escala logística que toma valores entre 0 y 1. A fin de determinar aquellos pixeles en los que cada especie se encontraba presente, se consideraron como pixeles sin presencia de la especie los que presentaron valores por debajo de un umbral correspondiente a la máxima especificidad y sensibilidad en el subconjunto de validación (Phillips *et al.,* 2006; Phillips & Dudik, 2008). De esta forma, se pudo representar la distribución de cada especie de macrófita, junto con una medida de la idoneidad del hábitat en cada pixel. La superficie de idoneidad obtenida para el periodo 2018-2019 se comparó con las superficies de periodos anteriores, resumiendo la idoneidad ambiental mediante una superficie promedio.

4.2.1.1.4. Resultados

Obtención de imágenes, procesamiento y corrección radiométrica

Dada la disponibilidad de imágenes en el archivo de la misión Landsat 8, y tomando en consideración las fechas de obtención de registros de presencia de macrófitas acuáticas, así como de las mediciones en terreno de parámetros de calidad de agua, se seleccionó una imagen de la misión LANDSAT 8, con fecha del 25 de febrero de 2020. Esta imagen permitió contar con un registro libre de nubes que correspondiese a la situación actual del área del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios para la temporada primavera-verano del año 2019 a 2020 (Fig. 4.2.1.1).

Tal como se ha documentado en estudios previos, las aguas del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios pueden clasificarse en zonas con distintos niveles de variabilidad en la calidad del agua (Mulsow & Grandjean, 2006; Lagos *et al.,* 2008). En particular, Lagos *et al.* (2008) distinguieron tres zonas correspondientes a las secciones norte, centro y sur de la zona del humedal con una longitud espacial de 15, 8 y 6 km, respectivamente, lo que permitió identificar variaciones espaciales en la calidad de agua conforme a lo inferido mediante imágenes satelitales. En el presente estudio se repitió este análisis empleando sectores de mayor resolución, los que se ilustran en la Figura 4.2.1.8. A fin de evaluar eventuales diferencias interanuales en calidad de agua para cada una de estas zonas, se procedió a evaluar diferencias en los perfiles de reflectancia espectral obtenidos de la imagen Landsat estudiada. Para ello se extrajo el valor de reflectancia atmosférica superior para las bandas 2 a 5. Conforme a lo indicado anteriormente, las bandas 2 a 4 corresponden a los rangos de luz visible, mientras que la banda 5 corresponde a la gama del infrarrojo cercano (NIR) (Tabla 4.2.1.1).

Registros de parches mono específicos de macrófitas acuáticas

La recolección de datos en terreno permitió el registro de observaciones de presencias para las seis especies de interés a lo largo del humedal. En la Tabla 4.2.1.2 se detalla el número de observaciones obtenidas para los registros georeferenciados de parches mono-específicos.

Tabla 4.2.1.2. Número de observaciones de macrófitas acuáticas en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios. La Tabla muestra para las seis especies de interés, el número de presencias observadas mediante registros georeferenciados en parches mono-específicos.

especie	registros en parches mono-específicos
Egeria densa (Luchecillo)	37
Potamogeton pusillus (Huiro de agua dulce)	8
Potamogeton lucens (Huiro verde)	20
Nymphaea alba (Loto)	120
Schoenoplectus californicus (Totora)	44
Ludwigia peploides (Clavito de agua)	22

Durante la presente campaña se realizaron sobrevuelos con UAV para corroborar la distribución observada de macrófitas. A fin de optimizar la colecta de datos de distribución y biomasa de las macrófitas dominantes, se redujo la cobertura espacial del muestreo de parches dominantes. Esto se refleja en la cantidad total de puntos obtenidos. Potra parte, cabe destacar, sin embargo, la baja cobertura y distribución de parches dominantes de *Potamogeton pusillus* (Huiro de agua dulce) se evidencia en la baja incidencia a lo largo del HRC, observándose menos de 10 parches mono-específicos. A su vez, la distribución acotada de *Potamogeton lucens* (Huiro verde) y *Ludwigia peploides* (Clavito de agua) resulta en la presencia de 20 y 22 parches mono-específicos, respectivamente. Al igual que en años anteriores, se observa nuevamente la ausencia de *Sagittaria montevidensis* (Flecha de agua), manteniéndose el patrón documentado en los años 2017 a 2019.

Registros de Indicadores de calidad de agua vía mediciones *in situ* de transparencia

En la Figura 4.2.1.9 se ilustra el patrón espacial observado para la transparencia del agua en el área de estudio, se caracterizó por no presentar patrones similares de variación espacial en los años estudiados; *i.e.,* se observaron diferencias significativas tanto entre años (ANDEVA de dos vías, g.l. 5,382; F= 10,02; p<0,001) como entre sitios (ANDEVA de dos vías, g.l. 15,382; F= 92.43; p<0,001). De igual forma, el término de interacción entre estos dos factores también presentó diferencias significativas (ANDEVA de dos vías, g.l. 75, 382;

F= 6,895; p<0,001). En el presente muestreo destaca la disminución en la transparencia a lo largo de todos los sitios, al igual que la gran variabilidad evidenciada en el sector de Isla Teja.

Al examinar la variación espacial y temporal en la cantidad de Sólidos Suspendidos Totales (SST), se observan en general valores más bajos entre los años 2015 y 2018 con respecto a los años 2014 y 2020 (Fig. 4.2.1.10). Se observaron diferencias significativas tanto entre años (ANDEVA de dos vías, g.l. 5, 384; F= 449,02; p<0,001) como entre sitios (ANDEVA de dos vías, g.l. 15, 384; F= 73,44; p<0,001). De igual forma, el término de interacción entre estos dos factores también presentó diferencias significativas (ANDEVA de dos vías, g.l. 75, 384; F= 20, 61; p<0,001). Consistente con la disminución observada en transparencia, los valores de SST observados en el presente estudio muestran un importante aumento, con un máximo reportado en el sector de río San Ramón, seguido en magnitud por los valores observados en la desembocadura del río Pichoy.

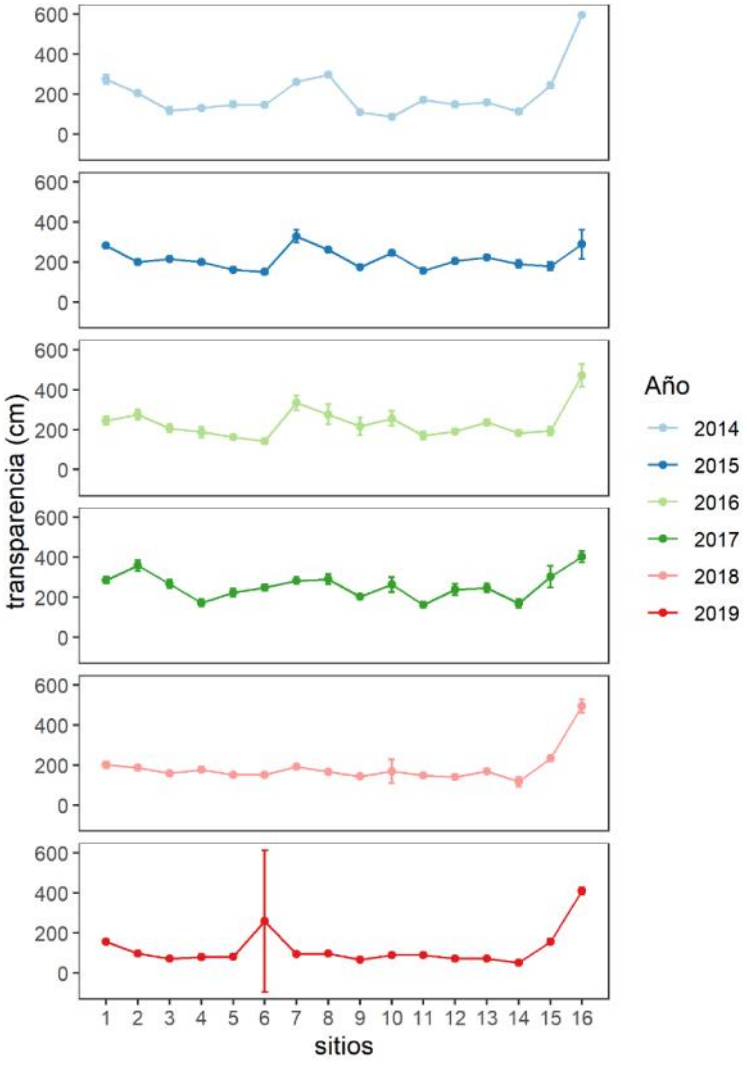


Figura 4.2.1.9. Variación espacial en la transparencia (*i.e.,* profundidad de Disco Secchi) del agua superficial en el área de estudio. Se ilustra el valor promedio para cada sitio y año, junto con una desviación estándar. Los sectores de estudio corresponden a: 1. río Cruces, sector San Luis, 2. río Cruces, sector Santa María, 3. río Cruces, sector Isla Rialejo, 4. río Chorocamayo, 5. río Cruces, sector Punucapa, 6. río Cruces, sector Isla Teja, 7. río Nanihue, 8. río Cudico, 9. desembocadura río Pichoy, 10. río Santa María, 11. río Cayumapu interior, 12. desembocadura río Cayumapu, 13. río Tambillo, 14. río San Ramón, 15. río Valdivia, sector Torobayo, 16. río Calle Calle.

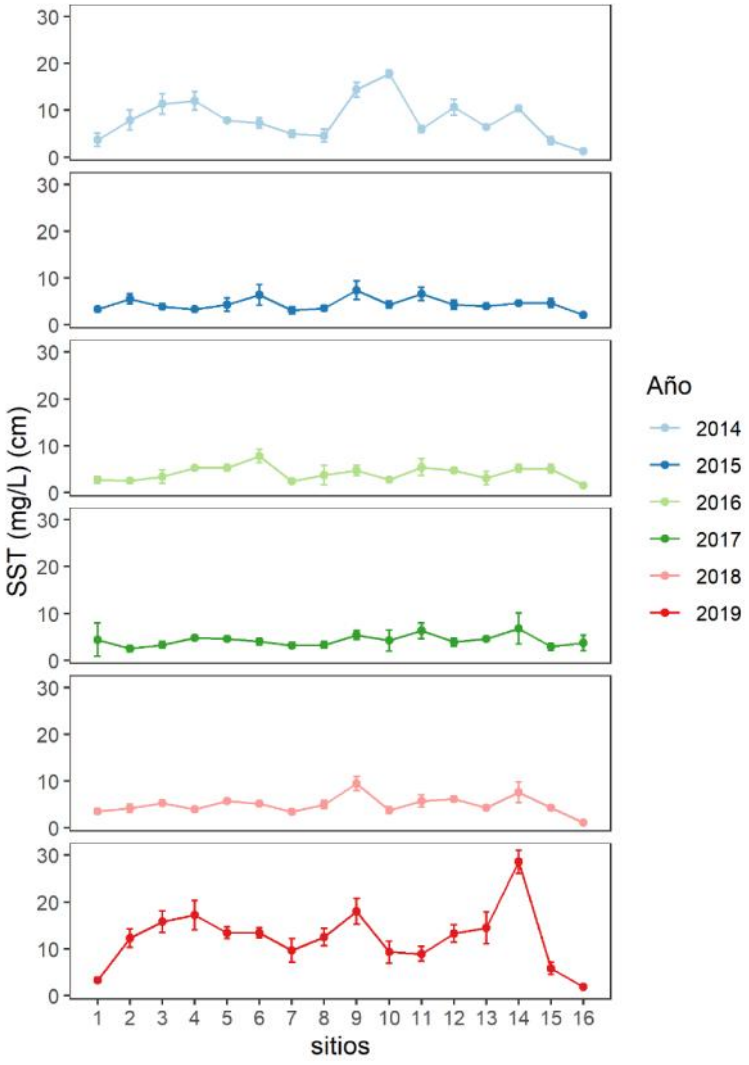


Figura 4.2.1.10. Variación espacial en la concentración de Sólidos Suspendidos Totales (SST) del agua superficial en el área de estudio. Se ilustra el valor promedio para cada sitio y año, junto con un error estádnar. Los sectores de estudio corresponden a: 1. río Cruces, sector San Luis, 2. río Cruces, sector Santa María, 3. río Cruces, sector Isla Rialejo, 4. río Chorocamayo, 5. río Cruces, sector Punucapa, 6. río Cruces, sector Isla Teja, 7. río Nanihue, 8. río Cudico, 9. desembocadura río Pichoy, 10. río Santa María, 11. río Cayumapu interior, 12. desembocadura río Cayumapu, 13. río Tambillo, 14. río San Ramón, 15. río Valdivia, sector Torobayo, 16. río Calle Calle.

Modelamiento de distribución de macrófitas acuáticas

Las observaciones de presencia, en conjunto con las capas de información derivadas de sensores remotos, permitieron generar modelos de distribución para las especies de interés. De manera similar a las campañas anteriores, la bondad de ajuste de los modelos ajustados se evaluó mediante el uso del estadístico correspondiente al área bajo la curva característica operativa del receptor ("Receiver Operating Characteristic curve" o ROC). Este estadístico, el área bajo la curva ROC ("Area under the Curve", o AUC de acuerdo a sus siglas en inglés), corresponde a la estimación del área bajo la curva de Sensitividad (1-Tasa de Omisión) *versus* (1- Especificidad) o la proporción de área predicha por el modelo. En casi todas las especies, se observaron valores de AUC mayores a 0.9, indicando un muy buen ajuste a la información disponible (Tabla 4.2.1.3.).

Se observó que todos los modelos ajustados presentaron un alto grado de ajuste, con valores de AUC de entrenamiento superiores a 0.9, con los valores de AUC en los subconjuntos de validación siendo levemente menores, con diferencias del orden de 0.01-0.02. Ello indica que las validaciones independientes corroboran la validez de la clasificación obtenida mediante estos modelos, pese a las diferencias en estrategia muestral respecto de años previos.

Para la mayoría de las especies estudiadas de macrófitas, los valores de AUC se vieron acompañados de curvas ROC muy homogéneas a través de todas las validaciones cruzadas, indicando una alta consistencia en la clasificación hecha por el modelo a través de todas las réplicas realizadas (Tabla 4.2.1.3).

Tabla 4.2.1.3. Valores de AUC observados para los distintos modelos. Se indican los valores de AUC observados para los modelos de distribución elaborados en base a la imagen satelital obtenida por la misión Landsat 8. Se ilustran los tamaños de muestra y los valores de AUC medio observados, tanto para el subconjunto de calibración como para el subconjunto de validación o prueba. De igual forma se entrega el valor del umbral de corte utilizado. Este corresponde al estadístico TSS, calculado como a suma de la sensitividad y especificidad en el subconjunto de evaluación. Se reportan los resultados promedio obtenidos mediante las presencias registradas a través de observaciones de parches mono-específicos.

	calibración		**validación**		
Especies	**N**	**AUC**	**N**	**AUC**	**TSS**
parches mono específicos					
Egeria densa (Luchecillo)	30	0,962	7	0,923	0,300
Potamogeton pusillus (Huiro de agua dulce)	6	0,955	2	0,946	0,679
Potamogeton lucens (Huiro verde)	16	0,994	4	0,987	0.423
Nymphaea alba (Loto)	100	0,969	20	0,964	0,201
Schoenoplectus californicus (Totora)	35	0,969	9	0,961	0,239
Ludwigia peploides (Clavito de agua)	18	0,992	4	0,989	0,326

Los resultados obtenidos en las curvas ROC promedio se ilustran través de las Figuras 4.2.1.11 a 4.2.1.16. En ellas se puede apreciar el alto rango de valores de AUC observados, los cuales corresponden a modelos con un muy buen ajuste a los datos empleados para calibrar el modelo. A fin de resumir las curvas ajustadas en cada una de las iteraciones de la validación cruzada, la información se resumió usando un ajuste de modelo aditivo generalizado (gam), permitiendo estimar el intervalo de confianza de 95% para el valor medio de la curva ROC (representada por la banda gris alrededor de las líneas representadas en estas gráficas).

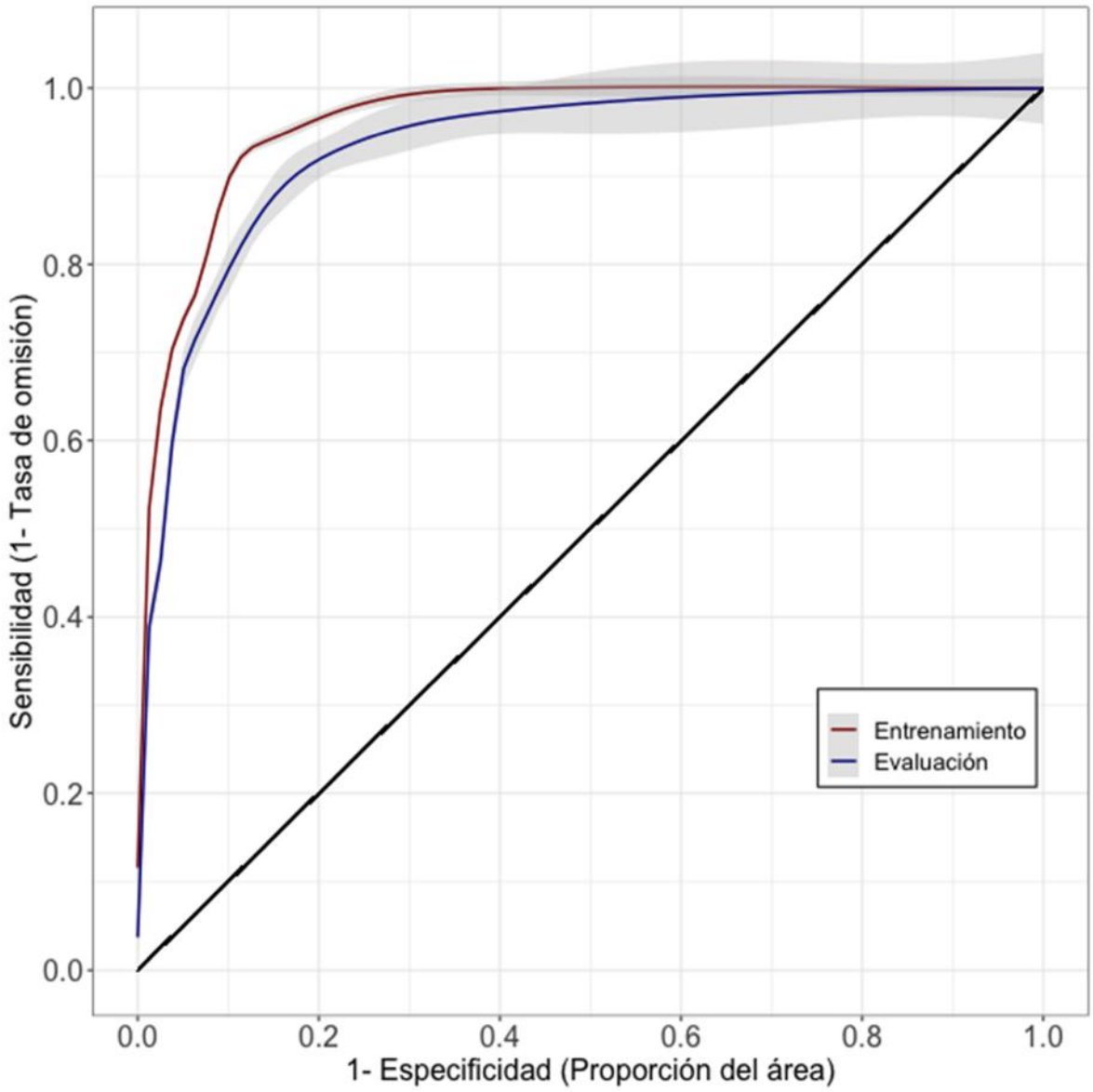


Figura 4.2.1.11. Curva característica Operador-Receptor (ROC) para el modelamiento de distribución de *Egeria densa* (Luchecillo). La Figura ilustra la curva ROC promedio en una línea roja para el subconjunto de sitios de entrenamiento, promediada a través de las cinco validaciones cruzadas, y la curva ROC promedio en una línea azul para el subconjunto de sitios. En ambos casos se ilustra el intervalo de confianza de 95%, calculado mediante una función loess en el entorno de cómputo estadístico R (R Core Team 2017)

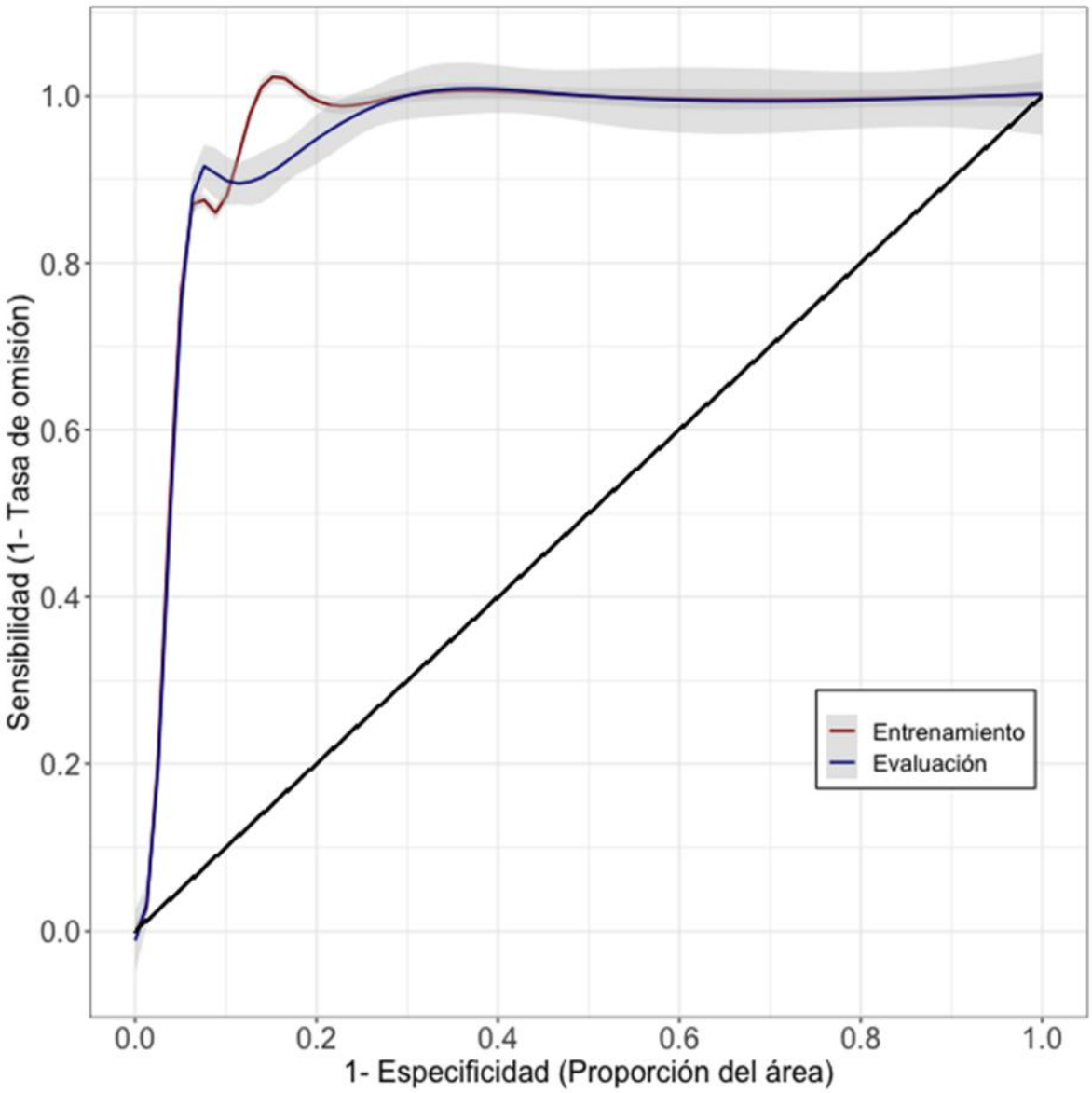


Figura 4.2.1.12. Curva característica Operador-Receptor (ROC) para el modelamiento de distribución de *Potamogeton pusillus* (Huiro de agua dulce). La Figura ilustra la curva ROC promedio en una línea roja para el subconjunto de sitios de entrenamiento, promediada a través de las cinco validaciones cruzadas, y la curva ROC promedio en una línea azul para el subconjunto de sitios. En ambos casos se ilustra el intervalo de confianza de 95%, calculado mediante una función loess en el entorno de cómputo estadístico R (R Core Team 2017)

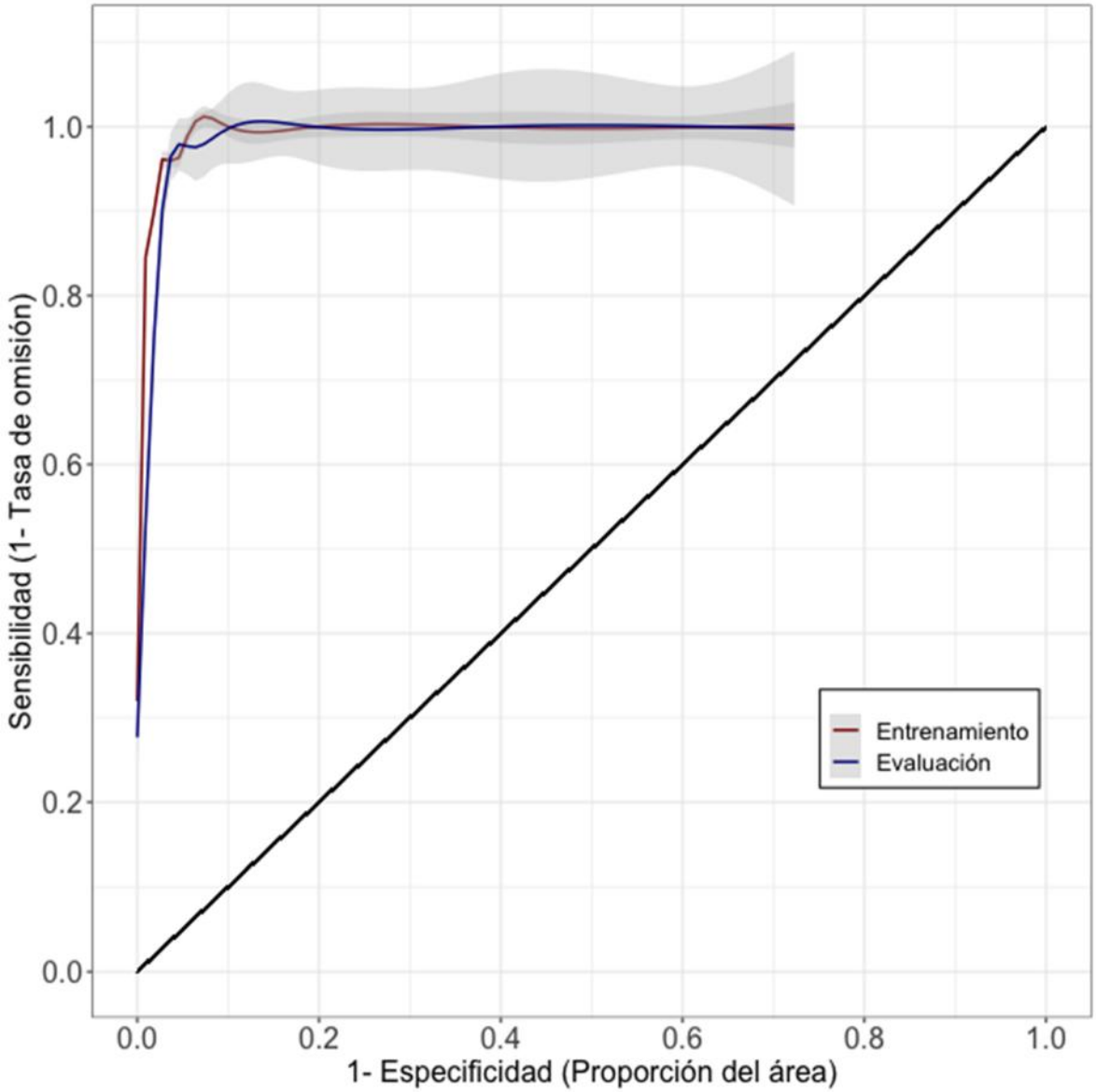


Figura 4.1.1.13. Curva característica Operador-Receptor (ROC) para el modelamiento de distribución de *Potamogeton lucens* (Huiro verde). La Figura ilustra la curva ROC promedio en una línea roja para el subconjunto de sitios de entrenamiento, promediada a través de las cinco validaciones cruzadas, y la curva ROC promedio en una línea azul para el subconjunto de sitios de. En ambos casos se ilustra el intervalo de confianza de 95%, calculado mediante una función loess en el entorno de cómputo estadístico R (R Core Team 2017)

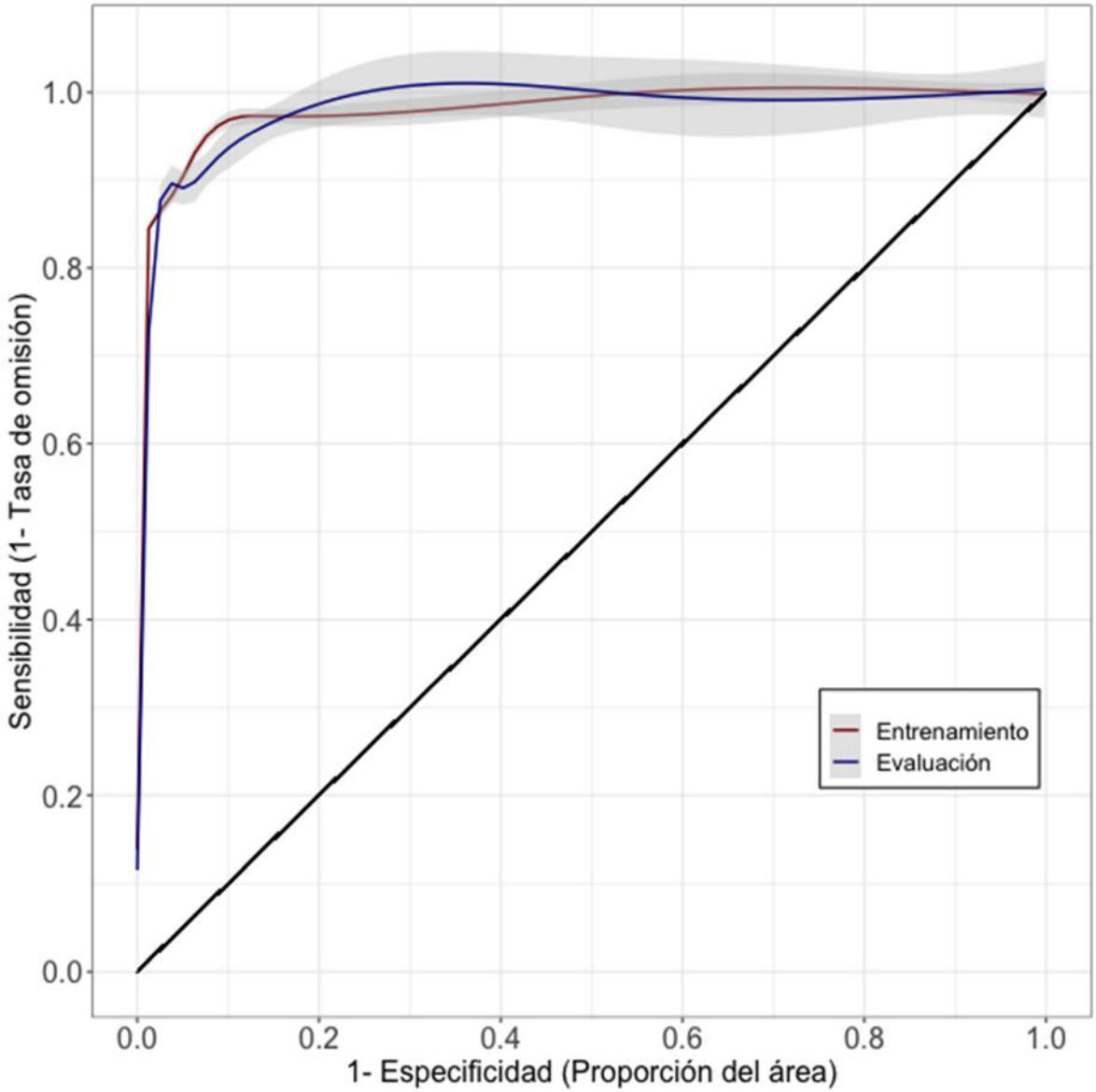


Figura 4.2.1.14. Curva característica Operador-Receptor (ROC) para el modelamiento de distribución de *Nymphaea alba* (Loto). La Figura ilustra la curva ROC promedio en una línea roja para el subconjunto de sitios de entrenamiento, promediada a través de las cinco validaciones cruzadas, y la curva ROC promedio en una línea azul para el subconjunto de sitios. En ambos casos se ilustra el intervalo de confianza de 95%, calculado mediante una función loess en el entorno de cómputo estadístico R (R Core Team 2017)

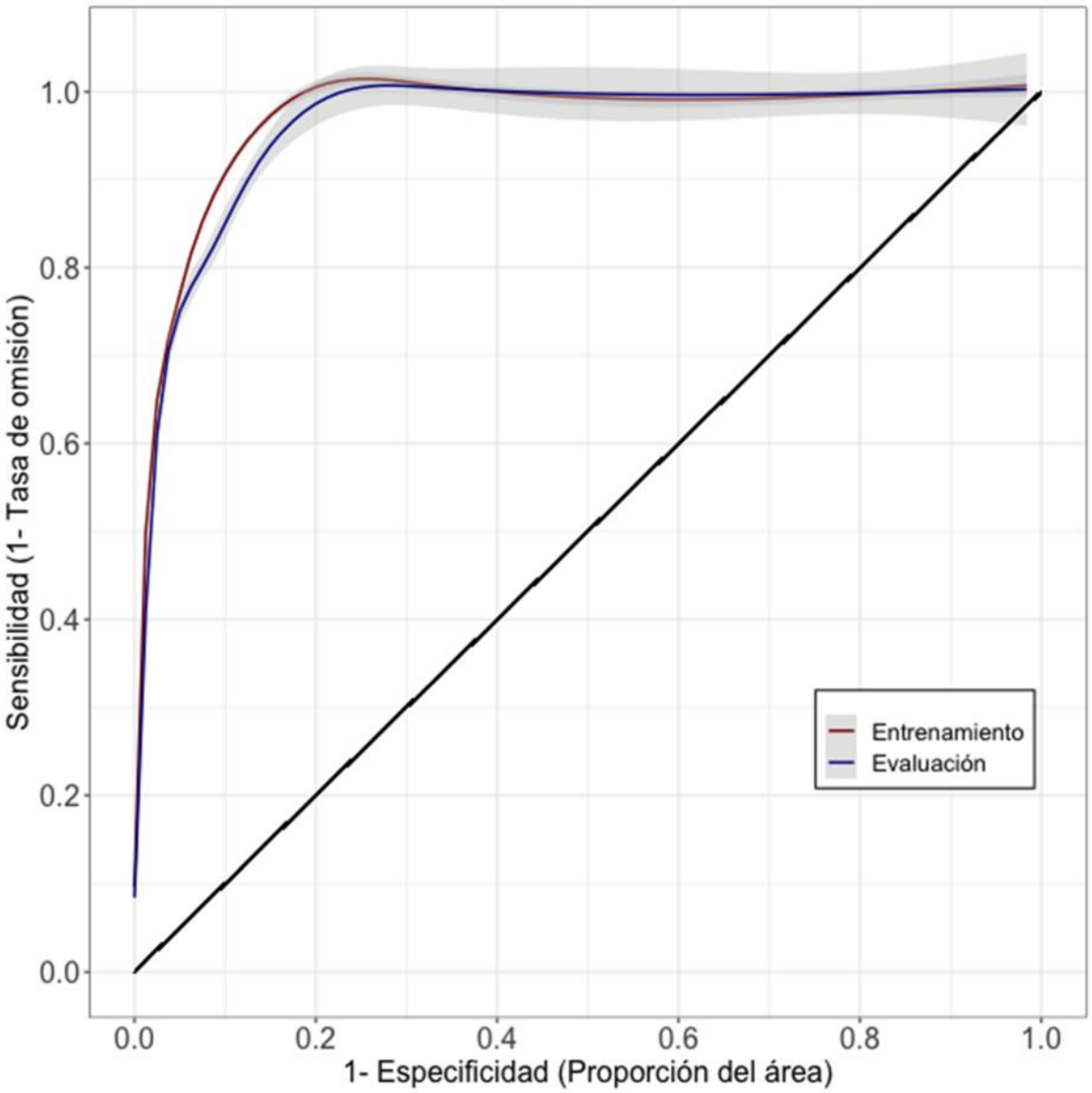


Figura 4.2.1.15. Curva característica Operador-Receptor (ROC) para el modelamiento de distribución de *Schoenoplectus californicus* (Totora). La Figura ilustra la curva ROC promedio en una línea roja para el subconjunto de sitios de entrenamiento, promediada a través de las cinco validaciones cruzadas, y la curva ROC promedio en una línea azul para el subconjunto de sitios. En ambos casos se ilustra el intervalo de confianza de 95%, calculado mediante una función loess en el entorno de cómputo estadístico R (R Core Team 2017)

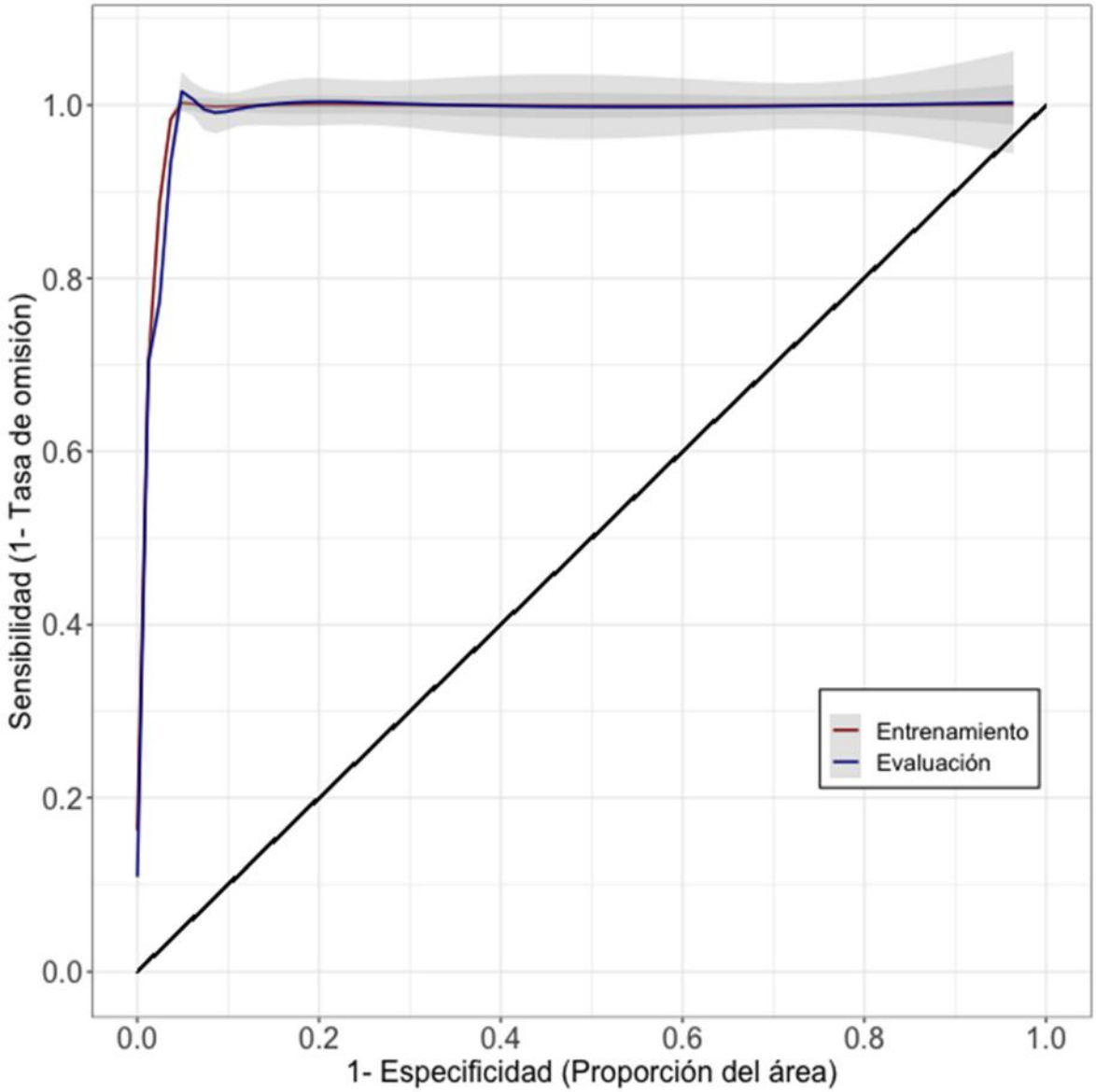


Figura 4.2.1.16. Curva característica Operador-Receptor (ROC) para el modelamiento de distribución de *Ludwigia peploides* (Clavito de agua). La Figura ilustra la curva ROC promedio en una línea roja para el subconjunto de sitios de entrenamiento, promediada a través de las cinco validaciones cruzadas, y la curva ROC promedio en una línea azul para el subconjunto de sitios. En ambos casos se ilustra el intervalo de confianza de 95%, calculado mediante una función loess en el entorno de cómputo estadístico R (R Core Team 2017)

Las distribuciones espaciales ajustadas se caracterizaron por presentar una cobertura extensa y heterogénea de las áreas idóneas para las diferentes especies a lo largo del humedal. De esta forma especies como *Egeria densa* (Luchecillo), *Potamogeton lucens* (Huiro verde) y *Schoenoplectus californicus* (Totora), se caracterizan por presentar una distribución amplia de hábitat favorable a lo largo de todo el humedal del río Cruces, pero acotada en parches discretos.

De manera similar a lo observado en el Programa de Diagnóstico y durante el primer año del Programa de Monitoreo, los resultados obtenidos indican que la información contenida en las imágenes Landsat 8 permite una buena aproximación al modelamiento de la distribución de las macrófitas acuáticas estudiadas. Las Figuras 4.2.1.17 a 4.2.1.22, muestran los mapas de distribución ajustados para todas las especies estudiadas. En general, para todas estas especies se aprecia una distribución heterogenea, con aquellos parches de mayor idoneidad ambiental encontrándose asociados a sectores ribereños o someros. Por otra parte, para *Potamogeton pusillus* (Huiro de agua dulce) (ver Fig. 4.2.1.18), se observa un aumento en la cobertura e idoneidad de hábitat con respecto a lo descrito el año anterior. Estas áreas idóneas se encuentran más concentradas en los sectores centro-sur del humedal, cuando se compara respecto de los resultados de años anteriores. De esta forma, el Huiro de agua dulce presenta una distribución heterogénea y parchosa, con presencia particularmente en los sectores centro-sur del humedal. Si bien esta diferencia en el área proyectada puede deberse al bajo número de observaciones empleadas en el presente estudio, cabe destacar el muy buen desempeño logrado en el ajuste del modelo. De igual forma, se evidencian distribuciones más extensas para otras especies de macrófitas acuáticas.

En la zona central del humedal, se observa que especies como *Egeria densa* (Luchecillo) (Fig. 4.2.1.17), *Potamogeton lucens* (Huiro verde) (Fig. 4.2.1.19), *Nymphaea alba* (Loto) (Fig. 4.2.1.20) y *Schoenoplectus californicus* (Totora) (Figura 4.2.1.21), presentan una concentración de sectores con mayor idoneidad ambiental, mientras que otros sectores se

caracterizan por una mayor idoneidad en sectores ribereños. Esto sugiere que el humedal del río Cruces, presenta actualmente condiciones abióticas favorables para las macrófitas acuáticas, sin evidenciarse ningún sector con características anómalas o desfavorables. En el caso de *Nymphaea alba* (Loto), la distribución ajustada se encuentra restringida a sectores ribereños o aparentemente de profundidades someras (ver Fig. 4.2.1.20). Ello, junto el valor observado del estadístico AUC sugieren que la inspección visual entregó un número adecuado de puntos de entrenamiento para esta especie

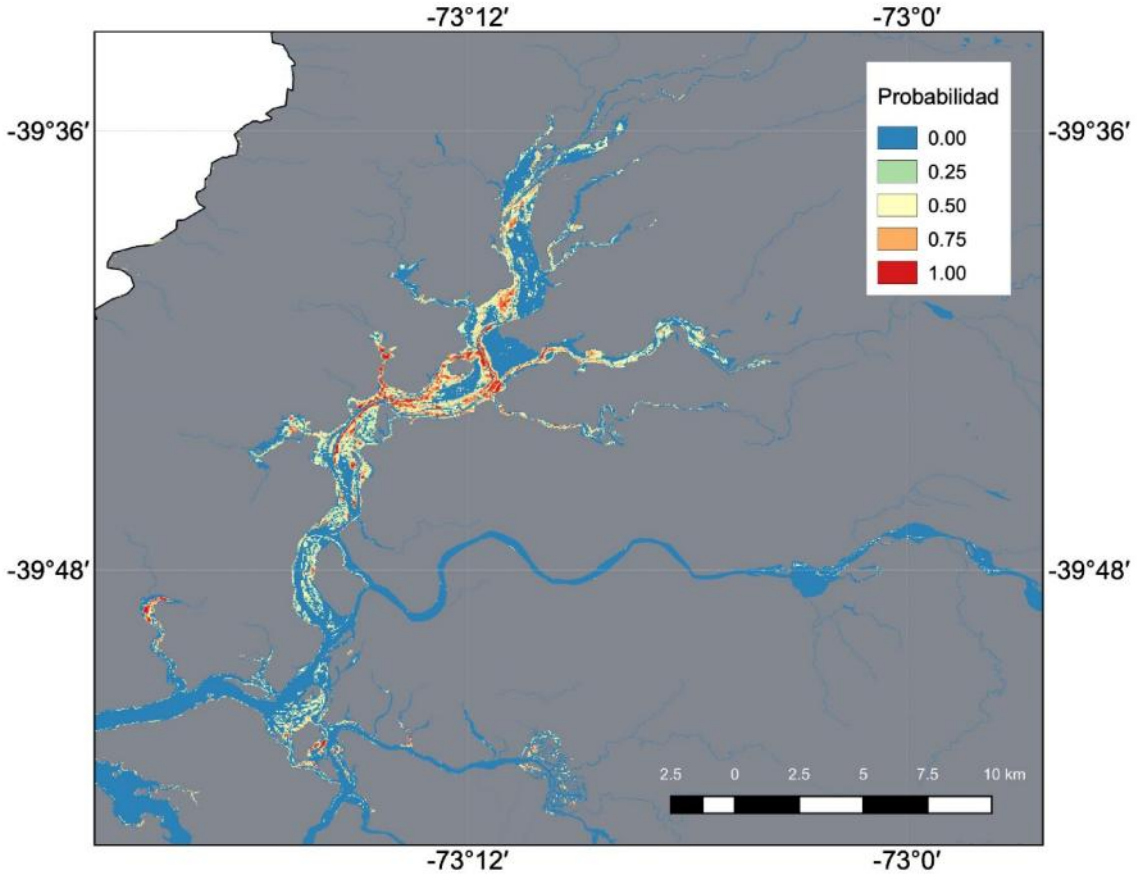


Figura 4.2.1.17. Distribución de *Egeria densa* (Luchecillo) (período estival 2020). La Figura ilustra la presencia del Luchecillo en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las cinco validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono-específicos e imágenes LANDSAT 8.

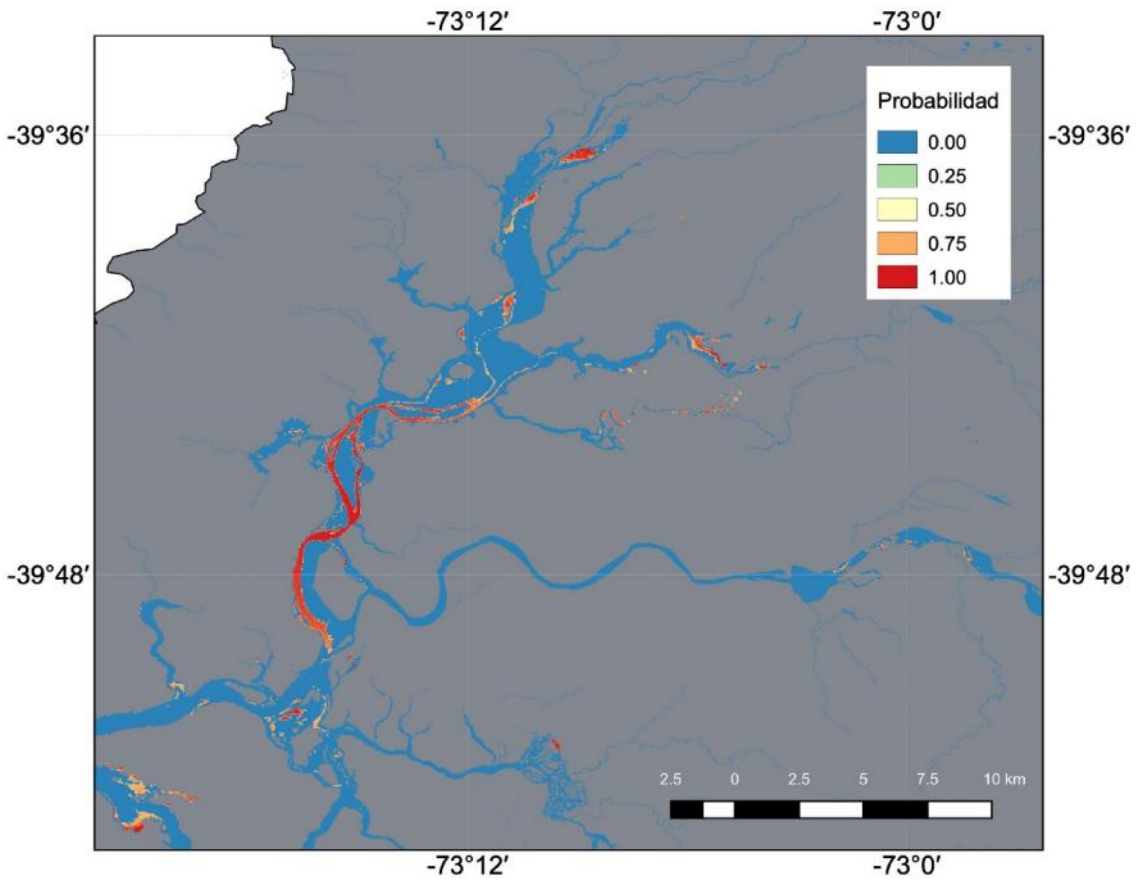


Figura 4.2.1.18. Distribución de *Potamogeton pusillus* (Huiro de agua dulce) (período estival 2020). La Figura ilustra la presencia del Huiro de agua dulce en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las cinco validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono-específicos e imágenes LANDSAT 8.

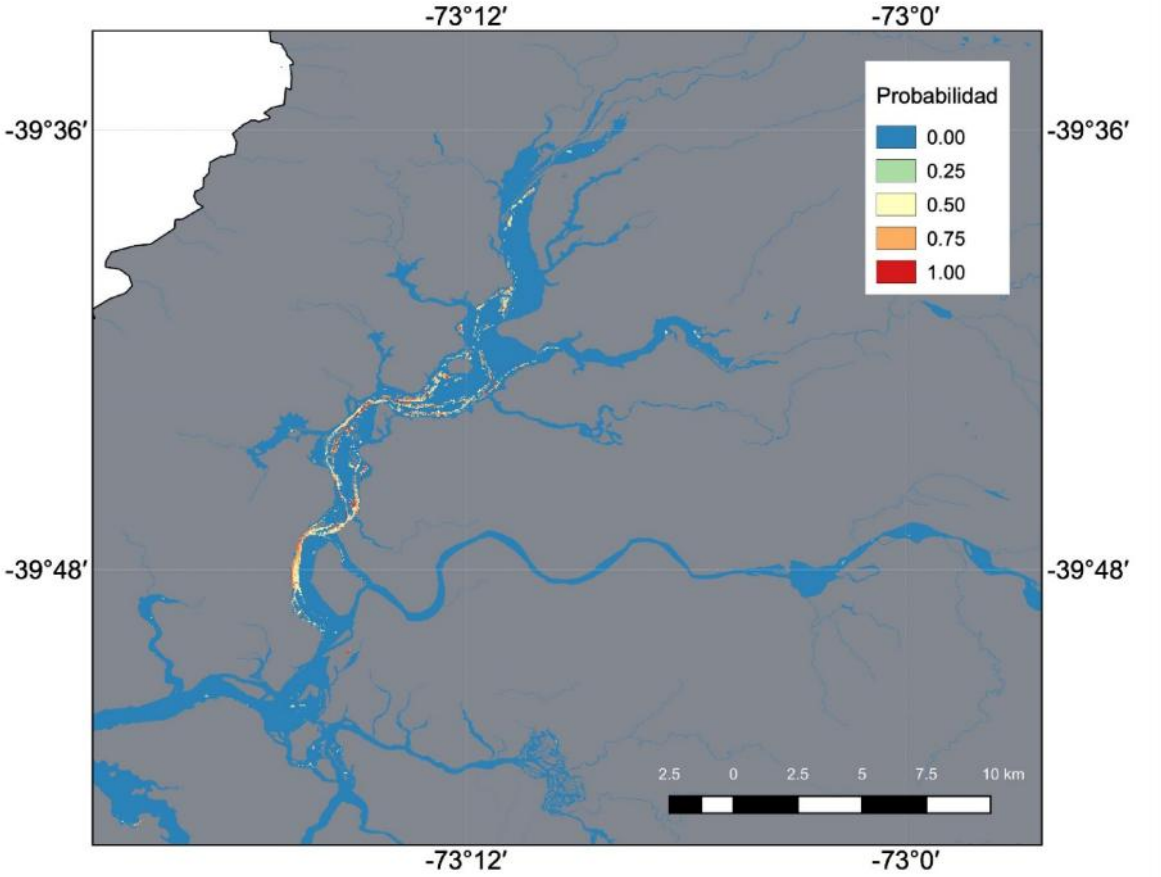


Figura 4.2.1.19. Distribución de *Potamogeton lucens* (Huiro verde) (período estival 2020). La Figura ilustra la presencia del Huiro verde en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las cinco validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches multi y mono-específicos e imágenes LANDSAT 8.

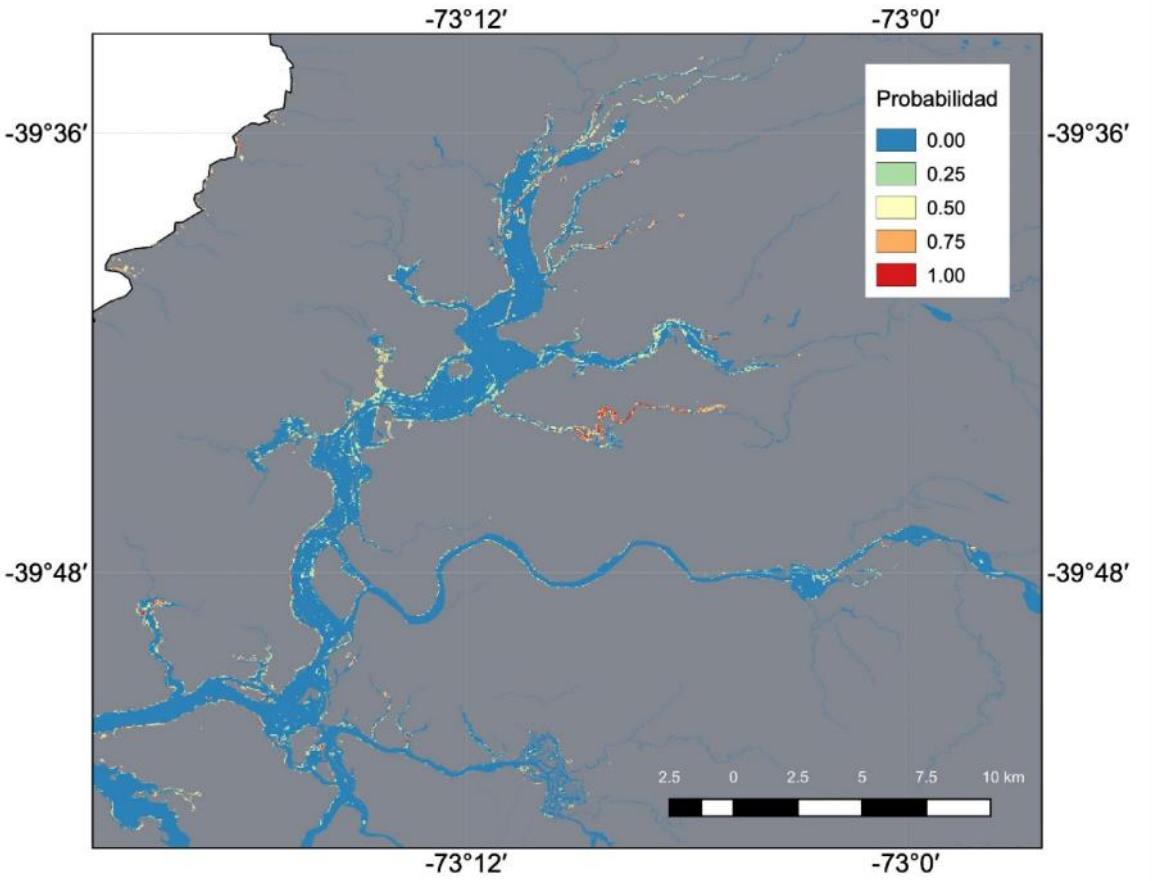


Figura 4.2.1.20. Distribución de *Nymphaea alba* (Loto) (período estival 2020). La Figura ilustra la presencia del Loto en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las cinco validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono-específicos e imágenes LANDSAT 8.

Un patrón similar a lo observado para *Nymphaea alba* (Loto) se aprecia para *Schoenoplectus californicus* (Totora), donde se observa un buen desempeño del modelo entrenado a partir de parches georeferenciados mediante inspección visual. La distribución descrita para esta especie tiende a asociarse también a riberas o sectores de menor profundidad.

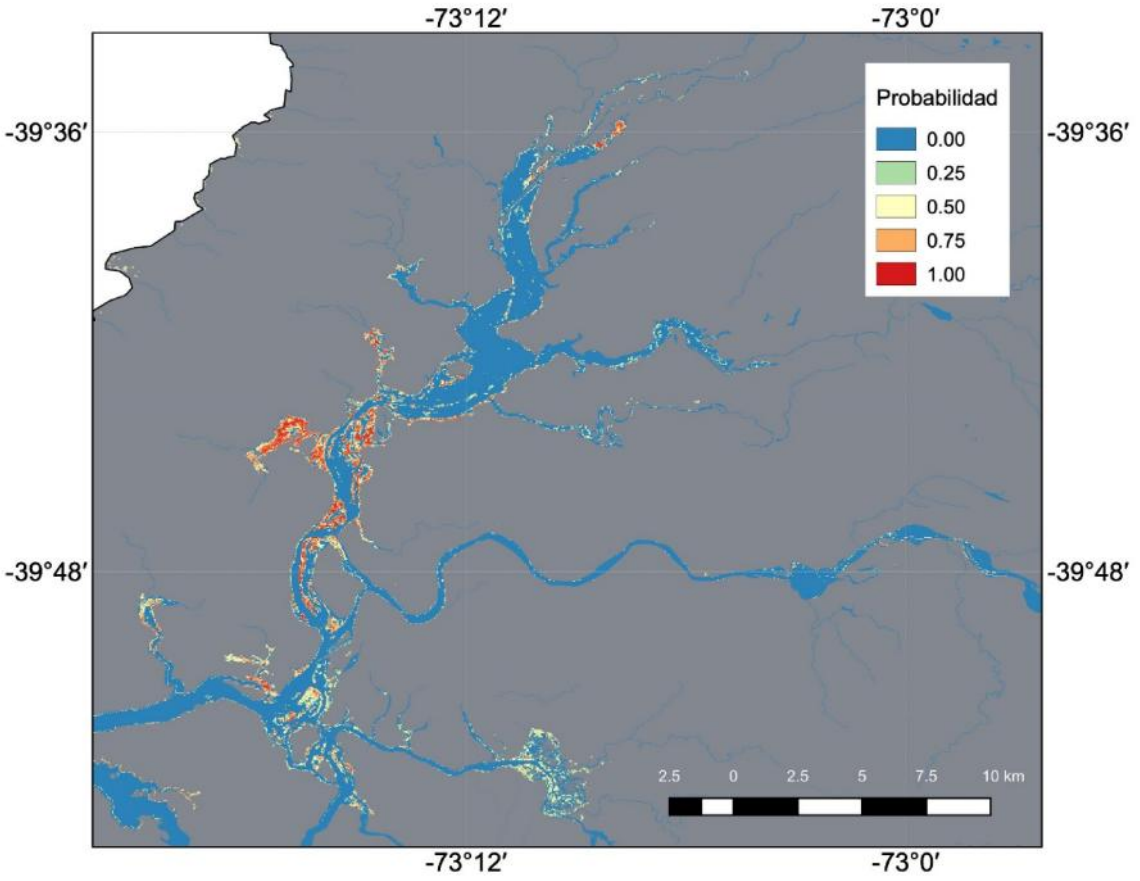


Figura 4.2.1.21. Distribución de *Schoenoplectus californicus* (Totora) (período estival 2020). La Figura ilustra la presencia de la Totora en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las cinco validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono-específicos e imágenes LANDSAT 8.

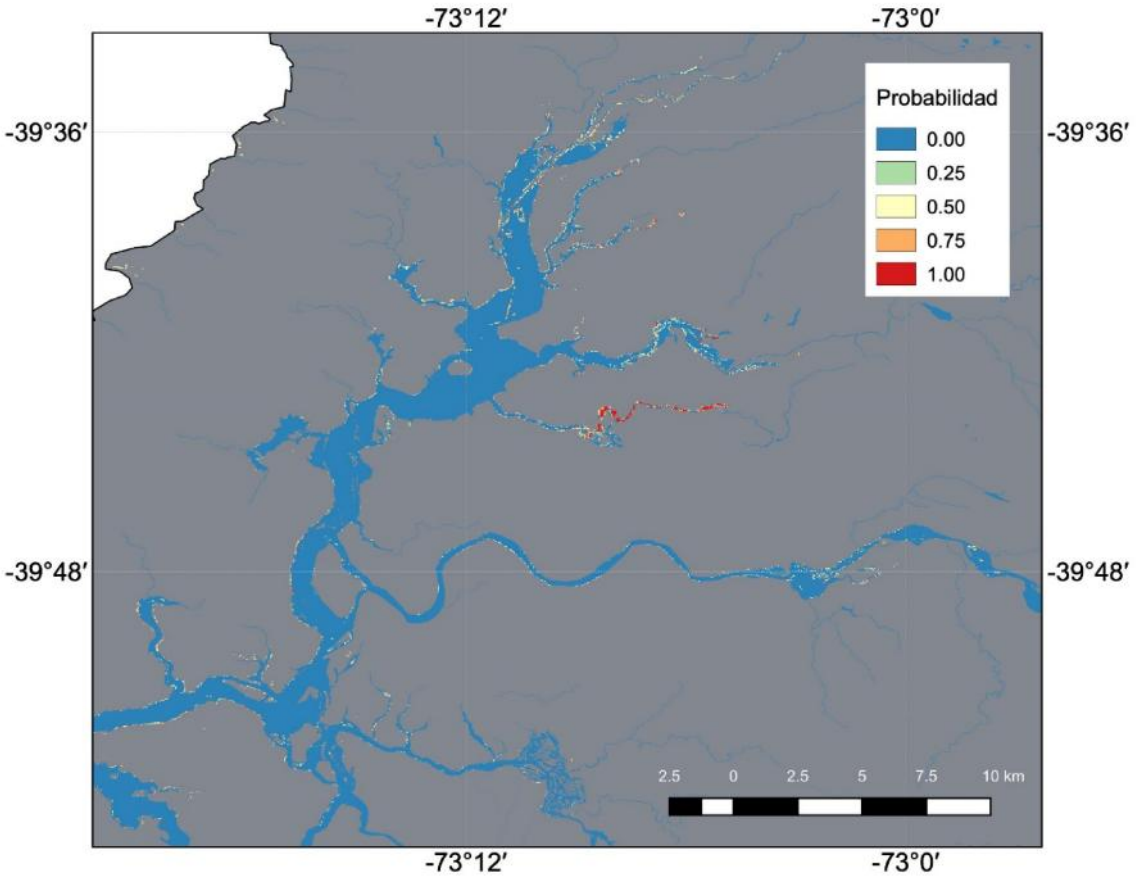


Figura 4.2.1.22. Distribución de *Ludwigia peploides* (Clavito de agua) (período estival 2020). La Figura ilustra la presencia del Clavito de agua en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las cinco validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono-específicos e imágenes LANDSAT 8.

Un resultado notorio en el modelamiento de distribución es la importante disminución en representación de *Potamogeton pusillus* (Huiro de agua dulce) a lo largo del humedal. Ello se debe tanto al bajo número de muestras de parches mono-específicos, como en un valor umbral de TSS más alto, que tienen como resultado una distribución modelada más restringida. De igual forma, para *Nymphaea alba* (Loto), se evidencia una fuerte disminución en la cobertura de hábitat idóneo descrita por el modelo, no

observándose lo mismo en el caso de *Schoenoplectus californicus* (Totora). Ello probablemente refleja la baja incidencia de parches de gran tamaño en las imágenes de sobrevuelo mediante UAV inspeccionadas en el presente informe. Estos resultados podrían modificarse en la medida que se realice un monitoreo más intensivo en terreno. Sin embargo, dada la baja incidencia de esta especie como hábitat o dieta de los principales objetos de conservación estudiados en el Humedal del Río Cruces y sus tributarios, ello requeriría un esfuerzo adicional. Finalmente, cabe señalar que al igual que en el muestreo anterior, *Sagittaria montevidensis* (Flecha de agua) estuvo ausente, presentando ausencia de parches dominantes. Ello indica como algunas especies subdominantes pueden presentar importantes variaciones en su distribución. A fin de evaluar la presencia de tendencias temporales en la distribución de las macrófitas acuáticas estudiadas, y posibles repercusiones de la estrategia de muestreo aplicada en el presente informe, se analizan los resultados del re-entrenamiento y proyección de los modelos de distribución para las distintas especies en los periodos correspondientes al Programa de Diagnóstico y a los cuatro primeros años del Programa de Monitoreo (2015 – 2019). Las Figuras 4.2.1.23 a 4.2.1.29 ilustran la variación espacial y temporal observadas para cada una de las macrófitas acuáticas estudiadas en los Programas de Diagnóstico y Monitoreo.

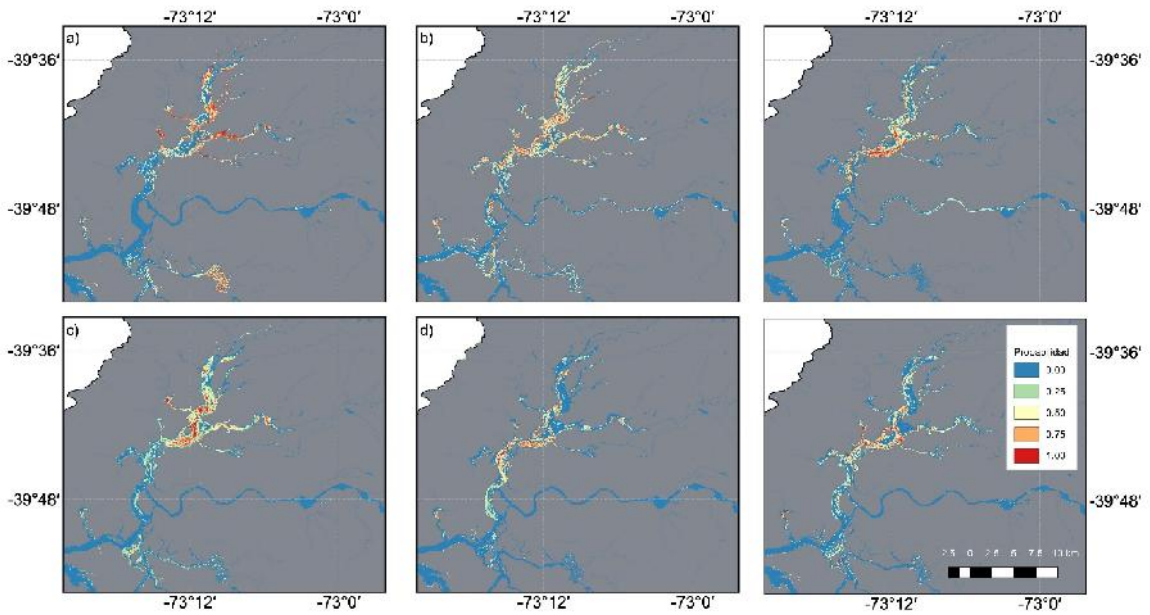


Figura 4.2.1.23. Serie de tiempo de distribución de *Egeria densa* (Luchecillo). La Figura ilustra la presencia del Luchecillo en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. La Figura ilustra los datos para a) 2014-2015; b) 2015-2016; c) 2016-2017; d) 2017-2018; e) 2018-2019 y f) 2019-2020. En cada una de las figuras se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las cinco validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono-específicos e imágenes LANDSAT 8 de los programas de Diagnóstico y Monitoreo del humedal del río Cruces.

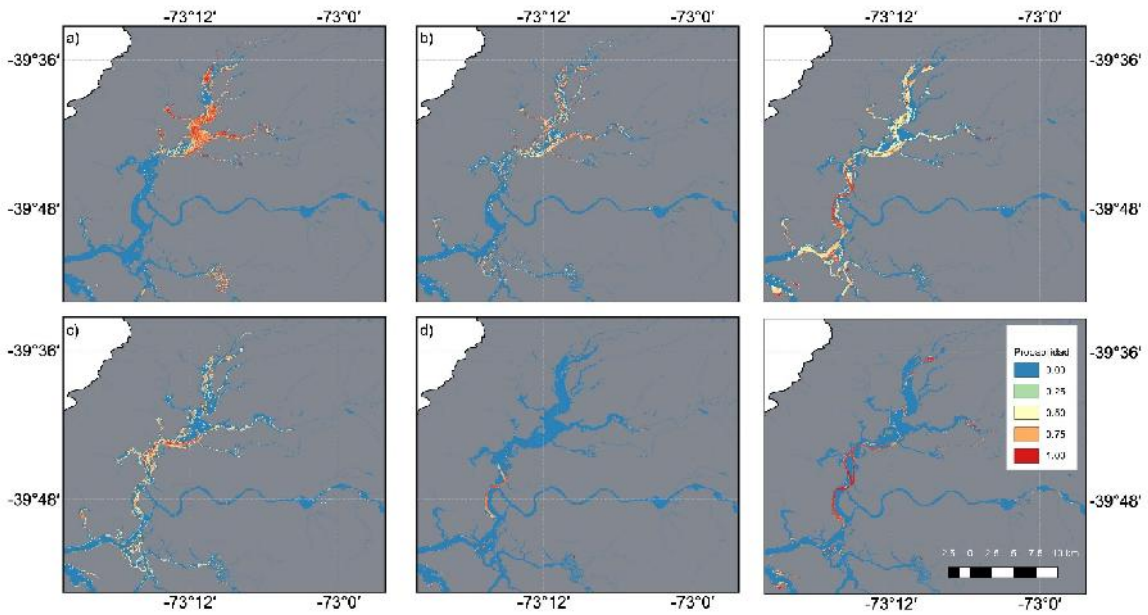


Figura 4.2.1.24. Serie de tiempo de distribución de *Potamogeton pusillus* (Huiro de agua dulce). La Figura ilustra la presencia del Huiro de agua dulce en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. La Figura ilustra los datos para a) 2014-2015; b) 2015-2016; c) 2016-2017; d) 2017-2018; e) 2018-2019 y f) 2019-2020. En cada una de las figuras se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las cinco validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono-específicos e imágenes LANDSAT 8 de los programas de Diagnóstico y Monitoreo del humedal del río Cruces.

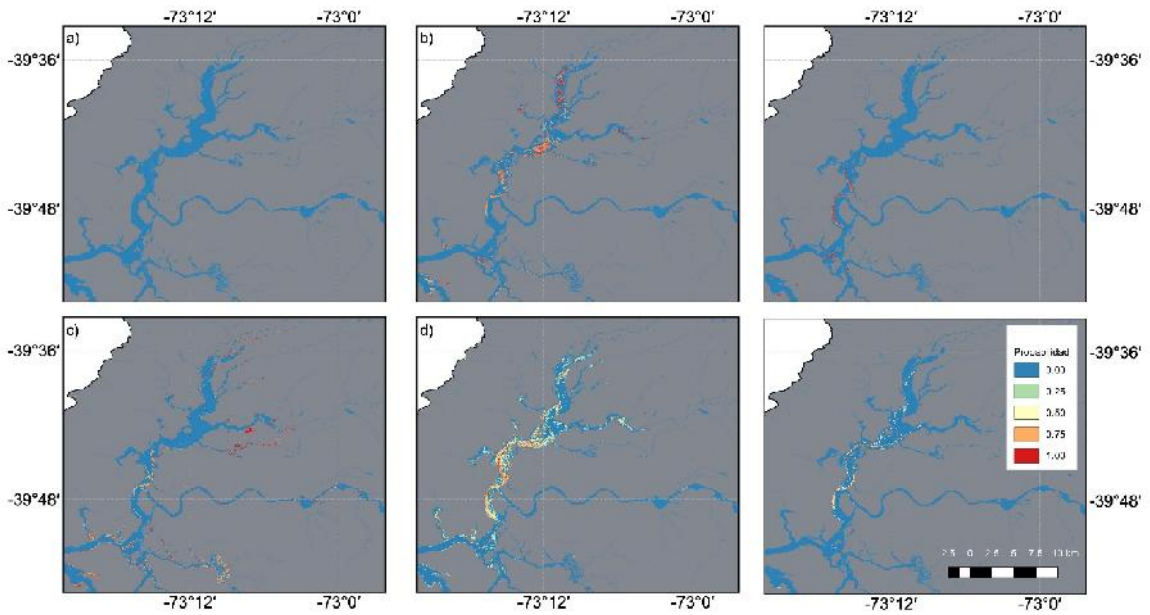


Figura 4.2.1.25. Serie de tiempo de distribución de *Potamogeton lucens* (Huiro verde). La Figura ilustra la presencia del Huiro verde en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. La Figura ilustra los datos para a) 2014-2015; b) 2015-2016; c) 2016-2017; d) 2017-2018; e) 2018-2019 y f) 2019-20. En cada una de las figuras se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las cinco validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono-específicos e imágenes LANDSAT 8 de los programas de Diagnóstico y Monitoreo del humedal del río Cruces.

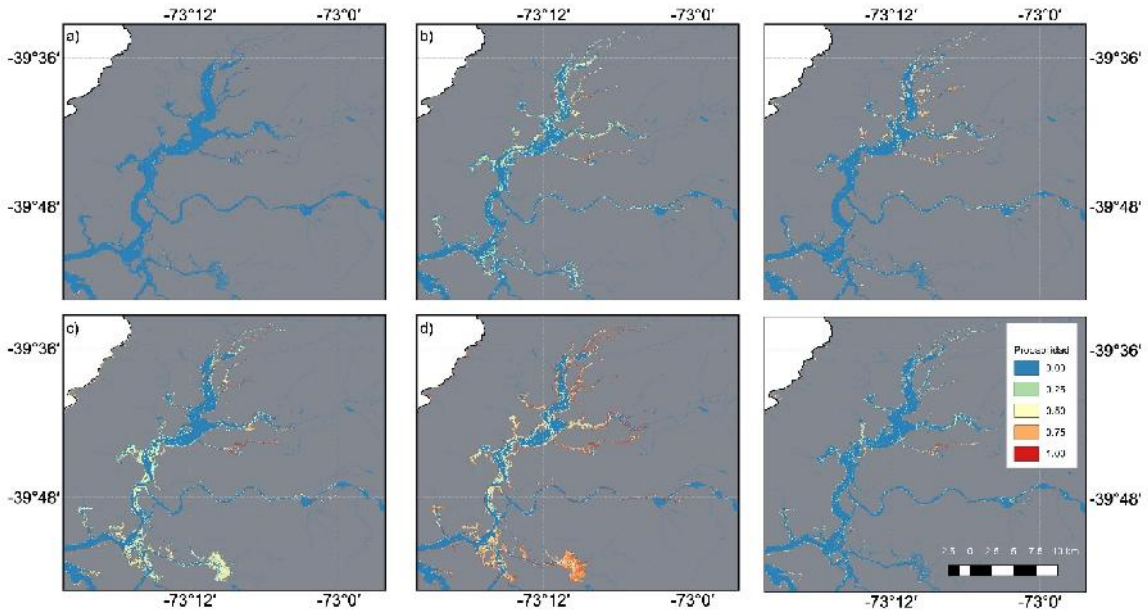


Figura 4.2.1.26. Serie de tiempo de distribución de *Nymphaea alba* (Loto). La Figura ilustra la presencia del Loto en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. La Figura ilustra los datos para a) 2014-2015; b) 2015-2016; c) 2016-2017; d) 2017-2018; e) 2018-2019 y f) 2019-2020. En cada una de las figuras se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las cinco validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono-específicos e imágenes LANDSAT 8 de los programas de Diagnóstico y Monitoreo del humedal del río Cruces.

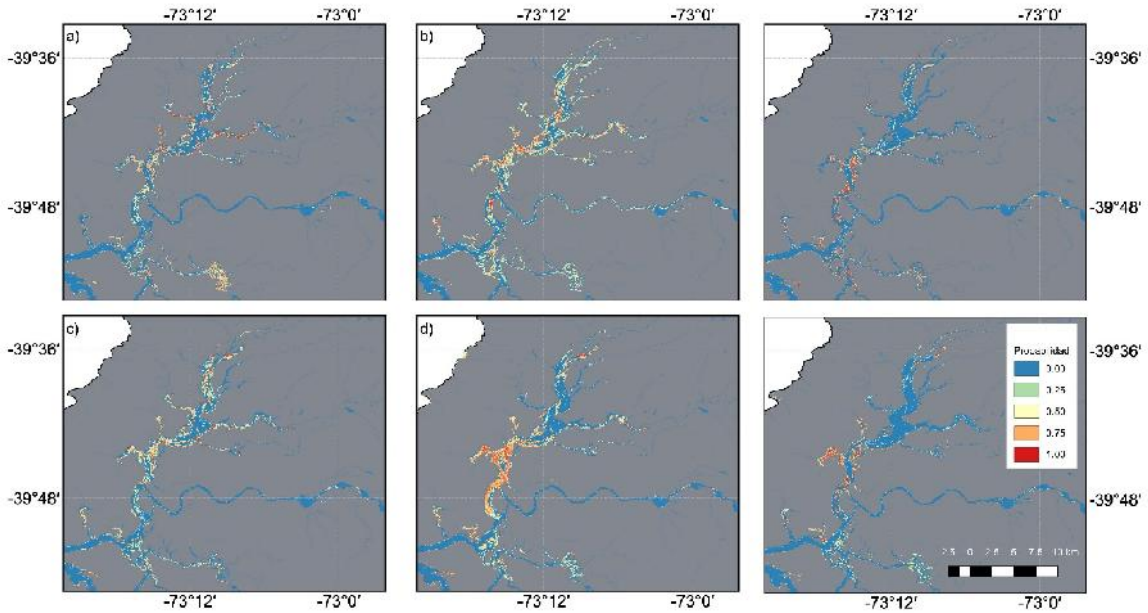


Figura 4.2.1.27. Serie de tiempo de distribución de *Schoenoplectus californicus* (Totora). La Figura ilustra la presencia de la Totora en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. La Figura ilustra los datos para a) 2014-2015; b) 2015-2016; c) 2016-2017; d) 2017-2018; e) 2018-2019 y f) 2019-2020. En cada una de las figuras se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las cinco validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono-específicos e imágenes LANDSAT 8 de los programas de Diagnóstico y Monitoreo del humedal del río Cruces.

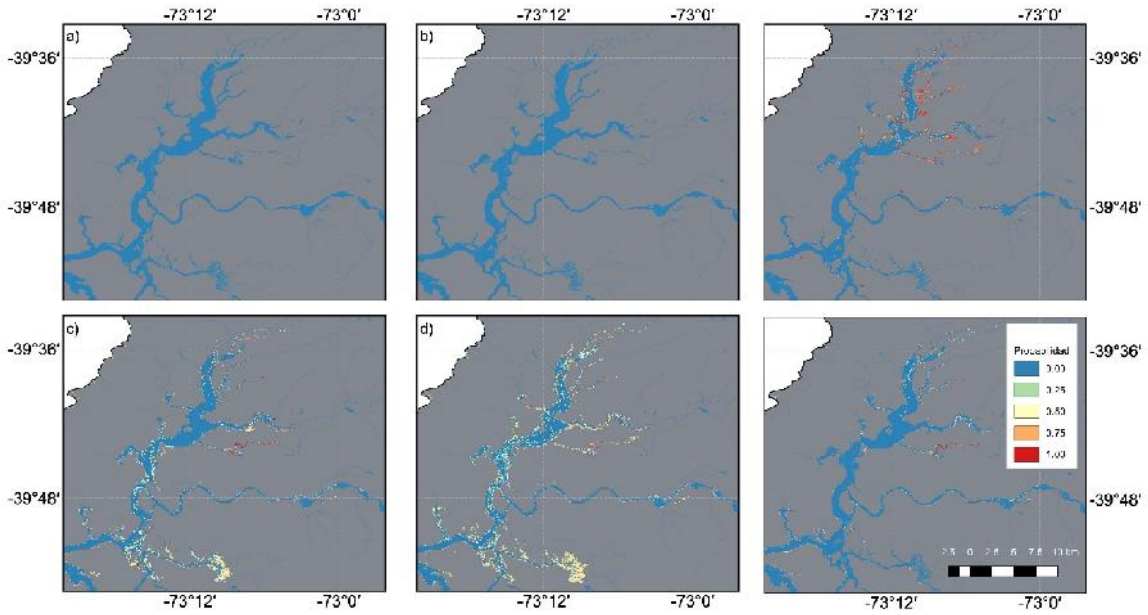


Figura 4.2.1.28. Serie de tiempo de distribución de *Ludwigia peploides* (Clavito de agua). La Figura ilustra la presencia del Clavito de agua en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. La Figura ilustra los datos para a) 2014-2015; b) 2015-2016; c) 2016-2017; d) 2017-2018; e) 2018-2019 y f) 2019-2020. En cada una de las figuras se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las cinco validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono específicos e imágenes LANDSAT 8 de los programas de Diagnóstico y Monitoreo del humedal del río Cruces.

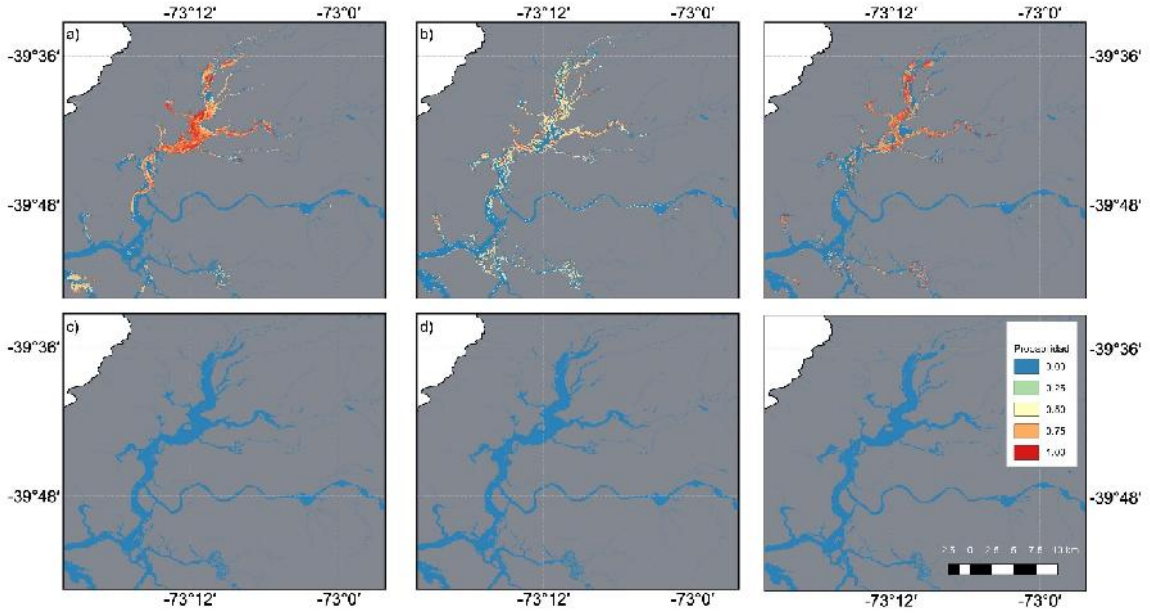


Figura 4.2.1.29. Serie de tiempo de distribución de *Sagittaria montevidensis* (Flecha de Agua). La Figura ilustra la presencia de la Flecha de agua en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. La Figura ilustra los datos para a) 2014-2015; b) 2015-2016; c) 2016-2017; d) 2017-2018; e) 2018-2019 y f) 2019-2020. Nótese la ausencia de la especie a partir de la temporada 2018-2019. En cada una de las figuras se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las cinco validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono específicos e imágenes LANDSAT 8 de los programas de Diagnóstico y Monitoreo del humedal del río Cruces.

Variación espacio-temporal en los indicadores de sensores remotos para la calidad de agua

Además de la medición *in situ* de parámetros de calidad de agua, en el presente estudio se examinó la variación espacio temporal para la reflectancia en distintos sectores del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios; específicamente en aquellos sectores delimitados por los polígonos de estudio.

Las Figuras 4.2.1.30 a 4.2.1.33 ilustran la variación en los valores de reflectancia correspondientes a las bandas 2 a 5 del sensor OLI (Satélites LANDSAT 4 y 5). Las bandas 2 a 4 corresponden al espectro de luz visible (luz azul, verde y roja respectivamente), mientras

que la banda 5 corresponde a la información correspondiente al espectro infrarrojo cercano (NIR) (ver Tabla 4.2.1.1). La banda azul, verde y roja permiten evaluar diferencias en la transparencia del agua, debidas principalmente a variación en la turbidez y/o presencia de solidos suspendidos totales en el curso de agua. Por otra parte, la reflectancia de la banda infrarroja cercana permite determinar cambios en la cobertura de macrófitas acuáticas sumergidas (Lagos *et al.,* 2008).

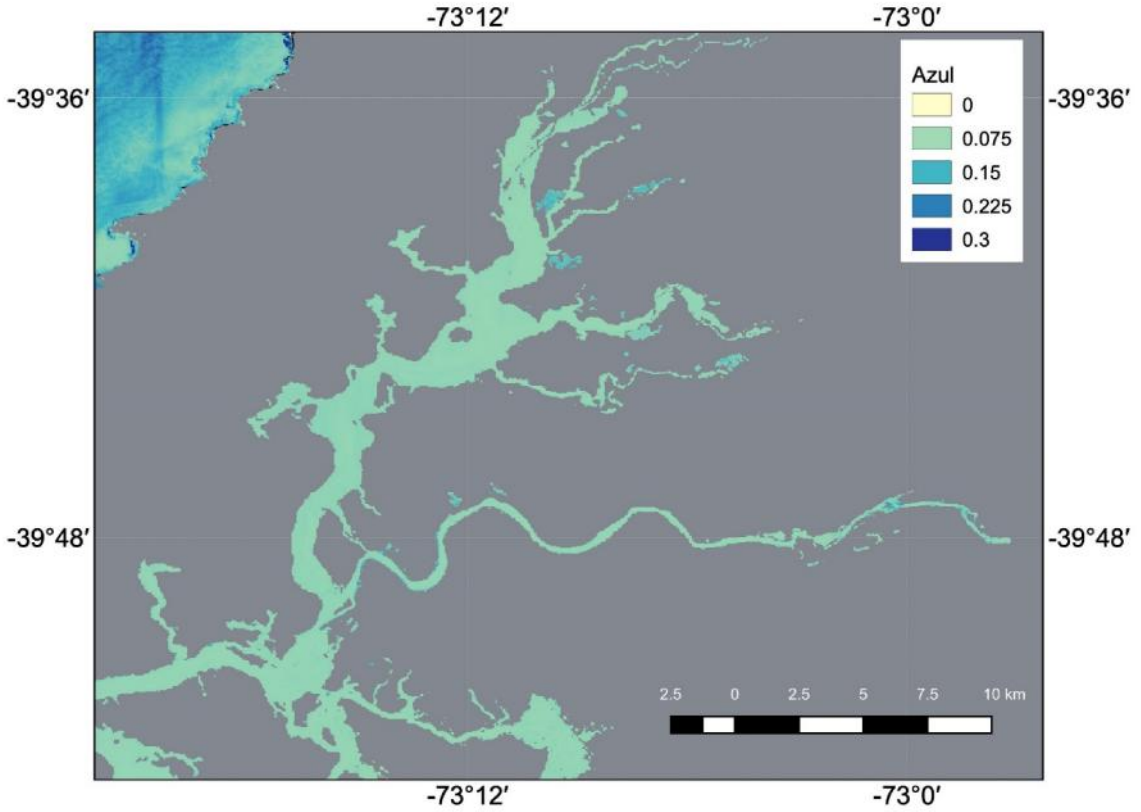


Figura 4.2.1.30. Reflectancia de la banda azul en el área de estudio. Se ilustra una imagen de pseudo-color, basada en la banda azul (banda 2) del sensor Landsat 8. La imagen corresponde al día 5 de febrero del año 2018. Imagen proyectada en coordenadas WSG 84.

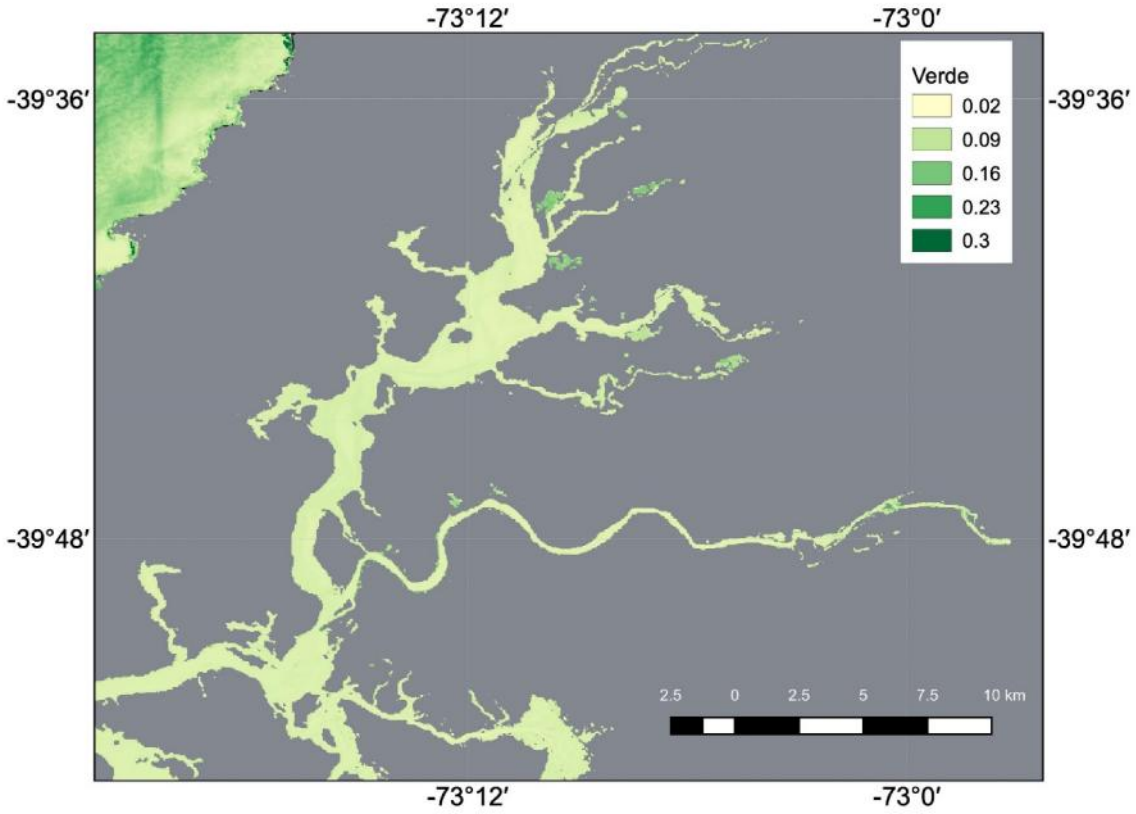


Figura 4.2.1.31. Reflectancia de la banda verde en el área de estudio. Se ilustra una imagen de pseudo-color, basada en la banda verde (banda 3) del sensor Landsat 8. La imagen corresponde al día 5 de febrero del año 2018. Imagen proyectada en coordenadas WSG 84.

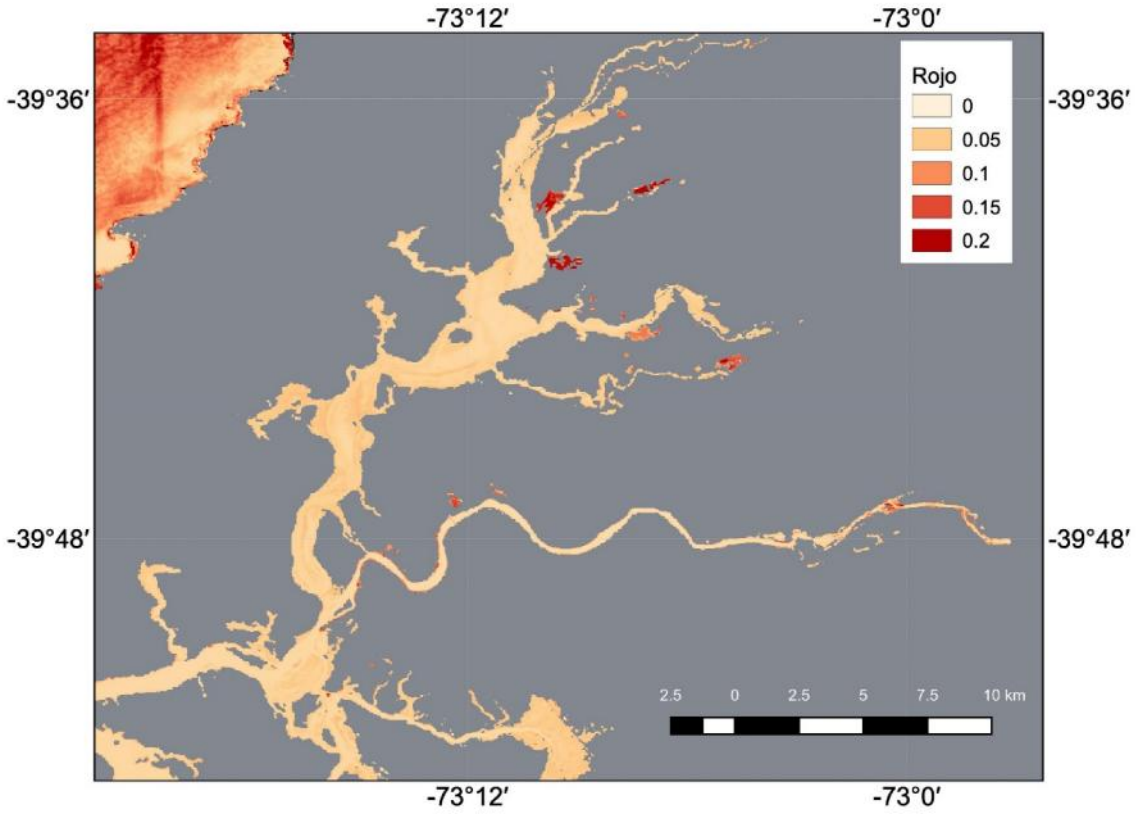


Figura 4.2.1.32. Reflectancia de la banda roja en el área de estudio. Se ilustra una imagen de pseudo-color, basada en la banda roja (banda 4) del sensor Landsat 8. La imagen corresponde al día 5 de febrero del año 2018. Imagen proyectada en coordenadas WSG 84.

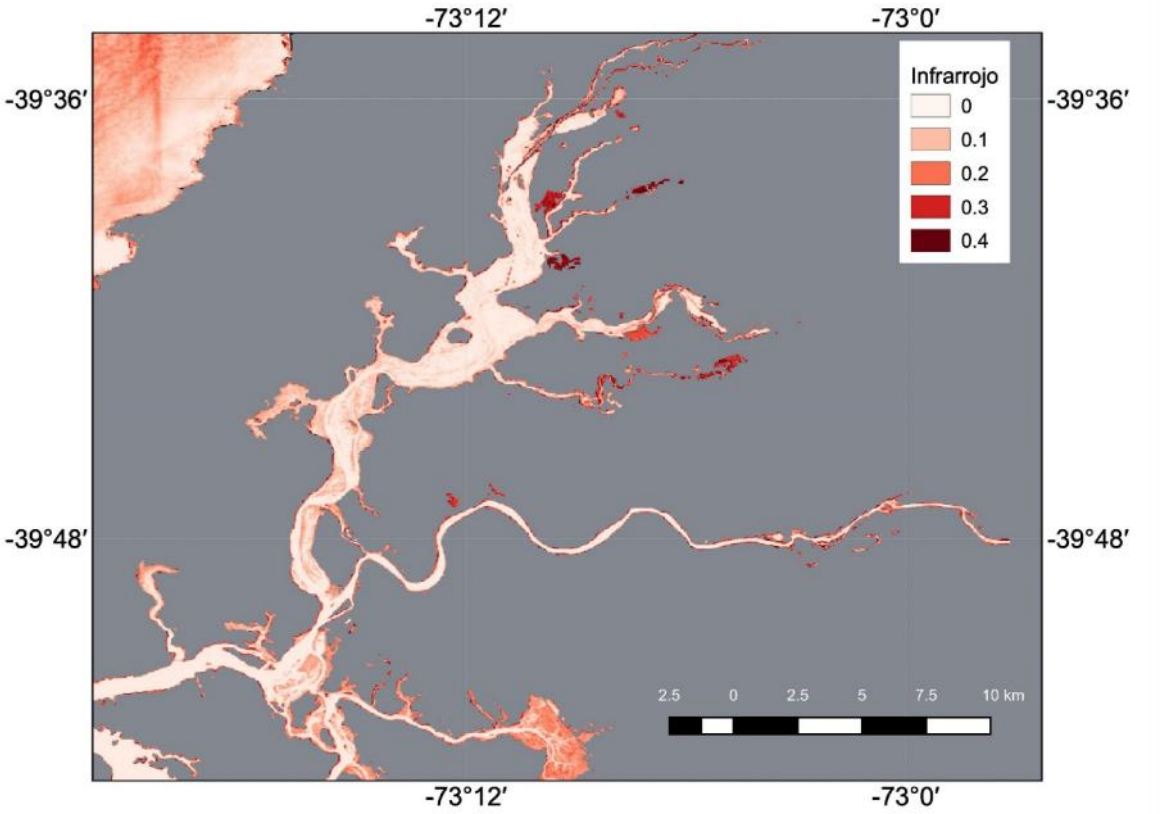


Figura 4.2.1.33. Reflectancia de la banda Infrarroja en el área de estudio. Se ilustra una imagen de pseudo-color, basada en la banda Infrarroja cercana (banda 5) del sensor Landsat 8. La imagen corresponde al día 5 de febrero del año 2018. Imagen proyectada en coordenadas WSG 84.

Tal como se ha mencionado anteriormente, estudios previos en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios han examinado la variación en la calidad del agua (Mulsow & Grandjean, 2006; Lagos *et al.,* 2008). En particular, Lagos *et al.* (2008) distinguieron tres zonas correspondientes a las secciones norte, centro y sur de la zona del humedal del río Cruces. Si bien en el presente estudio se han empleado sectores de mayor resolución (ver Fig. 4.2.1.8), es posible relacionar nuestros resultados con las grandes zonas descritas en el trabajo de Lagos *et al.* (2008). En la Figura 4.2.1.34 se muestra la ubicación relativa de las grandes tres zonas descritas por Lagos *et al.* (2008), así como los polígonos correspondientes a cada uno de los sectores estudiados en el presente informe.

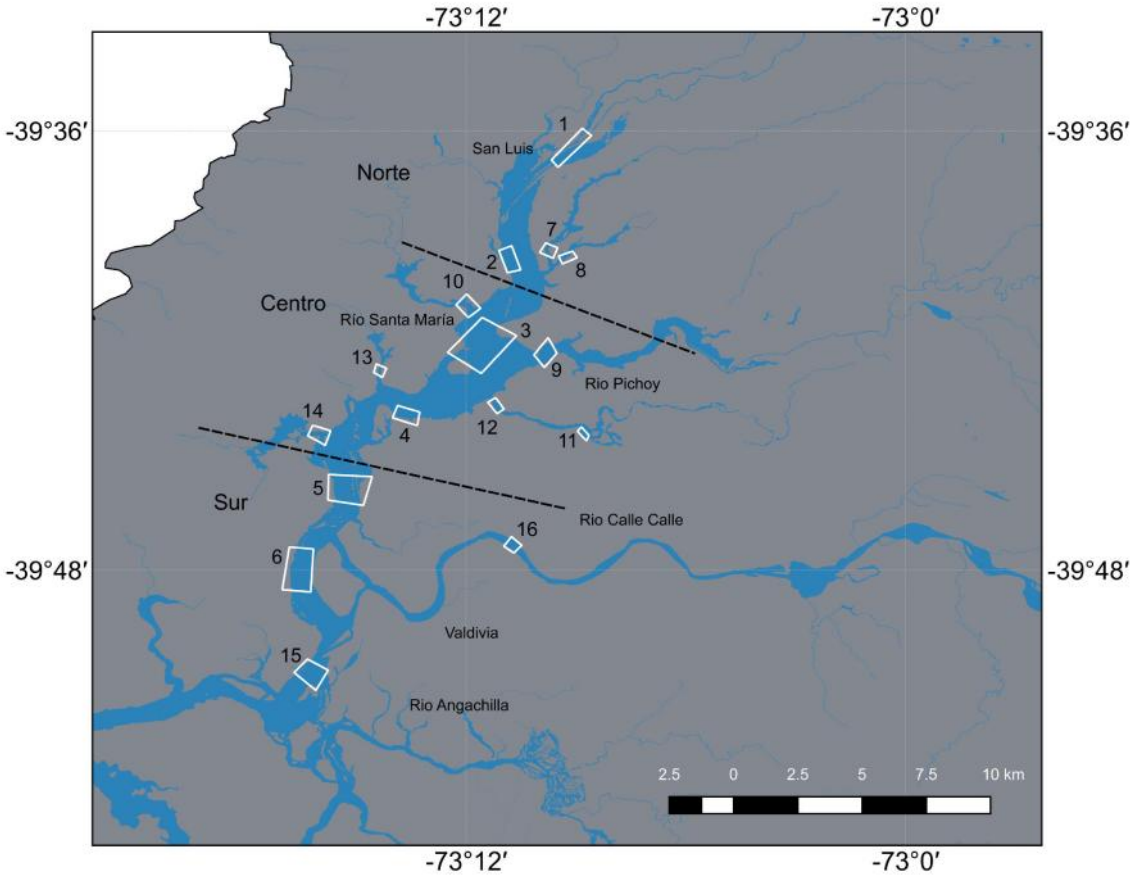


Figura 4.2.1.34. Definición de zonas dentro del humedal. Se ilustran las tres zonas principales del humedal (norte, centro y sur), junto con los polígonos para cada sector de estudio para el cálculo de cobertura de macrófitas acuáticas y estimación de parámetros de calidad de agua. La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales cursos de agua en la región de estudio. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18 Sur.

En el caso del sector norte del humedal, correspondiente a los sitios de San Luis, (polígono 1), sector Santa María (polígono 2), y los ríos Nanihue y Cudico (polígonos 7 y 8, respectivamente) (Fig. 4.2.1.35), solo se observan diferencias en los valores de reflectancia para los datos correspondientes al infrarrojo cercano, que son levemente mayores en el sector de Nanihue. Cabe señalar que estos valores están dos órdenes de magnitud por debajo a lo observado anteriormente por Lagos *et al*. (2008). No obstante, su magnitud es

mayor a lo observado en el año 2018, indicando una disminución en la calidad del agua en el humedal del Río Cruces y sus tributarios para estos sectores en el periodo reportado.

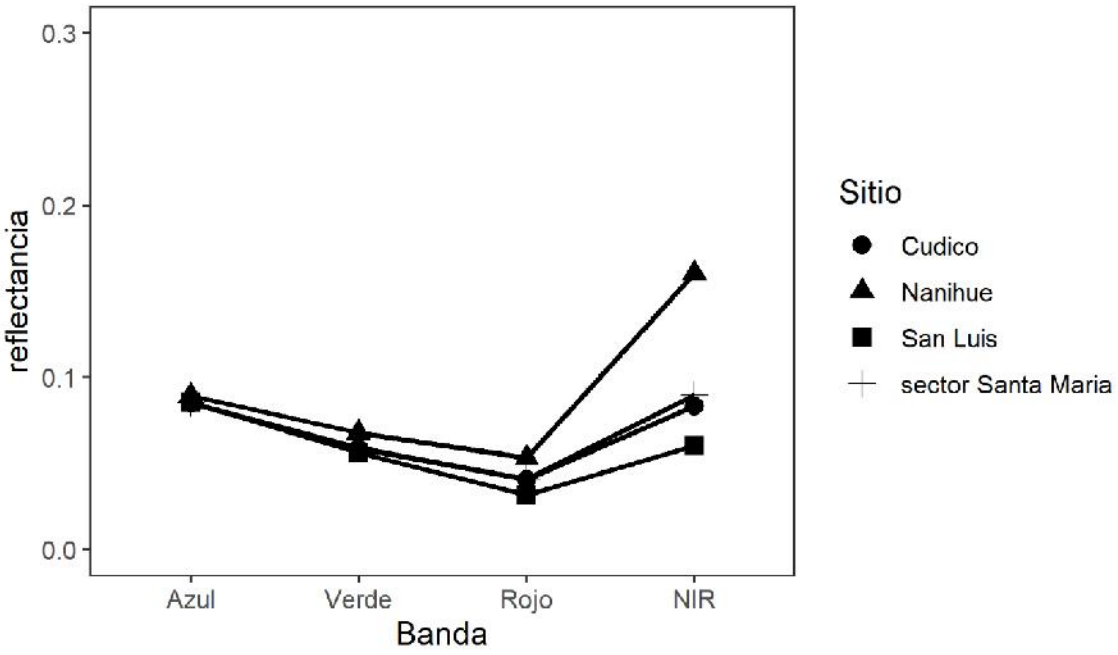


Figura 4.2.1.35. Variación espacial en la reflectancia el sector norte del humedal. Se ilustra el valor promedio de reflectancia observada para las bandas azul, verde, roja e infrarroja cercana del sensor Landsat 8.

En el sector central del humedal también se observa un perfil de reflectancia con valores mayores a lo observado en el año 2018, particularmente para bandas azul e infrarrojo cercano. Sin embargo, estos valores, aunque mayores a lo observado en el año inmediatamente anterior, siguen siendo un orden de magnitud menor a lo reportado por Lagos *et al.* (2008), indicando una mejor calidad del agua que lo reportado en dicho estudio. De manera similar a lo observado en los años anteriores del Programa de Monitoreo, se observa que los sitios estudiados no difieren mayormente entre sí, excepto en los valores de reflectancia en la banda del Infrarrojo cercano. Así, con pequeñas diferencias en los sectores interior o medio del río Cayumapu, o de Tambillo y sector Isla Rialejo (polígonos 11, 12, 13 y 3 respectivamente), la calidad del agua es mucho mejor que lo reportado por Lagos et al. (2008), aunque presentando valores correspondientes a una menor

transparencia del agua que lo observado en el 2018 (ver Fig. 4.2.1.34 y 4.2.1.35). De manera similar a lo observado en el año anterior del programa de monitoreo, no se evidencian patrones claros de diferenciación espacial en un gradiente local. Por el contrario, en general todas las localidades en el sector central se asemejan en sus perfiles de reflectancia (Fig. 4.2.1.35 y 4.2.1.36). De manera similar a lo reportado durante los dos primeros años del PMAHRC, este sector se caracteriza por una buena cobertura de macrofitas acuáticas, presentando una leve heterogeneidad espacial, probablemente asociada a diferencias en profundidad y caudal entre los distintos puntos del cauce del humedal.

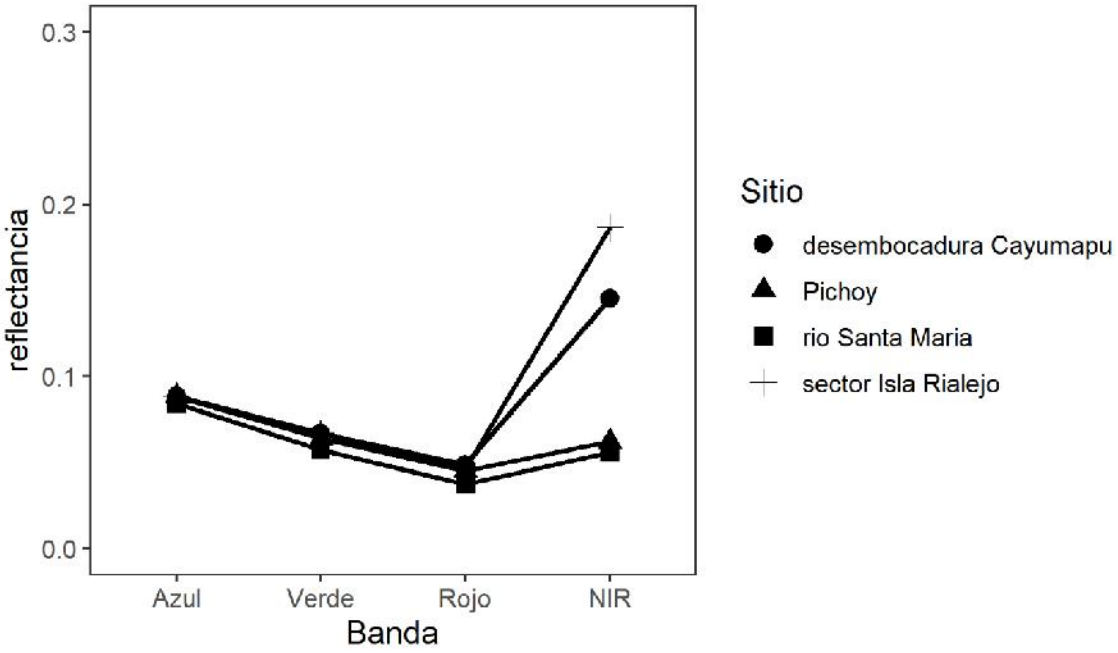


Figura 4.2.1.36. Variación espacial en la reflectancia el sector central del humedal. Se ilustra el valor promedio de reflectancia observada para las bandas azul, verde, roja e infrarroja cercana del sensor Landsat 8.

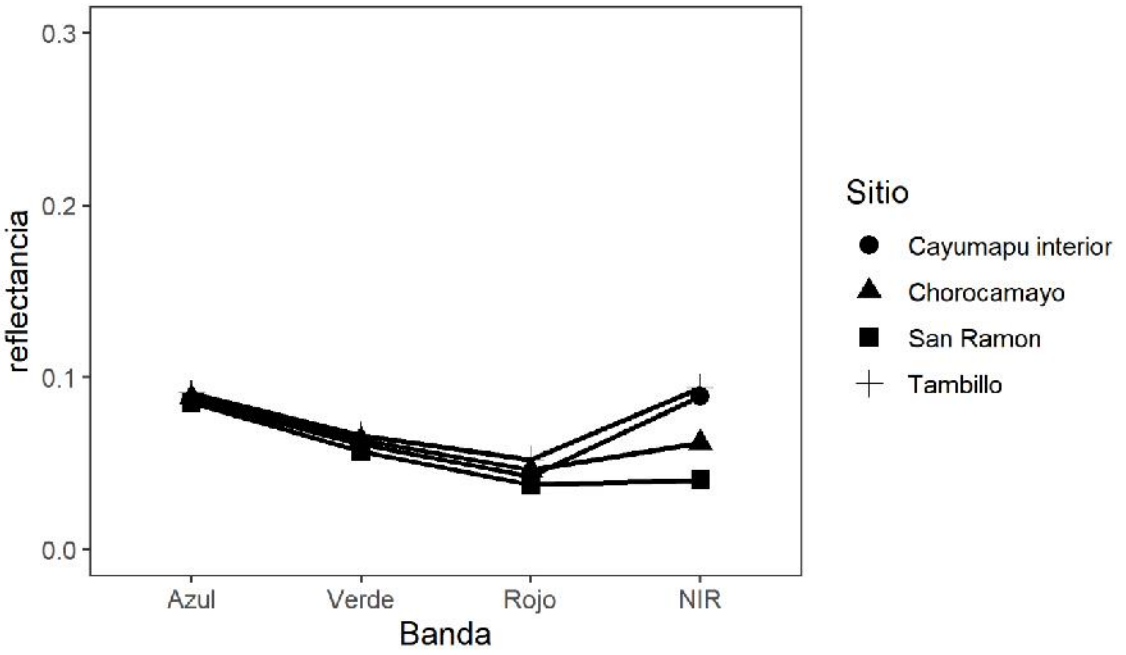


Figura 4.2.1.37. Variación espacial en la reflectancia el sector central del humedal. Se ilustra el valor promedio de reflectancia observada para las bandas azul, verde, roja e infrarroja cercana del sensor Landsat 8.

Finalmente, el sector sur del humedal presenta valores similares de reflectancia, y por ende una menor transparencia del agua que lo observado en el periodo anterior de muestreo (Fig. 4.2.1.38). En ese observaron reflectancias relativamente mínimos en la banda roja cercana, sumados a valores mayores en la banda infrarroja cercana, siendo mayor esta diferencia para los sectores Punucapa y Torobayo (polígonos 5 y 15 respectivamente). Este patrón de reflectancia es consistente con la presencia de macrófitas acuáticas en estos sitios.

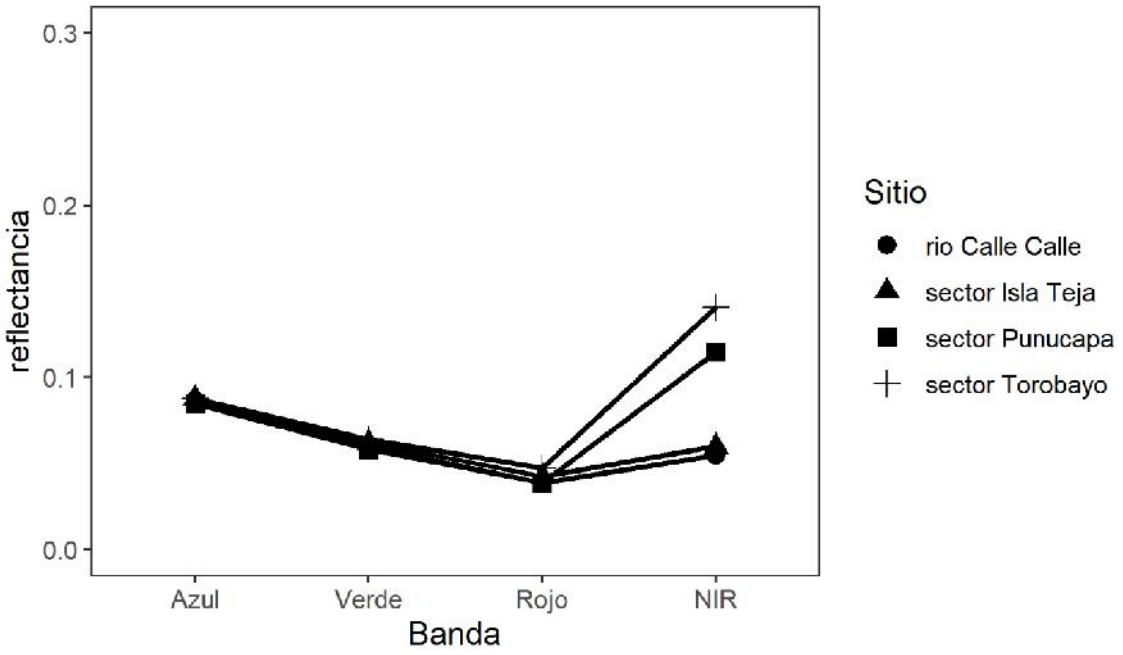


Figura 4.2.1.38. Variación espacial en la reflectancia el sector sur del humedal. Se ilustra el valor promedio de reflectancia observada para las bandas azul, verde, roja e infrarroja cercana del sensor Landsat 8.

4.2.1.1.5. Conclusiones

• Respecto a la transparencia del agua, se observa una reversión de la tendencia observada en años anteriores, de manera tal que el área de estudio en general - pero particularmente en su zona central - se caracteriza por presentar una disminución en la transparencia, con valores más altos de reflectancia que lo descrito en el año 2018. Se evidencian diferencias en sitios como el sector medio del río Cayumapu, que se aleja de los sitios restantes en varios parámetros, además de la reflectancia. Estas variaciones espaciales probablemente den cuenta del efecto de las fuentes de variación local en la calidad del agua, particularmente en sus efectos sobre transparencia. Estas fuentes locales de variación probablemente incluyen aportes diferenciales de sedimentos o nutrientes en distintos puntos del HRC. En el caso del sector del río Cayumapu, esto podría reflejar características de flujo propias del mismo curso de agua. Se observa que las mayores reflectancias se evidencian en la banda de longitudes de onda correspondientes al infrarrojo cercano. Ello es consistente con una mayor cobertura de macrófitas acuáticas.

• Pese a la disminución en la cantidad de presencias utilizadas para calibrar y entrenar el modelo, se observó un buen desempeño en la calidad de ajuste de los datos. Cabe destacar que durante el periodo estival 2019-2020, la distribución espacial de las macrófitas acuáticas dominantes, particularmente para el caso de *Egeria densa* (Luchecillo), fue muy similar a la documentada en años anteriores,

• En el caso de *Potamogeton pusillus* (Huiro de agua dulce) se observa un leve aumento en la extensión predicha por el modelo de distribución, mientras que *Potamogeton lucens* (Huiro verde) presentó una menor distribución y abundancia con respecto a lo descrito el año anterior.

• En el caso de *Sagittaria montevidensis* (Flecha de agua) esta especie ha disminuido su distribución espacial en el área hasta estar prácticamente ausente del humedal por tercer año consecutivo.

• En el caso de *Ludwigia peploides* (Clavito de agua), esta especie que había aumentado de forma paulatina su distribución espacial en el área actualmente se encuentra restringida en su distribución. Las variaciones observadas en la distribución de estas macrófitas acuáticas dominantes refuerzan la conclusión de que la composición de las macrófitas acuáticas no se encuentra en equilibrio en el humedal. Es por ello que existe potencial para que las interacciones bióticas como competencia intra e inter específicas resulten en variaciones estocásticas en la distribución y abundancia de estas especies. El estudio acabado de estas interacciones requiere diseños y estudios de campo que complementen la información recabada mediante sensores remotos.

• *Nymphaea alba* (Loto) y *Schoenoplectus californicus* (Totora), presentan una amplia distribución espacial en el humedal, la que se caracteriza por ser heterogénea y parchosa. En ambos casos, la distribución de habitat idóneo modelada en el presente estudio es mucho más acotada que lo descrito en el 2018, siendo mayor para *Schoenoplectus californicus* (Totora). No obstante, ambas especies se caracterizan por una distribución parchosa y heterogénea, con ambas especies presentando condiciones más idóneas en sectores asociados a las riberas de los cursos de agua o sectores de profundidades someras.

• Finalmente, se concluye que el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios se caracterizan por una variación dinámica de los atributos de calidad del agua, con una tendencia al aumento interanual en la transparencia de la misma. Pese a las importantes variaciones experimentadas en las últimas décadas, la calidad de agua se presenta como significativamente mejor que en durante el Programa de Diagnóstico, observándose evidencia de una importante cubierta de macrófitas acuáticas en el área. Los siguientes estudios deben seguir profundizando en determinar la interrelación de estas especies de macrófitas acuáticas con otros objetos de conservación del humedal, como son distintas especies de la avifauna presente en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

4.2.1.1.6. Referencias

Ahn, Y. H., P. Shanmugam, J. Hyung-Ryu. 2004. Atmospheric correction of the Landsat satellite imagery for turbid waters. Gayana 68:1-8.

Antoine, D., A. Morel. 1999. A multiple scattering algorithm for atmospheric correction of remotely sensed ocean color (MERIS instrument): principle and implementation for atmospheres carrying various aerosols including absorbing ones. International Journal of Remote Sensing 20:1875-1916.

Chander, G., B. Markham. 2003. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 41: 2674-77.

Elith, J., CH. Graham, R.P. Anderson, M. Dudik, S. Ferrier, A. Guisan, R.J. Hijmans, F. Huettmann, J.R. Leathwick, A. Lehmann, J. Li, L.G. Lohmann, B.A. Loiselle, G. Manion, C. Moritz, M. Nakamura, Y. Nakazawa, J.M. Overton, A.T. Peterson, S.J. Phillips, K. Richardson, R. Scachetti-Pereira, R.E. Schapire, J. Soberon, S. Williams, M.S. Wisz, N.E. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. Ecography 29: 129-151.

Elith, J., J.R. Leathwick. 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 40: 677-697.

Elith, J., S.J. Phillips, T. Hastie, M. Dudík, E. Chee. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. Diversity and Distributions 11: 43-57.

Franklin, J. 2009. Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction. Cambridge University Press, Cambridge.

Hernández, P.A., C.H. Graham, L.L. Master, D.L. Albert. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. Ecography 29: 773-785.

Lagos, N.A., P, Paolini, E. Jaramillo, Ch. Lovengreen, C. Duarte, H. Contreras. 2008. Environmental processes, water quality degradation, and decline of water bird populations in the Rio Cruces wetland, Chile. Wetlands 28:938-950.

Mulsow, S., M. Grandjean. 2006. Incompatibility of sulphate compounds and soluble bicarbonate salts in the Río Cruces waters: an answer to the disappearance of *Egeria densa* and black-necked swans in a Ramsar sanctuary. Ethics in Science and Environmental Politics 5-11.

Ortega-Huerta, M.A., A.T. Peterson. 2008. Modeling ecological niches and predicting geographic distributions: a test of six presence-only methods. Revista Mexicana De Biodiversidad 79: 205-216.

Papes, M., P. Gaubert. 2007. Modelling ecological niches from low num-bers of occurrences: assessment of the conservation status of poorly known viverrids (Mammalia, Carnivora) across two continents. Diversity and Distributions 13: 890-902.

Parslow, J.S., G. Harris. 1990. Remote sensing of marine photosynthesis. p. 269-90. IN: R. J. Hobbs and H. A. Mooney (eds.) Remote Sensing of Biosphere Functioning Springer Verlag. New York, NY, USA.

Pearson R.G., Raxworthy C.J., Nakamura M., Peterson A. Townsend. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. J. Biogeogr., 34, pp. 102-117.

Penuelas, J., J.A. Gamon, K.L. Griffin, C.B. Field. 1993. Assessing community type, plant biomass, pigment composition, and photosynthetic efficiency of aquatic vegetation from spectral reflectance. Remote Sensing of Environment, 46: 110-118.

Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling 190: 231-259.

Phillips, S.J., M. Dudík. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. Ecography 31: 161-175.

Phillips, S. J., R. P. Anderson, M. Dudík, R.E. Schapire, & M.E. Blair (2017). Opening the black box: an open-source release of Maxent. Ecography, 40: 887-893.

R Core Team. 2013. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. http://www.R-project.org/

R Core Team (2017) R: A Language and Environment for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

Strickland, J.D.H., T.R. Parsons. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Bulletin No. 167, second edition, Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, Canada.

Xu, H. 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. International Journal of Remote Sensing 27: 3025-3033.

Wisz, M.S., R.J. Hijmans, J, Li A.T. Peterson, C.H. Graham, A. Guisan. NCEAS Predicting Species Distributions Working Group. 2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models. Diversity and Distributions 14: 763-773.

4.2.2 MACROINFAUNA DE FONDOS SEDIMENTARIOS

4.2.2.1. Antecedentes

Los sedimentos no consolidados (gravas, arenas, fangos y combinaciones de estos) que forman parte del fondo o del lecho de áreas costeras y ribereñas, presentan un alto dinamismo físico, debido principalmente al movimiento del agua. Estos sedimentos sustentan una variada fauna de macroinvertebrados bentónicos, (o macroinfauna bentónica) cuyas abundancias poblacionales y riqueza de especies, están estrechamente relacionadas a las características físicas de los mismos (*e.g*., Anderson *et al*., 2004; Gray, 1974).

Los macroinvertebrados bentónicos son frecuentemente utilizados como indicadores ambientales de integridad biológica, además de ser empleados para evaluar la calidad del agua e identificar causas de alteraciones ambientales, tanto en ambientes lénticos (lagos) o lóticos (ríos) (*cf*. Rhoads & Boyer, 1982). Las respuestas poblacionales de estos organismos están en función a efectos sinérgicos o antagónicos del pasado reciente (*e.g.,* contaminantes agrícolas, domésticos, industriales, mineros), que influyen adversamente sobre las funciones fisiológicas, bioquímicas y reproductivas de las especies. Adicionalmente, el análisis de los cambios en la estructura de la comunidad (*i.e.,* riqueza de especies y abundancias) y la función de estos macroinvertebrados bentónicos permite conocer tendencias de cambios temporales en el ambiente acuático.

En este Capítulo se analizan los resultados del quinto año del Programa de Monitoreo Ambiental del Humedal del río Cruces y sus ríos Tributarios (HRC) (correspondiente al periodo abril 2019 - marzo 2020), en cuanto a estructura comunitaria de la macroinfauna de fondos sedimentarios se refiere. Estos resultados se comparan, además, con los

obtenidos durante el primer, segundo, tercer y cuarto año del Programa de Monitoreo Ambiental y durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (abril 2014-marzo 2017).

4.2.2.2. Objetivos

- Estudiar la distribución espacial de la macroinfauna de invertebrados bentónicos que ocurren en los fondos sedimentarios del HRC, durante el otoño y primavera del año 2019.
- Analizar la riqueza de especies, abundancia y biomasa de esa macroinfauna durante el mismo período.
- Estudiar la relación entre esa macroinfauna y la textura, potencial redox y el contenido de materia orgánica del sedimento durante el año 2019.
- Comparar los resultados anteriores con los obtenidos durante el primer, segundo, tercer y cuarto año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2015 - marzo 2016, abril 2016 - marzo 2017, abril 2017 - marzo 2018, respectivamente) y durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (abril 2014 - marzo 2015).

4.2.2.3. Material y métodos

Obtención de las muestras de macroinfauna y sedimentos

Los muestreos de la macroinfauna bentónica se realizaron los días 22 al 24 de abril de 2019 (campaña de otoño) y el 5 de noviembre de 2019 (campaña de primavera) en los seis sitios de estudio que se muestran en la Figura 4.2.2.1: río Cruces, sector estuarial (sector Fuerte San Luis, Punucapa e Isla Teja); ríos tributarios del río Cruces, sector estuarial (río Pichoy y Cayumapu) y fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (río Calle Calle).

Los muestreos diseñados para análisis de textura, contenido de materia orgánica, pH y potencial redox del sedimento se realizaron en las mismas estaciones seleccionadas para obtención de la macroinfauna bentónica.

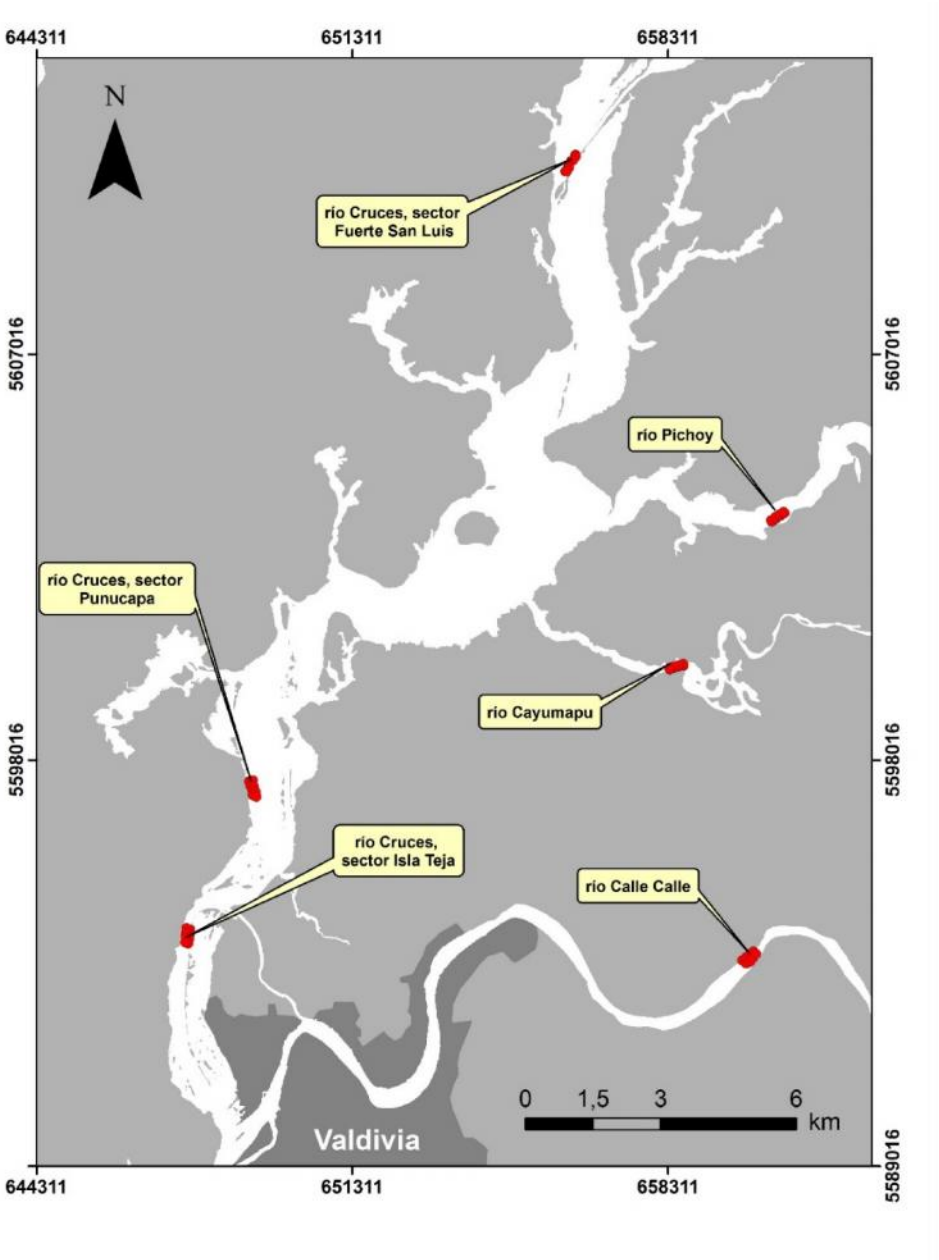


Figura 4.2.2.1. Ubicación de los sitios de muestreo seleccionadas para el estudio de la macroinfauna bentónica de fondos sedimentarios. En cada uno de los sitios se obtuvieron cuatro muestras en las orillas (<1.5 m de profundidad) y cuatro en los cauces de los mismos (>2.5 m de profundidad).

Tratamiento preliminar de las muestras y mediciones de pH y redox

El sedimento recolectado manualmente para los análisis texturales se guardó en frío en bolsas plásticas previamente rotuladas. En cada uno de los sitios de muestreo se recolectaron además sedimentos para mediciones de pH y potencial de óxido reducción (redox), utilizándose una sonda multiparamétrica Orion Star A221 con sonda Hanna Instrument Hi 3230 para mediciones *in situ* enterrada a una profundidad de 3 cm en el sedimento.

Textura, granulometría y contenido de materia orgánica del sedimento

Los análisis texturales se realizaron siguiendo la metodología de tamizado en húmedo (Anderson *et al*., 1981). Una porción de las muestras se tamizó en húmedo a través de coladores de 2000 y 63 µm de abertura de trama, para separar las fracciones grava (partículas de diámetro mayor a 2 mm), arena y agregados biogénicos (partículas entre 2000 y 63 µm) y fango (partículas inferiores a 63 µm). La fracción arena y agregados biogénicos se trató con ultrasonido durante 30 minutos y se tamizó a través de un colador de 63 µm, con el objetivo de separar la fracción arena de los agregados biogénicos. Estos últimos están representados primariamente por agregados fecales y restos de tubos habitacionales de gusanos anélidos. Posteriormente, estas fracciones se secaron (60°C por 24 horas) e incineraron (550°C por 6 horas). A partir de cálculos de diferencia de peso, se determinaron los porcentajes de materia orgánica (materia orgánica carbonosa o combustible) para cada una de las fracciones (Byers *et al.,* 1978).

La suspensión coloidal con el fango obtenido en el segundo tamizado se dejó decantar. El fango decantado se enrasó en probetas de un 1 litro; luego se homogenizó por agitación vertical para obtener una alícuota de 20 ml a 20 cm de la superficie de la suspensión. Esta alícuota se secó (60°C por 24 horas) e incineró (550°C por 6 horas). Posteriormente, se determinó el porcentaje de materia orgánica para cada una de las réplicas mediante cálculos de diferencias de peso (Byers *et al*., 1978).

La fracción arena se analizó granulométricamente por medio de velocidad de decantación de las partículas (Emery, 1938) y método de momentos (Seward-Thompson & Hails, 1973), estimándose el estadígrafo tamaño medio de la partícula de arena.

Macroinfauna bentónica

Las muestras de sedimento destinadas al análisis de la macroinfauna bentónica se recolectaron en cada sitio mediante buceo autónomo en dos niveles de profundidad: orillas y cauces (cuatro muestras por nivel, ocho muestras por sitio), utilizándose cilindros plásticos de 7,5 cm de diámetro enterrados a una profundidad de aproximadamente 10 cm en el sedimento. Estos cilindros fueron cubiertos con tapas (en ambos extremos) previamente marcados y llevados por el buzo a una lancha de muestreo; las muestras se mantuvieron en formalina con agua del ambiente natural al 10% para posteriormente ser filtradas en mallas de 500 µm de trama. El residuo se conservó para su posterior identificación y recuento de macroinvertebrados bentónicos se realizó bajo lupa estereoscópica modelo Olympus S251. La identificación de los taxa se realizó hasta el nivel taxonómico más bajo posible.

Análisis estadísticos

Para evaluar eventuales diferencias en las características texturales, granulométricas, contenido de materia orgánica, pH y redox de los fondos sedimentarios en las orillas y cauces del área estudiada, se llevaron a cabo análisis de regresión lineal entre valores porcentuales y tiempo; cuando la prueba evidenció diferencias significativas en el tiempo ($p \leq 0,05$), estás fueron expuestas en las figuras correspondientes a la variable analizada con su respectivo valor de R^2 y p.

Las abundancias de la macroinfauna de cada sitio se utilizaron para estimaciones de riqueza de especies, Índice de Diversidad de Shannon-Wiener y Uniformidad de Pielou

(Pielou, 1984; Brower & Zar, 1977), a su vez, estos parámetros fueron sometidos a los mismos análisis de correlación descritos anteriormente.

Con el objetivo de evaluar eventuales asociaciones faunísticas entre sitios de muestreo se realizaron análisis de escalamiento multidimensional no métrico (MDS, por sus siglas en inglés), el cual minimiza la distancia de similitud entre los objetos estudiados, utilizando la distancia de Bray-Curtis como índice de similitud entre estaciones. Los datos fueron transformados con raíz a la cuarta, previo a su inclusión en el análisis. Los resultados de la distribución espacial de las agrupaciones se generan sobre un plano cartesiano de dos o tres dimensiones; el MDS genera un valor de "stress" que corresponde a una medida de "no-bondad" del ajuste *(i.e.,* mientras mayor sea la distancia entre los objetos mayor es el valor de stress, y por ende, peor es el modelo resultante). Las categorizaciones para interpretar el valor de stress son las siguientes: 0,2 = modelo pobre; 0,1 = modelo aceptable; 0,05 = modelo bueno; y 0 (valor mínimo), corresponde a un excelente modelo de asociación (Kruskal, 1964).

4.2.2.4. Resultados

Textura, granulometría, contenido de materia orgánica total, pH y potencial de óxido reducción en fondos sedimentarios

Las Tablas 4.2.2.1 a 4.2.2.5 muestran los valores porcentuales de grava, arena, fango, agregados biogénicos, materia orgánica total contenido en los sedimentos muestreados. A su vez, las tablas 4.2.2.6 a la 4.2.2.7 presentan los valores de tamaño medio de las partículas de arena, pH y redox correspondientes a las campañas realizadas durante otoño del año 2014 a la primavera del año 2019.

Grava

Esta fracción textural (>2000 µm) estuvo escasamente representada en los sedimentos de orilla (<9%). Sin embargo, durante el otoño y la primavera del año 2018 en el sector Isla Teja ocurrieron las mayores proporciones de grava en los sedimentos analizados 48,4% y 42,9% respectivamente (Tabla 4.2.2.1). A su vez, en los sedimentos provenientes del cauce los valores porcentuales más altos se registraron durante la primavera del año 2018 en el sector Isla teja 57,1% y durante el otoño del año 2019 en el sector San Luis 59,8%, siendo este último sitio el más representativo para la fracción grava a partir del otoño del año 2017 (Tabla 4.2.2.1).

La Figura 4.2.2.2 muestra la variabilidad interanual en los porcentajes de grava de los sedimentos de orillas y cauces analizados; se observó una tendencia interanual significativa ($p<0,05$) en los sedimentos del cauce del sector San Luis; *i.e.*, el contenido de los mismos tendió a aumentar en el tiempo (Fig. 4.2.2.2).

Tabla 4.2.2.1. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio de grava en los sedimentos de orillas y cauces del área de estudio durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015-2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Calle Calle.

Grava (%)	**eje central del río Cruces (sector estuarial)**			**ríos tributarios del HRC (sector estuarial)**		**fuera del HRC**
Orilla	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
otoño 2015	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
primavera 2015	0,0 (0,0)	32,1 (41,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
otoño 2016	0,4 (0,2)	0,2 (0,1)	0,7 (0,4)	0,0 (0,0)	0,4 (0,3)	0,1 (0,1)
primavera 2016	0,0 (0,0)	1,1 (2,1)	0,0 (0,0)	0,3 (0,5)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
otoño 2017	1,4 (1,6)	0,3 (0,4)	7,1 (3,7)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
primavera 2017	0,4 (0,5)	0,0 (0,0)	18,7 (16,5)	0,1 (0,1)	0,4 (0,8)	0,4 (0,7)
otoño 2018	1,0 (0,9)	0,3 (0,4)	48,4 (16,2)	0,1 (0,2)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
primavera 2018	0,9 (1,4)	0,1 (0,1)	42,9 (32,7)	0,3 (0,4)	29,1 (37,9)	0,1 (0,1)
otoño 2019	3,0 (5,8)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
primavera 2019	0,1 (0,3)	0,2 (0,2)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
cauce	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
otoño 2015	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
primavera 2015	0,0 (0,0)	8,5 (15,9)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	9,5 (18,9)
otoño 2016	0,3 (0,4)	0,6 (0,5)	1,0 (0,7)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,1 (0,2)
primavera 2016	0,0 (0,0)	8,5 (16,9)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,4 (0,3)	0,0 (0,0)
otoño 2017	49,3 (51,1)	0,9 (1,7)	53,9 (8,8)	0,1 (0,1)	0,6 (1,1)	0,0 (0,0)
primavera 2017	16,6 (26,2)	0,1 (0,2)	1,2 (0,8)	0,1 (0,1)	9,6 (10,9)	0,0 (0,0)
otoño 2018	39,0 (45,8)	1,7 (1,0)	30,2 (10,1)	0,5 (0,4)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
primavera 2018	49,8 (33,2)	0,1 (0,2)	57,1 (18,0)	0,0 (0,0)	2,5 (1,6)	0,0 (0,0)
otoño 2019	59,8 (33,7)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
primavera 2019	11,3 (12,5)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)

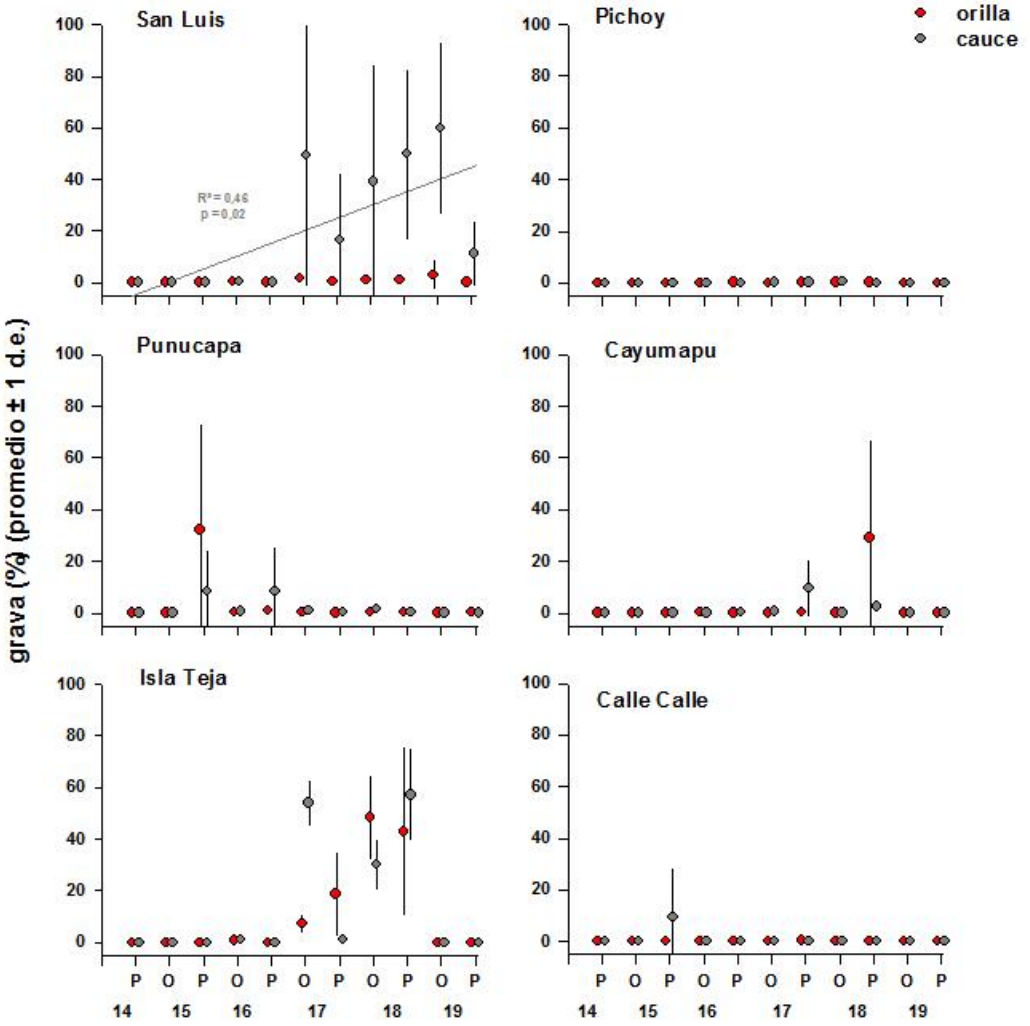


Figura 4.2.2.2. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio de grava contenida en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015-2019. Los valores son promedios ± 1 desviación estándar. Solo se muestran resultados de análisis de correlación entre valores porcentuales y tiempo, cuando los valores de p y R2 fueron significativos; representados con sus valores y una línea color rojo y/o gris en orilla y cauce respectivamente.

Arena

Esta fracción textural (partículas comprendidas entre 63 y 2000 µm), ha sido la más representativa en los sedimentos analizados durante el periodo de estudio comprendido entre la primavera del año 2014 y la primavera del año 2019 (Tabla 4.2.2.2). Las mayores proporciones registradas corresponden a las encontradas en el cauce; en San Luis e Isla teja durante el otoño del año 2015, en el río Calle Calle durante el otoño de los años 2015 y 2019, y en el río Pichoy durante el otoño de los años 2015, 2016 y 2017, y la primavera de los años 2014, 2018 y 2019 (>90%) (Tabla 4.2.2.2). El sector Cayumapu en cambio ha sido el que presenta las menores proporciones de arena durante el periodo de estudio registrándose la menor proporción durante el otoño del año 2019 (1%) (Tabla 4.2.2.2). A su vez, en las orillas de los sitios estudiados los valores porcentuales más altos fueron registrados en Calle Calle durante la primavera del año 2014, Pichoy durante la primavera del año 2014 y el otoño del año 2016, y en el sector Isla Teja durante el otoño del año 2015 y la primavera de los años 2014 y 2019 (>70%) (Tabla 4.2.2.2). Por otra parte, los valores porcentuales más bajos registrados para la orilla ocurrieron en e3l sector Cayumapu durante la primavera del año 2016 y el otoño de los años 2018 y 2019 (<3%) (Tabla 4.2.2.2).

La Figura 4.2.2.3 muestra la variabilidad interanual en los valores porcentuales de arena en los sedimentos de orillas y cauces; se observó una tendencia interanual significativa a la disminución ($p<0,05$) en los sedimentos de orilla y cauce de los sectores Punucapa y Cayumapu y en los sedimentos de orilla del sector Calle Calle (Fig. 4.2.2.3).

Tabla 4.2.2.2. Valores porcentuales promedio de arena en los sedimentos de orillas y cauces del área de estudio durante la primavera del año 2014, el otoño y la primavera de los años 2015-2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Calle Calle.

arena (%)	eje central del río Cruces (sector estuarial)			ríos tributarios del HRC (sector estuarial)		fuera del HRC
orilla	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	69,1 (14,2)	39,0 (20,8)	70,5 (35,4)	77,5 (17,6)	34,7 (20,7)	82,7 (9,9)
otoño 2015	55,4 (28,3)	50,0 (17,1)	71,6 (24,8)	75,9 (14,2)	19,0 (12,7)	66,5 (16,3)
primavera 2015	31,9 (15,2)	44,1 (29,3)	62,5 (23,2)	47,2 (16,6)	16,0 (8,8)	36,9 (11,8)
otoño 2016	27,3 (19,0)	18,7 (19,9)	23,4 (8,5)	11,1 (7,3)	4,2 (3,8)	37,5 (21,9)
primavera 2016	6,7 (4,8)	19,9 (7,0)	42,6 (13,2)	26,6 (7,9)	2,1 (1,5)	60,1 (3,8)
otoño 2017	30,9 (17,1)	26,4 (7,2)	52,1 (15,6)	53,2 (34,4)	16,5 (3,8)	66,2 (13,8)
primavera 2017	38,1 (13,3)	20,2 (17,4)	42,0 (10,5)	29,4 (19,0)	3,1 (1,1)	10,1 (3,1)
otoño 2018	41,4 (13,3)	13,0 (10,6)	32,4 (6,1)	81,9 (26,7)	2,5 (1,4)	45,9 (28,2)
primavera 2018	44,4 (12,6)	14,6 (9,7)	34,9 (21,2)	33,5 (18,6)	16,7 (12,7)	29,6 (28,8)
otoño 2019	19,5 (11,1)	10,8 (3,7)	22,3 (11,1)	66,5 (25,0)	2,1 (1,1)	33,6 (21,6)
primavera 2019	42,9 (17,2)	11,8 (8,7)	72,8 (7,4)	33,5 (39,9)	3,3 (2,1)	17,9 (11,4)
cauce	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	88,2 (18,7)	39,9 (5,6)	88 (2,0)	92,6 (6,7)	37,1 (27,3)	98,2 (1,6)
otoño 2015	92,6 (1,6)	72,2 (44,3)	98,1 (1,1)	90,1 (6,5)	32,5 (22,3)	95,5 (2,5)
primavera 2015	82,2 (19,6)	62,8 (36,5)	81,3 (19,0)	78 (27,2)	21,3 (20,6)	56,1 (40,1)
otoño 2016	58,6 (27,5)	9,6 (3,7)	78,5 (13,5)	91,6 (2,2)	14,6 (15,8)	79,3 (5,3)
primavera 2016	71,5 (2,4)	9,8 (13,7)	2,4 (0,7)	63,3 (5,0)	2,0 (1,0)	78,6 (10,9)
otoño 2017	15,7 (14,1)	24,1 (18,8)	41,9 (8,8)	96,3 (2,0)	42,9 (20,2)	83 (15,2)
primavera 2017	54,0 (22,2)	45,7 (8,9)	71,9 (4,7)	89,6 (9,5)	19,0 (9,0)	29,1 (8,4)
otoño 2018	26,2 (27,3)	10,6 (2,7)	62,2 (8,5)	86,9 (4,6)	7,9 (4,7)	95,7 (3,8)
primavera 2018	32,9 (6,3)	18,4 (8,0)	36,3 (16,5)	92,3 (5,0)	11,2 (5,7)	81,7 (12,6)
otoño 2019	32,4 (28,6)	6,8 (4,2)	2,1 (1,9)	89,0 (7,4)	1,0 (0,5)	91,7 (4,8)
primavera 2019	80,7 (11,9)	13,6 (8,7)	59,8 (13,6)	93,7 (2,4)	5,9 (7,6)	88,0 (8,4)

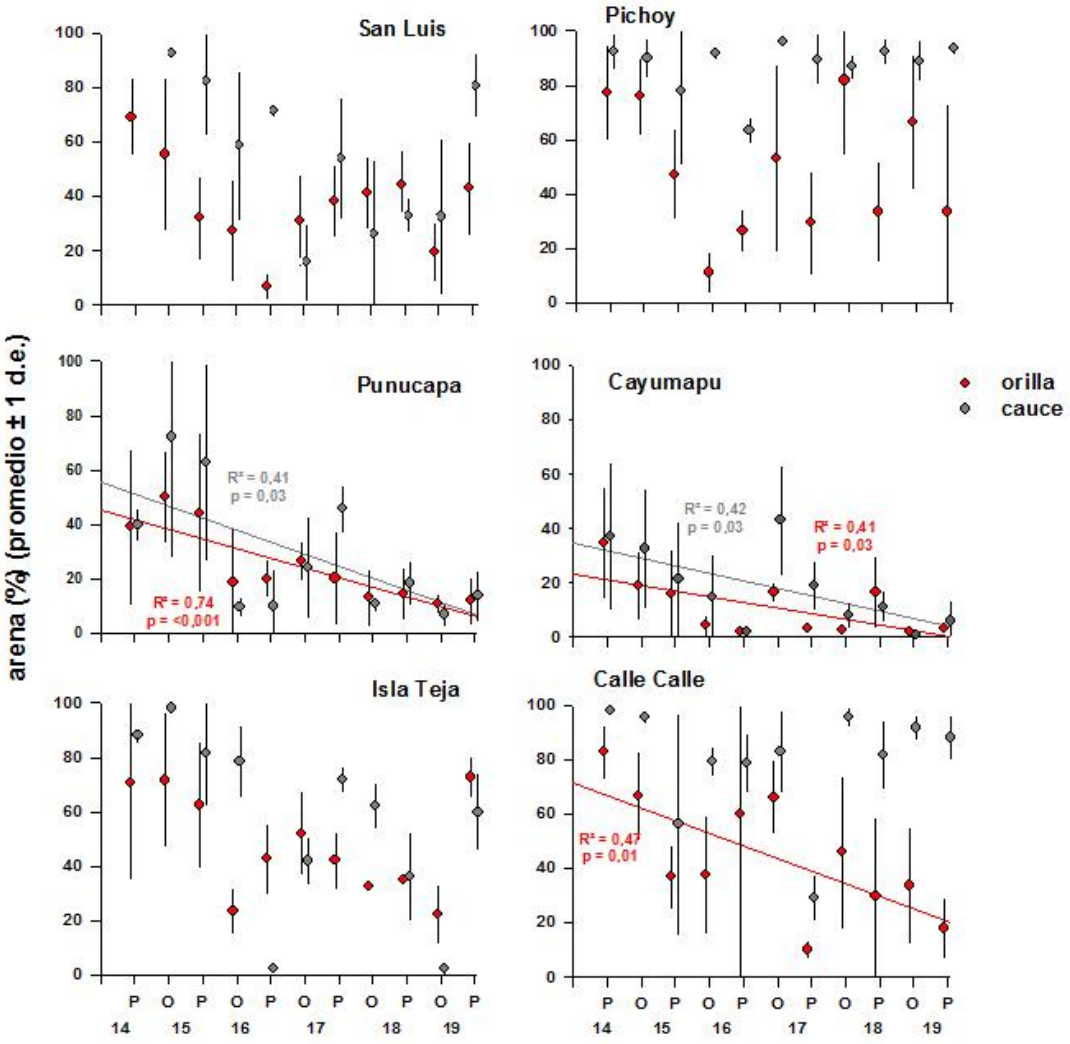


Figura 4.2.2.3. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio de arena contenida en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015-2019. Los valores son promedios ± 1 desviación estándar. Solo se muestran resultados de análisis de correlación entre valores porcentuales y tiempo, cuando los valores de p y R2 fueron significativos; representados con sus valores y una línea, color rojo o gris en orilla y cauce respectivamente según corresponda.

Fango

La fracción de fango (partículas con diámetros inferiores a 63 µm), contenida en los sedimentos analizados muestra una predominancia en las muestras provenientes de orilla, presentando mayores proporciones que en sedimentos obtenidos de los cauces. El mayor valor porcentual se registró en Cayumapu durante la primavera del año 2019 (>90%) (Tabla 4.2.2.3). Por otra parte, la menor proporción ocurrió en el sector Isla Teja durante el otoño del año 2018 (<10%) (Tabla 4.2.2.3).

El fango contenido en las muestras de los cauces presentó la mayor proporción en Cayumapu durante la primavera del año 2019 (>90%) (Tabla 4.2.2.3). Mientras que, las menores proporciones se presentaron en; Isla Teja durante los otoños de los años 2015 y 2017, en río Pichoy durante la primavera del año 2014, y el otoño del año 2017, y en el río Calle Calle durante la primavera del año 2014 y el otoño del año 2018 (<2%) (Tabla 4.2.2.3).

La Figura 4.2.2.4 muestra la variabilidad interanual en los valores porcentuales de fango en los sedimentos de orillas y cauces; se observó una tendencia interanual significativa al aumento ($p<0,05$) en los sedimentos de orilla y cauce en el sector Punucapa y en los sedimentos del cauce del sector Cayumapu (Fig. 4.2.2.4).

Tabla 4.2.2.3. Valores porcentuales promedio de fango en los sedimentos de orillas y cauces del área de estudio durante la primavera del año 2014, el otoño y la primavera de los años 2015-2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Calle Calle.

fango (%)	**eje central del río Cruces (sector estuarial)**			**ríos tributarios del HRC (sector estuarial)**		**fuera del HRC**
orilla	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	23,2 (15,9)	39,0 (18,9)	24,5 (31,4)	11,1 (7,9)	33,0 (5,0)	11,3 (11,0)
otoño 2015	38,4 (22,6)	48,4 (16,9)	27,4 (24,4)	21,7 (13,1)	74,0 (11,9)	29,8 (16,9)
primavera 2015	50,1 (7,1)	19,3 (19,4)	34,0 (22,3)	43,2 (12,1)	67,5 (4,8)	59,2 (10,5)
otoño 2016	37,4 (11,2)	50,5 (18,3)	56,1 (7,1)	54,8 (5,1)	56,9 (11,5)	38,0 (14,0)
primavera 2016	82,1 (8,2)	63,0 (13,1)	35,7 (8,2)	68,2 (9,5)	69,6 (5,8)	26,1 (6,0)
otoño 2017	36,3 (16,2)	59,2 (7,3)	30,9 (17,4)	21,9 (24,3)	45,4 (19,2)	24,9 (10,4)
primavera 2017	33,6 (9,9)	69,8 (18,9)	22,3 (7,3)	52,7 (13,2)	70,8 (11,5)	72,9 (4,8)
otoño 2018	45,1 (19,7)	79,6 (12,5)	8,8 (5,5)	13,8 (24,3)	83,0 (2,2)	45,9 (28,2)
primavera 2018	47,8 (8,9)	77,0 (11,5)	17,4 (23,9)	56,1 (12,3)	32,1 (15,7)	13,2 (10,8)
otoño 2019	67,7 (10,4)	81,9 (2,4)	73,6 (10,9)	28,9 (27,5)	87,6 (4,6)	62,2 (20,1)
primavera 2019	45,7 (16,9)	83,1 (12,8)	21,7 (9,1)	64,5 (40,8)	91,0 (2,5)	77,9 (13,5)
cauces	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	10,5 (17,0)	38,0 (12,6)	10,6 (1,5)	1,1 (1,0)	26,9 (8,5)	1,3 (1,6)
otoño 2015	6,5 (1,0)	26,4 (43,0)	1,2 (0,8)	7,3 (3,9)	61,6 (19,3)	3,5 (2,0)
primavera 2015	12,2 (13,0)	25,6 (38,5)	15,5 (17,0)	5,9 (5,2)	63,3 (19,6)	32,6 (40,3)
otoño 2016	25,7 (17,9)	56,6 (7,0)	10,6 (9,8)	2,5 (1,2)	50,0 (7,8)	14,0 (4,5)
primavera 2016	26,2 (2,3)	66,9 (32,2	69,0 (7,2	34,4 (5,3)	61,0 (21,5)	15,3 (8,8)
otoño 2017	22,7 (25,7)	48,4 (16,7)	1,9 (0,4)	1,1 (0,3)	62,4 (5,8)	11,6 (10,2)
primavera 2017	13,8 (11,8)	45,4 (4,4)	18,7 (5,3)	5,8 (7,2)	39,6 (9,6)	56,6 (6,4)
otoño 2018	28,4 (40,1)	71,5 (1,6)	2,9 (0,7)	5,3 (4,7)	55,8 (8,2)	1,5 (0,7)
primavera 2018	15,3 (29,5)	66,8 (5,3)	2,5 (1,4)	2,1 (3,6)	78,7 (5,1)	65,6 (29,9)
otoño 2019	5,6 (3,8)	85,6 (3,6)	95,7 (3,9)	3,6 (4,9)	93,9 (2,9)	6,0 (3,6)
primavera 2019	4,1 (0,9)	82,8 (7,3)	17,1 (7,7)	2,9 (2,8)	75,7 (12,8)	8,0 (6,3)

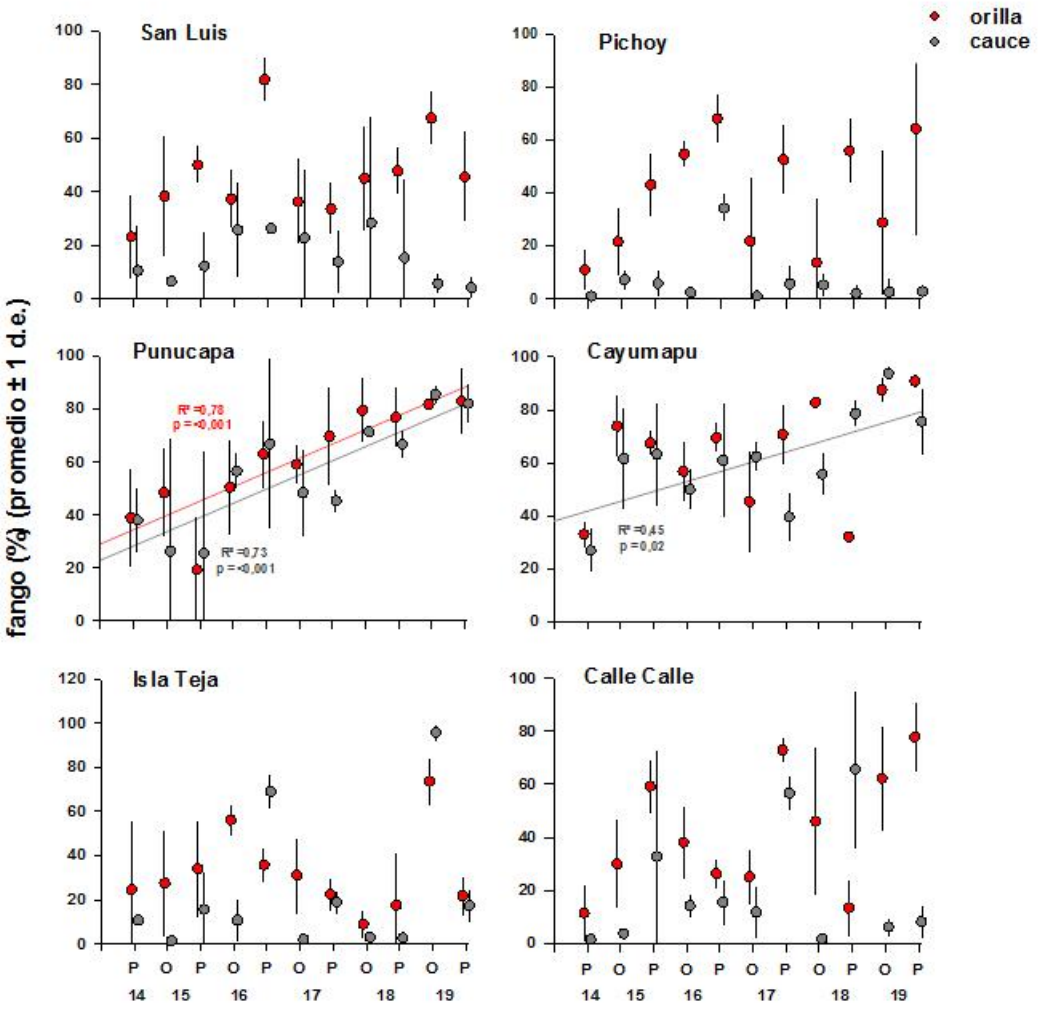


Figura 4.2.2.4. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio de fango contenido en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015-2019. Los valores son promedios ± 1 desviación estándar.

Agregados biogénicos

Los agregados biogénicos contenidos en los sedimentos de orilla y cauce del área estudiada fluctuaron entre 0,7 y 37%. En orilla, los valores porcentuales más altos se presentaron en Cayumapu durante la primavera del año 2014, en los sectores, San Luis, Punucapa, río Pichoy y río Cayumapu durante el otoño del año 2016, y en San Luis durante otoño del año 2017 (>30%) (Tabla 4.2.2.4). Por el contrario, los menores valores porcentuales se presentaron en río Calle Calle durante la primavera del año 2014, en Punucapa e Isla Teja durante el otoño del año 2015 y en el río Pichoy durante la primavera del año 2019 (<2%) (Tabla 4.2.2.4).

A su vez, los agregados biogénicos contenidos en los sedimentos provenientes del cauce, presentaron las mayores proporciones en; Cayumapu durante la primavera de los años 2014, 2016 y 2017, y otoño de los años 2016 y 2018, a su vez en Punucapa durante el otoño del año 2016 (>30%) (Tabla 4.2.2.4). En contraste, las menores proporciones ocurrieron en; río Calle Calle durante la primavera de los años 2014 y 2015, y otoño del 2015, en San Luis e Isla Teja durante la primavera del año 2014 y otoño del año 2015, en Punucapa durante otoño del año 2015, y en San Luis durante la primavera del año 2018 (<2%) (Tabla 4.2.2.4).

No se observó tendencias significativas ($p>0,05$) al aumento o disminución de agregados biogénicos contenidos en los sedimentos del cauce y orilla en el tiempo y sectores estudiados (Fig. 4.2.2.5).

Tabla 4.2.2.4. Valores porcentuales promedio de agregados biogénicos en los sedimentos de orillas y cauces del área de estudio durante la primavera del año 2014, el otoño y la primavera de los años 2015-2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Calle Calle.

agregados biogénicos %	eje central del río Cruces (sector estuarial)			ríos tributarios del HRC (sector estuarial)		fuera del HRC
orilla	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	7,7 (3,7)	18,5 (14,6)	5,0 (4,8)	11,4 (10,7)	32,3 (21,8)	1,1 (0,9)
otoño 2015	6,3 (6,3)	1,7 (1,1)	0,9 (1,1)	2,5 (1,5)	7,1 (3,5)	3,6 (2,5)
primavera 2015	18,1 (13,0)	4,4 (2,1)	3,5 (1,7)	9,6 (6,6)	16,5 (6,3)	3,9 (2,1)
otoño 2016	34,9 (9,6)	30,6 (9,3)	19,9 (5,5)	34,1 (5,0)	38,5 (9,7)	24,3 (8,4)
primavera 2016	11,2 (3,4)	16,0 (4,6)	21,7 (6,4)	5,0 (1,3)	28,3 (4,7)	13,7 (3,1)
otoño 2017	31,5 (3,7)	14,1 (5,2)	10,0 (8,5)	24,8 (18,0)	21,1 (6,6)	8,9 (5,1)
primavera 2017	27,9 (3,4)	10,0 (7,7)	17,0 (9,8)	17,8 (11,3)	25,7 (9,9)	16,6 (6,6)
otoño 2018	12,5 (6,1)	7,1 (6,1)	10,4 (7,0)	4,2 (3,5)	14,5 (2,2)	9,1 (3,8)
primavera 2018	6,9 (3,6)	8,3 (6,8)	4,8 (4,1)	7,4 (6,5)	22,2 (17,2)	4,7 (3,7)
otoño 2019	9,9 (6,7)	7,2 (2,9)	4,1 (0,9)	4,6 (3,6)	10,3 (4,8)	4,2 (1,6)
primavera 2019	11,3 (1,5)	4,9 (4,1)	5,5 (4,1)	2,0 (1,0)	5,7 (0,5)	4,2 (2,2)
cauce	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	1,3 (1,7)	19,3 (19,7)	1,4 (1,1)	2,4 (2,3)	36,0 (28,4)	0,5 (0,4)
otoño 2015	0,9 (0,9)	1,4 (1,3)	0,7 (0,5)	2,6 (3,6)	5,9 (5,8)	1,1 (0,9)
primavera 2015	5,6 (7,2)	3,1 (2,1)	3,2 (2,7)	16,1 (22,9)	15,4 (8,5)	1,8 (6,6)
otoño 2016	15,3 (9,9)	33,2 (7,5)	9,9 (3,8)	6,0 (2,7)	35,1 (8,5)	6,6 (1,3)
primavera 2016	2,3 (0,4)	14,8 (4,7)	28,6 (7,7)	2,2 (1,3)	37,0 (21,9)	6,1 (3,0)
otoño 2017	12,3 (16,1)	26,6 (11,3)	2,2 (1,2)	2,5 (1,9)	11,0 (2,1)	5,4 (5,5)
primavera 2017	15,6 (10,5)	8,8 (7,0)	8,1 (2,2)	4,5 (7,4)	31,8 (18,0)	14,3 (4,4)
otoño 2018	6,4 (5,7)	16,9 (5,0)	4,6 (5,2)	7,2 (6,3)	36,3 (10,1)	2,8 (3,2)
primavera 2018	2,0 (1,9)	14,7 (3,2)	4,1 (4,0)	5,6 (3,3)	7,6 (3,9)	5,1 (1,8)
otoño 2019	2,2 (1,4)	7,6 (3,9)	7,4 (2,7)	7,4 (2,7)	5,1 (2,8)	2,3 (3,0)
primavera 2019	3,9 (1,6)	3,6 (2,2)	23,1 (8,1)	3,4 (1,8)	18,4 (15,5)	4,0 (2,1)

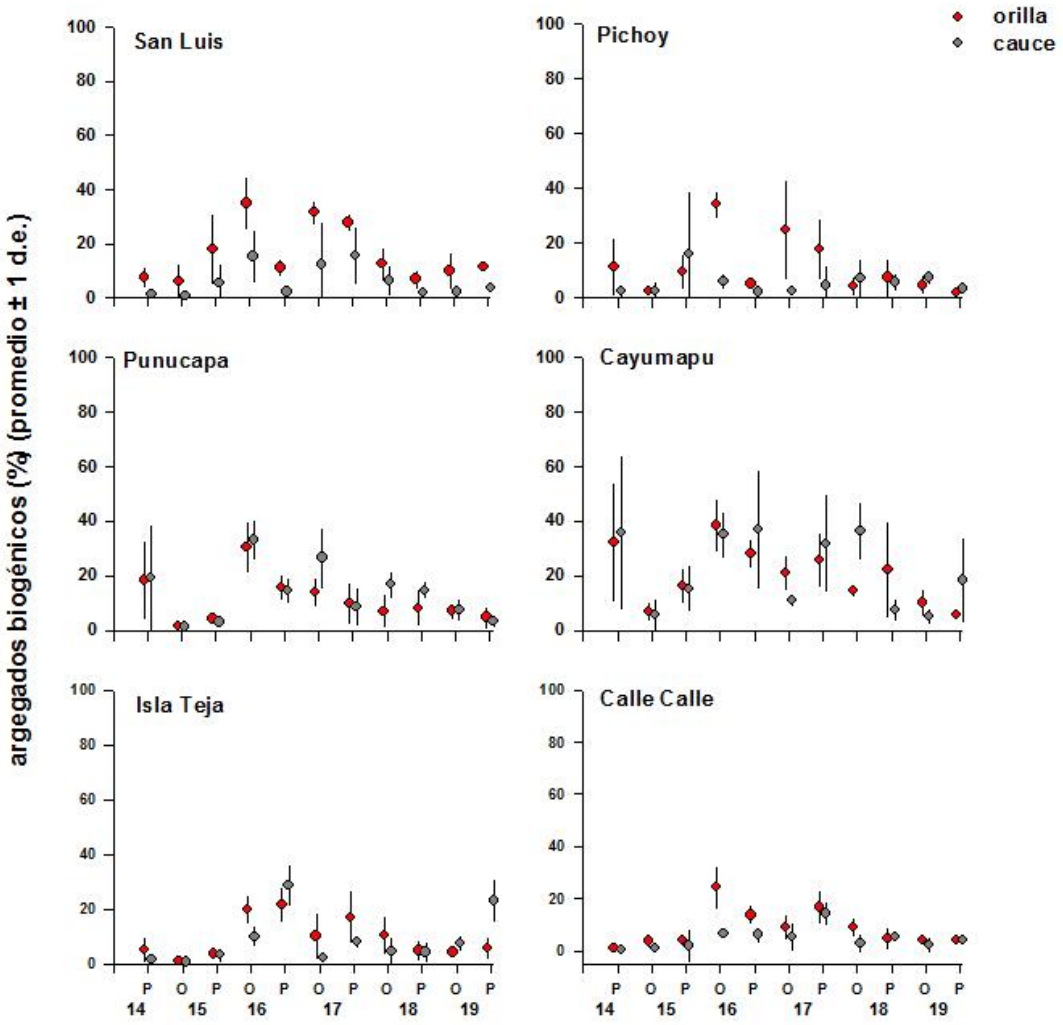


Figura 4.2.2.5. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio de agregados biogénicos contenidos en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015-2019. Los valores son promedios ± 1desviación estándar. Solo se muestran resultados de análisis de correlación entre valores porcentuales y tiempo, cuando los valores de p y R2 fueron significativos; representados con sus valores y una línea color rojo o gris en orilla y cauce respectivamente según corresponda.

Materia orgánica total

En los fondos sedimentarios de orilla y cauce analizados los valores porcentuales fluctuaron entre 1,9% y 74,4%, presentándose los mayores valores de materia orgánica

total en las orillas del área estudiada, con excepción de los sedimentos provenientes del sector Punucapa y río Cayumapu donde los valores porcentuales presentan una mayor uniformidad entre la orilla y el cauce. Las mayores proporciones de materia orgánica total ocurrieron en la orilla del sector San Luis durante la primavera del año 2016 (74,4%) (Tabla 4.2.2.5), seguido de valores del orden del 30% en Punucapa durante la primavera del año 2017, Calle Calle durante la primavera del año 2018 y Cayumapu durante la primavera del año 2016 y el otoño del año 2019 (Tabla 4.2.2.5).

Los más altos valores porcentuales de materia orgánica total encontrados en el cauce ocurrieron en los sectores Isla Teja y río Pichoy durante la primavera del año 2016 (>30%) (Tabla 4.2.2.5). A su vez, los valores porcentuales más bajos de materia orgánica total ocurrieron en; sector Isla Teja durante otoño de los años 2015 y 2017, en río Pichoy y Calle Calle durante la primavera del año 2014, y en Calle Calle durante el otoño de los años 2015 y 2018 (<2%) (Tabla 4.2.2.5).

No se observó tendencias interanuales significativas ($p>0,05$) al aumento o disminución de materia orgánica total contenida en los sedimentos de orilla y cauce en los sedimentos provenientes de orilla y cauce de los sectores estudiados (Fig. 4.2.2.6.).

Tabla 4.2.2.5. Valores porcentuales promedio de materia orgánica total en los sedimentos de orillas y cauces del área de estudio durante la primavera del año 2014, el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Calle Calle.

materia orgánica (%)	**eje central del río Cruces (sector estuarial)**			**ríos tributarios del HRC (sector estuarial)**		**fuera del HRC**
orilla	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	14,8 (5,2)	12,7 (2,9	5,8 (1,6)	14,3 (10,1)	21,8 (1,4)	3,5 (1,6)
otoño 2015	15,1 (6,7)	11,6 (1,8)	8,5 (5,8)	9,2 (4,2)	20,7 (3,5)	7,9 (4,0)
primavera 2015	28,5 (2,5)	8,7 (4,5)	6,6 (2,5)	16,4 (5,6)	19,9 (1,2)	8,8 (2,0)
otoño 2016	16,8 (4,3)	16,1 (3,8)	14,1 (2,8)	21,6 (5,2)	22,5 (0,9)	10,7 (4,2)
primavera 2016	74,4 (9,7)	26,2 (7,2)	12,0 (3,9)	14,5 (22,5)	34,8 (9,1)	6,4 (1,4)
otoño 2017	24,0 (3,8)	14,0 (1,1)	12,5 (4,5)	16,4 (9,3)	19,3 (0,4)	6,5 (1,1)
primavera 2017	20,6 (8,7)	31, 8 (37,6)	8,1 (4,0)	15,9 (2,2)	20,5 (6,4)	15,0 (3,8)
otoño 2018	14,3 (1,9)	14,0 (1,5)	6,3 (2,5)	5,8 (4,7)	20,6 (2,0)	8,0 (5,8)
primavera 2018	13,8 (2,4)	13,9 (1,2)	5,6 (5,7)	12,3 (7,6)	20,1 (11,2)	32,7 (42,3)
otoño 2019	15,2 (5,1)	13,5 (1,1)	11,1 (5,6)	21,8 (31,0)	30,1 (3,9)	11,6 (5,0)
primavera 2019	12,4 (0,9)	15,9 (2,5)	28,5 (43,3)	7,0 (3,3)	24,2 (5,4)	9,8 (3,4)
cauce	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	9,9 (12,7)	8,9 (2,7)	4,3 (1,6)	2,7 (2,1)	25,5 (6,1)	2,0 (2,9)
otoño 2015	3,8 (0,7)	5,5 (5,3)	2,4 (0,6)	4,2 (0,6)	18,6 (2,6)	2,0 (0,5)
primavera 2015	6,7 (5,4)	8,3 (6,7)	7,5 (3,6)	15,4 (16,1)	25,9 (10,1)	3,4 (1,8)
otoño 2016	10,2 (6,3)	21,3 (1,3)	4,9 (4,1)	4,1 (0,4)	21,9 (1,1)	3,1 (0,9)
primavera 2016	18,5 (12,4)	19,1 (2,0)	32,1 (3,2)	34,4 (5,3)	19,7 (4,5)	4,9 (2,1)
otoño 2017	8,7 (8,7)	18,9 (2,5)	3,0 (0,5)	3,4 (1,0)	14,1 (1,9)	4,6 (2,6)
primavera 2017	9,7 (6,5)	12,5 (0,6)	6,7 (0,8)	4,9 (2,1)	24,5 (5,3)	11,1 (2,0)
otoño 2018	7,8 (7,1)	18,9 (0,9)	6,1 (4,9)	7,7 (2,7)	16,8 (3,2)	1,9 (0,5)
primavera 2018	4,7 (7,1)	20,4 (0,9)	2,7 (0,8)	3,0 (1,8)	16,1 (4,0)	4,5 (2,6)
otoño 2019	4,3 (3,5)	17,7 (3,1)	14,3 (11,2)	4,6 (2,9)	18,0 (2,2)	2,5 (1,0)
primavera 2019	2,7 (0,8)	13,3 (1,6)	11,8 (7,2)	3,6 (3,0)	22,7 (4,7)	4,3 (1,0)

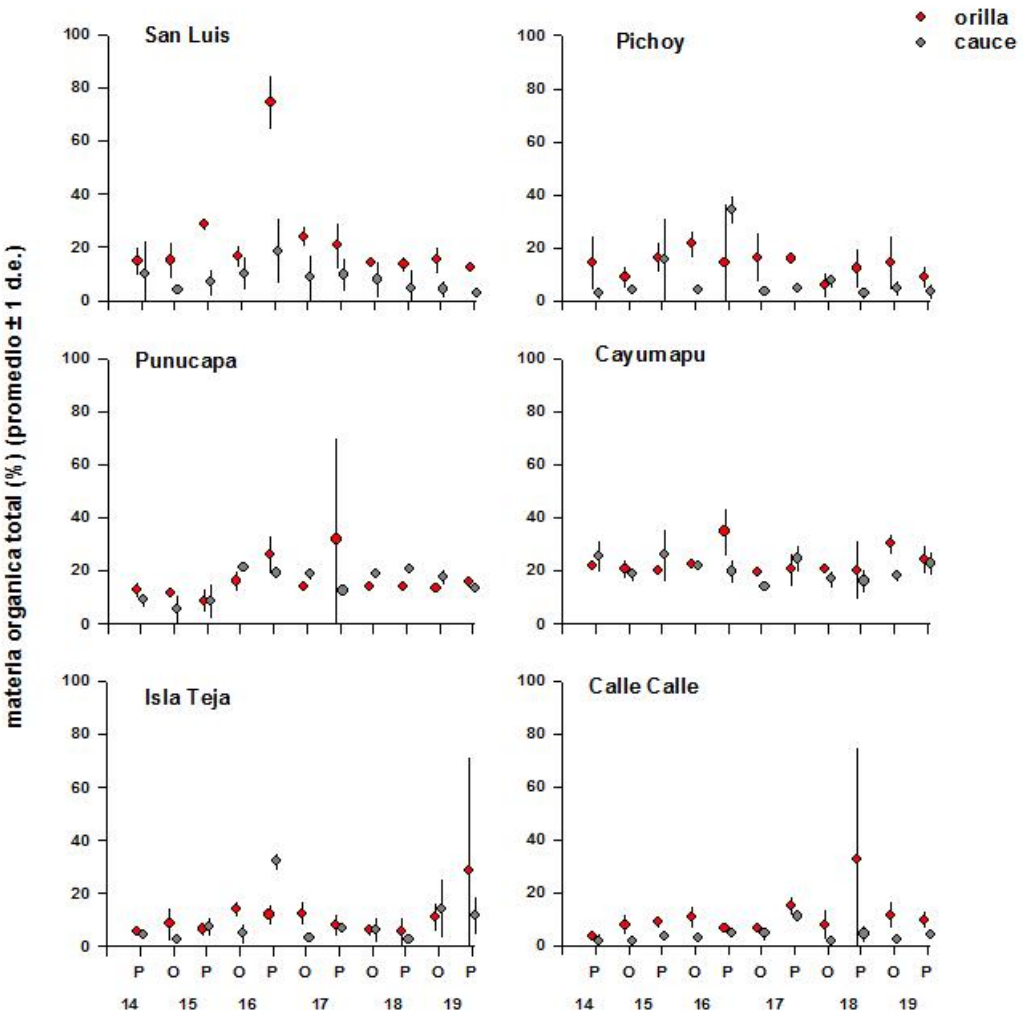


Figura 4.2.2.6. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio de materia orgánica total contenida en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios ± 1 desviación estándar. Solo se muestran resultados de análisis de correlación entre valores porcentuales y tiempo, cuando los valores de p y R2 fueron significativos; representados con sus valores y una línea color rojo o gris en orilla y cauce respectivamente según corresponda.

Tamaño medio de la partícula de arena

Durante el periodo de estudio las partículas de arenas contenidas en los fondos sedimentarios analizados, provenientes del cauce, fueron de mayor tamaño que las

encontradas en la orilla de todos los sectores estudiados, con excepción de Punucapa y Cayumapu que presentaron mayor homogeneidad de tamaños de partículas de arena entre las recolectadas en orillas y cauces (Tabla 4.2.2.6) (Fig. 4.2.2.7).

En las orillas predominaron las arenas de tamaño fino (comprendidas entre 125-250 µm; cf., Folk, 1980), y las de tamaño medio (250-500 µm; cf., Folk, 1980), con excepción de Isla Teja y Cayumapu que durante el otoño de los años 2016 y 2019 presentaron partículas de tamaño muy fino (< 125 µm; cf., Folk, 1980) en los sedimentos de orilla y cauce (Tabla 4.2.2.6). A su vez, en los sedimentos provenientes de los cauces, las partículas de arena fueron mayoritariamente de tamaño medio en todos los sitios (250-500 µm; cf., Folk, 1980), y de tamaño grueso (> a 500 µm, cf., Folk, 1980) en San Luis durante otoño de los años 2015, 2017 y primavera de los años 2015, 2016 y 2019, y en Isla Teja durante el otoño de los años 2017 y 2018 y la primavera de los años 2016 y 2018.

Por otra parte, ocurrieron partículas finas (150-250 µm; cf., Folk, 1980) en los sedimentos provenientes del cauce de los sectores; Punucapa durante el otoño de los años 2016 y 2018, y durante la primavera de los años 2017, 2018 y 2019. En Calle Calle durante la primavera del año 2017, y en Cayumapu durante el otoño de los años 2015, 2016 y 2017, y la primavera de los años 2014, 2015 y 2019 (Tabla 4.2.2.6).

El análisis de regresión lineal al cual se sometieron los datos obtenidos de tamaño medio de la partícula de arena mostró tendencias interanuales significativas ($p<0,05$), a la disminución en los sedimentos provenientes del cauce en el sector Punucapa (Fig. 4.2.2.7).

Tabla 4.2.2.6. Valores porcentuales promedio de tamaños de las partículas de la fracción arena en los sedimentos de orillas y cauces del área de estudio durante la primavera del año 2014, el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. * = una sola réplica. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Calle Calle.

tamaño de la arena (µm)	eje central del río Cruces (sector estuarial)			ríos tributarios del HRC (sector estuarial)		fuera del HRC
orilla	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	237,9 (49,5)	253,3 (131,1)	189,3 (18,4)	266,1 (40,9)	129,1 (14,4)	349,4 (197,2)
otoño 2015	279,9 (31,5)	207,5 (107,5)	177,3 (19,4)	247,7 (69,7)	226,0 (81,9)	256,7 (99,7)
primavera 2015	340,8*	389,3 (176,1)	272,6 (151,0)	248,9 (10,1)	300,5 (144,4)	163,4 (2,6)
otoño 2016	245,5 (86,8)	118*	111,9 (47,7)	177*	81*	177,1 (13,8)
primavera 2016	201*	237*	198*	227,4 (14,4)	-	189,1 (7,4)
otoño 2017	216,5 (45,0)	207,6 (42,4)	293,3 (39,4)	305,5 (13,2)	119,5 (10,2)	197,9 (8,7)
primavera 2017	235,2 (21,3)	169,2 (18,4)	301,6 (20,7)	210,3 (2,1)	-	184,2 (9,9)
otoño 2018	202,2 (25,9)	292,9 (180,6)	467,3 (84,9)	334,9 (44,5)	209,3 (9,7)	211,4 (97,3)
primavera 2018	187,8 (11,6)	168,9 (11,5)	387,8 (48,3)	198,5 (17,1)	284,7 (39,2)	370,5 (419,8)
otoño 2019	155,2 (26,4)	227,6 (221,3)	129,0 (12,8)	211,9 (21,2)	122,2 (19,9)	171,2 (40,8)
primavera 2019	219,4 (36,7)	277,5 (187,2)	240,5 (16,0)	261,7 (74,8)	163,3 (14,7)	133,5 (15,6)
cauce	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	426,8 (112,5)	295,1 (84,4)	356,1 (44,8)	390,6 (50,7)	191,9 (76,8)	458,6 (16,5)
otoño 2015	606,0 (42,7)	269,0 (33,9)	469,2 (80,9)	304,8 (34,6)	201,7 (66,6)	386,6 (26,9)
primavera 2015	504,3 (247,5)	291,3 (102,2)	226,5 (37,6)	462,5 (113,6)	176,9 (31,5)	471,4 (58,1)
otoño 2016	386,0 (26,8)	199*	372,4 (57,9)	347,8 (11,3)	149*	512,5 (42,7)
primavera 2016	537, 1 (34,4)	-	514*	366,5 (24,0)	-	347,8 (53,9)
otoño 2017	563,4 (168,6)	297,7 (79,7)	873,4 (73,3)	464,7 (23,0)	188,2 (5,8)	329,4 (30,3)
primavera 2017	420,1 (156,3)	161,4 (11,0)	240,2 (26,0)	362,0 (12,7)	452,0 (226,8)	193,7 (15,5)
otoño 2018	378,2 (145,6)	159,9 (24,6)	702,8 (114,0)	370,4 (22,8)	209,6 (62,6)	387,8 (22,1)
primavera 2018	429,5 (95,2)	163,4 (9,9)	587,7 (120,7)	348,7 (13,2)	277,0 (18,0)	313,5 (38,6)
otoño 2019	477,2 (76,0)	137,7 (55,1)	104,2 (5,4)	331,9 (21,2)	128,6 (10,4)	358,4 (32,2)
primavera 2019	665,4 (50,2)	167,3 (29,2)	222,8 (9,1)	367,8 (22,4)	212,5 (23,7)	399,9 (14,7)

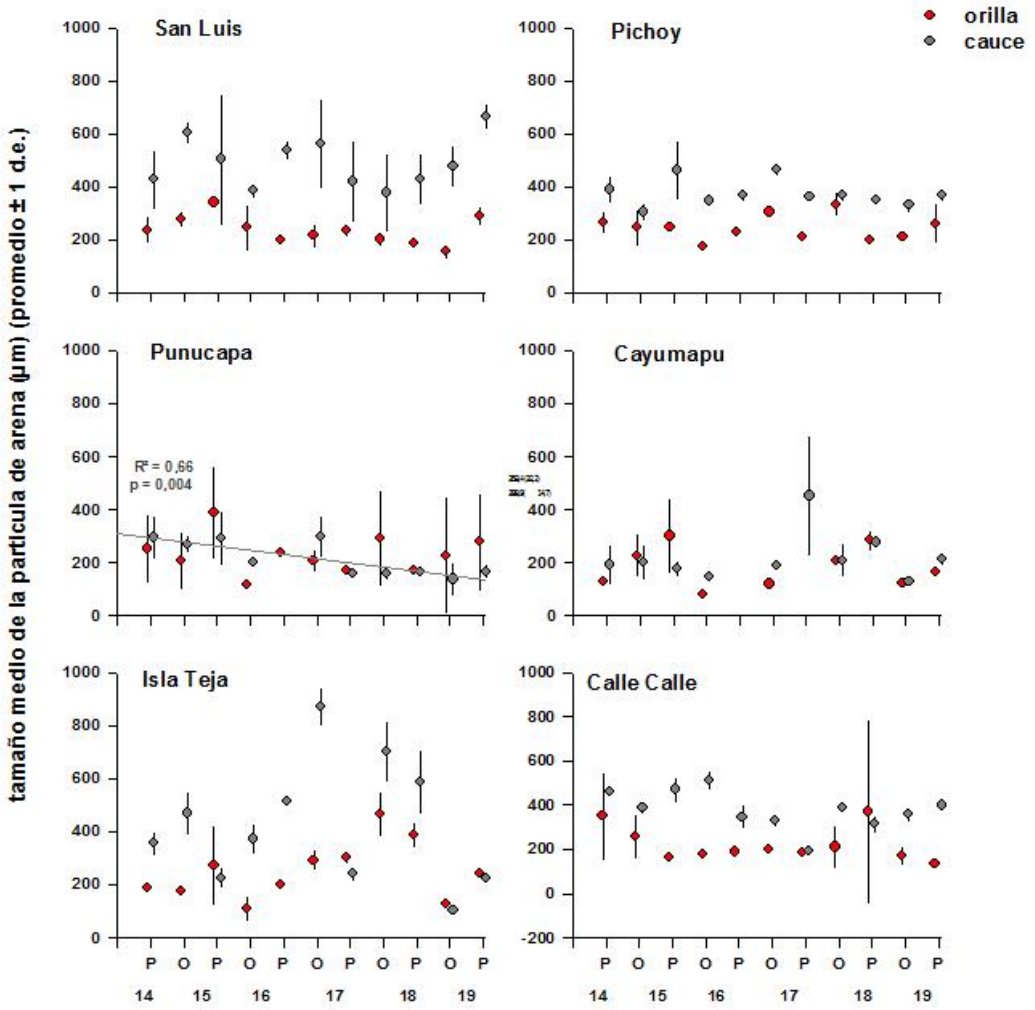


Figura 4.2.2.7. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio del tamaño medio de la partícula de arena contenida en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios ± 1 desviación estándar. Solo se muestran resultados de análisis de correlación entre valores porcentuales y tiempo, cuando los valores de p y R2 fueron significativos; representados con sus valores y una línea color rojo o gris en orilla y cauce respectivamente según corresponda.

pH

Durante el periodo de estudio los menores valores de pH registrados han ocurrido durante las mediciones realizadas en la primavera del año 2019, en los sedimentos de orilla y cauce del sector Cayumapu (5,7 y 5,5 respectivamente), y en los sedimentos de orilla del sector Punucapa (Tabla 4.2.2.7). A su vez, los mayores valores de pH fueron registrados durante la primavera del año 2017 en el sector Isla Teja; 9,4 y 9,2 (orilla y cauce respectivamente) (Tabla 4.2.2.7).

El análisis estadístico de regresión lineal da cuenta que con respecto al pH en los sedimentos provenientes de orilla y cauce de los sectores estudiados no hay tendencias significativas en el tiempo ($p>0,05$) (Fig. 4.2.2.8).

Tabla 4.2.2.7. Variabilidad del pH en los sedimentos de las orillas y cauces del área de estudio durante la primavera del año 2014, el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Calle Calle.

pH	**eje central del río Cruces (sector estuarial)**			**ríos tributarios del HRC (sector estuarial)**		**fuera del HRC**
orilla	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	6,4 (0,2)	6,6 (0,2)	6,8 (0,1)	6,5 (0,1)	6,6 (0,1)	5,9 (0,2)
otoño 2015	7,3 (0,2)	7,5 (0,2)	7,3 (0,3)	7,1 (0,5)	7,3 (0,1)	6,9 (0,4)
primavera 2015	7,2 (0,1)	6,5 (0,1)	6,5 (0,1)	6,6 (0,1)	6,8 (0,4)	6,7 (0,2)
otoño 2016	7,3 (0,4)	6,9 (0,1)	6,9 (0,0)	7,0 (0,0)	7,0 (0,0)	6,6 (0,2)
primavera 2016	8,2 (0,1)	7,8 (0,0)	8,4 (0,1)	7,5 (0,0)	7,7 (0,0)	6,0 (0,5)
otoño 2017	7,3 (0,2)	7,2 (0,2)	7,1 (0,2)	7,2 (0,1)	7,3 (0,0)	7,1 (0,1)
primavera 2017	7,3 (0,2)	7,9 (0,1)	9,4 (0,2)	7,8 (0,1)	7,2 (0,3)	8,1 (0,2)
otoño 2018	6,8 (0,2)	6,9 (0,1)	7,0 (0,1)	7,2 (0,3)	6,8 (0,1)	8,2 (0,1)
Primavera 2018	7,3 (0,1)	7,1 (0,1)	7,3 (0,2)	7,4 (0,2)	7,4 (0,2)	7,7 (0,2)
otoño 2019	6,7 (0,1)	6,5 (0,0)	6,5 (0,1)	6,5 (0,1)	6,6 (0,0)	7,2 (0,2)
primavera 2019	6,7 (0,1)	5,7 (0,1)	6,9 (0,1)	6,5 (0,5)	5,7 (0,2)	6,4 (0,2)
cauce	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	6,5 (0,3)	6,7 (0,2)	6,9 (0,1)	6,5 (0,4)	6,6 (0,1)	6,3 (0,2)
otoño 2015	7,3 (0,2)	7,7 (0,1)	7,7 (0,0)	7,2 (0,5)	7,5 (0,2)	7,2 (0,3)
primavera 2015	7,0 (0,3)	6,5 (0,0)	6,6 (0,1)	6,5 (0,1)	6,7 (0,3)	6,7 (0,1)
otoño 2016	7,1 (0,0)	6,7 (0,1)	6,9 (0,0)	7,0 (0,0)	7,0 (0,0)	6,6 (0,1)
primavera 2016	8,1 (0,0)	8,0 (0,7)	8,3 (0,1)	7,4 (0,1)	7,7 (0,1)	6,4 (0,2)
otoño 2017	7,4 (0,1)	7,0 (0,1)	7,2 (0,2)	7,3 (0,2)	7,2 (0,1)	7,3 (0,2)
primavera 2017	8,1 (0,2)	8,1 (0,2)	9,2 (0,0)	7,6 (0,1)	7,9 (0,2)	8,2 (0,1)
otoño 2018	6,6 (0,1)	6,9 (0,1)	6,9 (0,1)	7,1 (0,1)	6,6 (0,0)	8,1 (0,4)
primavera 2018	7,5 (0,2)	7,3 (0,1)	7,3 (0,1)	7,8 (0,1)	7,4 (0,1)	7,2 (0,1)
otoño 2019	7,1 (0,3)	6,6 (0,0)	6,7 (0,0)	6,5 (0,0)	6,5 (0,2)	6,9 (0,1)
primavera 2019	6,0 (0,1)	5,8 (0,1)	6,8 (0,2)	6,3 (0,5)	5,5 (0,2)	6,3 (0,1)

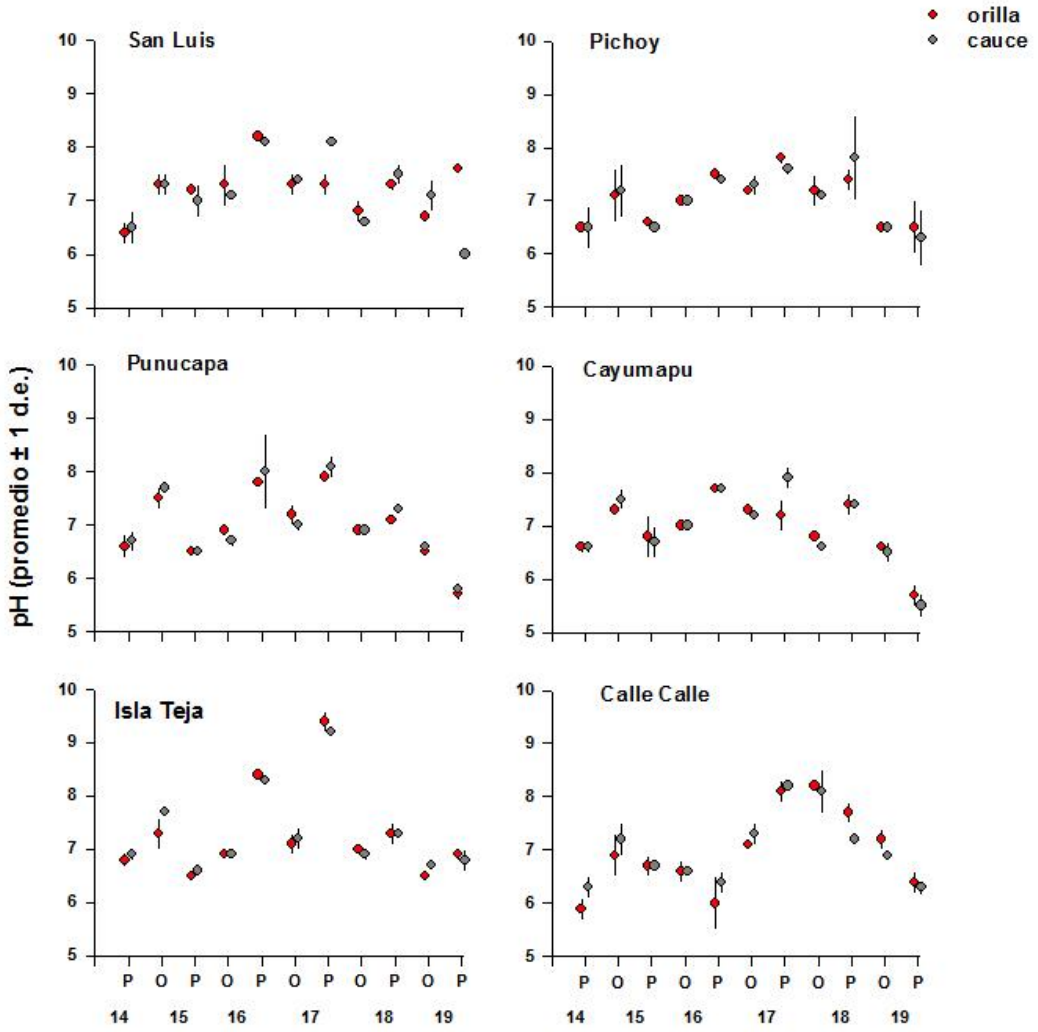


Figura 4.2.2.8. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio del pH en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios ± 1 desviación estándar.

Redox

Los valores porcentuales del potencial óxido reducción (redox) han presentado un comportamiento más bien estable durante el periodo de estudio, con fluctuaciones en la orilla entre -222,6 mV (río Calle Calle durante la primavera del año 2019) y 223,9 mV (Isla Teja durante el otoño del año 2018) (Tabla 4.2.2.8). A su vez, en los sedimentos

provenientes de los cauces el valor más alto registrado corresponde a 479,2 mV, el cual ocurrió durante el otoño del 2017 en el sector Isla Teja, seguido del río Calle Calle, el cual durante el otoño del 2015 presentó 277,2 mV. Por otra parte, durante el otoño del año 2018 en el sector río Cayumapu se registró el valor de redox más bajo, correspondiente a -133,4 mV (Tabla 4.2.2.8).

El análisis estadístico de regresión lineal no mostró tendencias interanuales significativas ($p>0,05$) al aumento o a la disminución del valor óxido reducción en los sedimentos de orilla y cauce provenientes de los sectores estudiados (Fig. 4.2.2.9).

Tabla 4.2.2.8. Variabilidad del potencial óxido reducción (redox) en los sedimentos de las orillas y cauces del área de estudio durante la primavera del año 2014, el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Calle Calle.

redox (mV)	**eje central del río Cruces (sector estuarial)**			**ríos tributarios del HRC (sector estuarial)**		**fuera del HRC**
orilla	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	-79,2 (12,0)	-71,1 (25,3)	-56,6 (33,3)	-68,8 (15,9)	-108,5 (14,2)	-5,7 (99,1)
otoño 2015	-109,9 (27,1)	59,9 (94,5)	97,8 (24,5)	20,0 (144,7)	-83,7 (55,3)	116,2 (193,6)
primavera 2015	-30,8 (95,9)	148,1 (57,2)	55,5 (88,0)	-53,0 (65,6)	-111,2 (29,2)	-91,6 (80,4)
otoño 2016	-26,5 (58,1)	-96,1 (26,6)	-7,6 (51,1)	-66,4 (73,8)	-69,6 (35,9)	-69,8 (28,9)
primavera 2016	1,3 (0,8)	65,4 (0,0)	72,7 (3,9)	68,4 (43,4)	54,9 (5,3)	81,0 (8,1)
otoño 2017	41,1 (39,2)	11,8 (29,3)	-48,6 (9,0)	8,7 (0,5)	62,3 (6,2)	77,0 (5,7)
primavera 2017	-27,1 (131,0)	-95,1 (30,6)	-81,8 (41,5)	-90,9 (11,9)	-127,7 (16,2)	-109,5 (12,7)
otoño 2018	-89,2 (7,6)	-27,6 (39,1)	223,9 (85,6)	129,8 (183,4)	24,2 (32,5)	-62,8 (19,3)
primavera 2018	-73,2 (18,4)	-70,9 (17,5)	39,9 (47,3)	-29,6 (24,9)	-4,2 (21,7)	-29,2 (5,9)
otoño 2019	-151,6 (9,3)	-82,8 (12,3)	-33,2 (14,9)	-111,2 (11,3)	28,9 (98,4)	-222,6 (150,1)
primavera 2019	-67,8 (35,3)	-46,4 (34,2)	-27,2 (65,8)	-78,0 (23,7)	-11,5 (51,8)	-22,2 (14,3)
cauce	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	3,3 (79,3)	-105,1 (19,6)	78,7 (40,0)	171,9 (35,0)*	-63,6 (70,5)	38,1 (179,6)
otoño 2015	113,0 (32,0)	134,5 (39,7)	122,9 (26,6)	113,6 (53,3)	-97,3 (68,3)	277,2 (27,7)
primavera 2015	33,5 (52,4)	110,1 (102,3)	199,6 (22,4)	194,7 (62,0)	-59,3 (7,4)	-85,3 (57,5)
otoño 2016	-128,1 (32,5)	42,6 (18,4)	41,9 (5,9)	65,9 (20,9)	-40,4 (15,2)	-10,8 (31,9)
primavera 2016	163,8 (54,7)	155,3 (108,5)	175,6 (86,1)	54,9 (5,3)	91,7 (48,8)	92,9 (5,3)
otoño 2017	72,9 (45,3)	67,8 (50,1)	479,2 (4,9)	2,2 (0,6)	103,3 (26,7)	47,6 (23,7)
primavera 2017	-68,6 (60,9)	-102,3 (20,3)	-93,4 (40,3)	163,4 (98,0)	-90,8 (29,7)	-65,0 (18,2)
otoño 2018	-119,9 (24,6)	-43,4 (14,4)	263,4 (12,2)	52,7 (99,3)	-133,4 (44,9)	-19,7 (84,4)
primavera 2018	226,3 (119,8)	-3,3 (22,2)	173,8 (78,9)	302,9 (27,3)	-26,4 (35,1)	-67,3 (15,0)
otoño 2019	-131,6 (38,2)	-51,2 (5,5)	-12,6 (20,6)	241,5 (81,3)	-27,7 (48,1)	-74,3 (146,5)
primavera 2019	-71,9 (11,6)	-42,3 (25,2)	232,8 (28,1)	214,7 (118,6)	27,8 (35,1)	-79,3 (23,7)

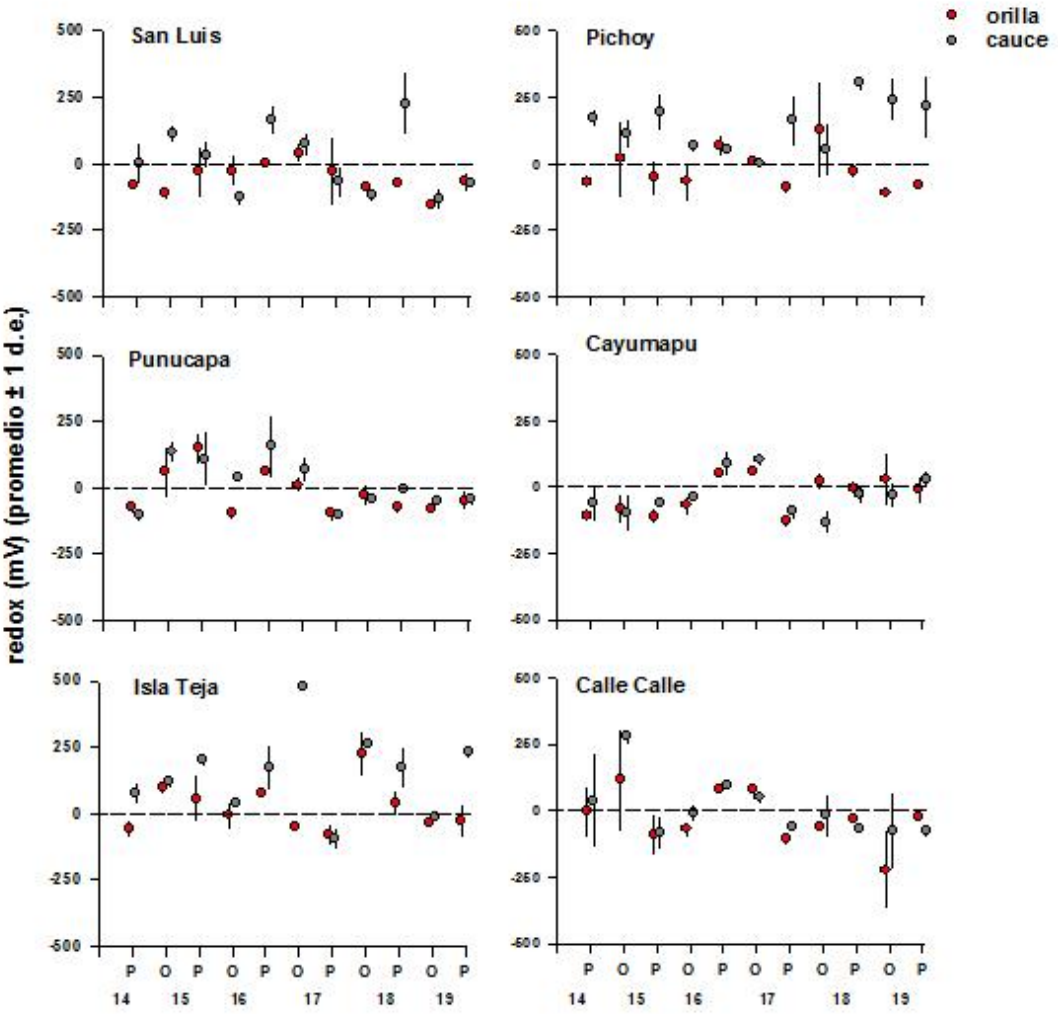


Figura 4.2.2.9. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio del valor óxido reducción (redox) en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios ± 1 desviación estándar.

Macroinfauna bentónica

Composición específica

Durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (año 2014), la composición taxonómica fue de 12 especies las cuales corresponden a dos poliquetos, dos oligoquetos, cuatro crustáceos, dos insectos, un hirudineo, un molusco bivalvo y un cordado (Ver Anexo).

Durante el Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, año 2016 fue el periodo que registró la composición taxonómica de la macroinfauna bentónica más alta de todos los años de estudio (20 especies), esto correspondió a cinco especies de crustáceos (*Paracorophium hartmannorum*, *Cyprideis beaconensis*, *Leucon* sp., una especie de Copepoda y un ostracodo), dos especies de poliquetos (*Prionospio (Minuspio) patagonica* y *Perinereis gualpensis*), dos de oligoquetos (uno de la familia Tubificidae y otro de Naididae), cinco de insectos (uno de la familia Chironomidae, Tanypodine, Ortocladine, Ephemeroptera y Plecoptera), dos moluscos bivalvos (*Mulinia edulis* y *Pisidium* sp.), un molusco gastropodo (*Littoridina* sp.), un hirudineo, un nemertino y un arácnido (Ver Anexo).

Por otra parte, durante el año 2019, se registró la composición faunística más baja encontrada durante el periodo de estudio (11 especies), la cual estuvo representada principalmente por; dos poliquetos *Prionospio (Minuspio) patagonica* y *Perinereis gualpensis*, dos oligoquetos de las familias Tubificidae y Naididae, tres crustáceos *Paracorophium hartmannorum*, *Leucon* sp. y Phoxocephalidae, dos insectos pertenecientes a las familias Chironomidae y Tanypodine, un molusco y un Hirudineo (Ver Anexo).

Riqueza de especies

La Tabla 4.2.2.9 y Figura 4.2.2.10 muestran la riqueza de especies de la macroinfauna bentónica en los sedimentos de orillas y cauces de los sitios de estudio.

La riqueza promedio de especies varió entre 1 a 6 taxa, los valores más altos (6 taxa) ocurrieron en los sedimentos de las orillas del sector Isla Teja y río Calle Calle en la primavera del 2016 y durante el otoño del año 2016 y 2017 y la primavera del año 2016. En los sedimentos de los cauces el número más alto de taxa (5 taxa) ocurrió en los mismos sitios de estudio que para los sedimentos de orillas pero esta vez en la primavera del 2018 en el sector de Isla Teja y en el río Calle Calle, en el otoño del año 2016 y 2018 (Tabla 4.2.2.9). Los valores más bajos en la riqueza de especies se registraron en los sedimentos de orillas y cauces del río Pichoy, en los sedimentos de los cauces incluso hubo campañas que no registraron ninguna especie (Tabla 4.2.29).

La Figura 4.2.2.10 muestra la variabilidad interanual en la riqueza de especies de los sedimentos de orillas y cauces de los diferentes sitios de estudio; solo se observó una tendencia interanual significativa ($p<0,05$) en los sedimentos de los cauces del sector Isla Teja*; i.e*., el número de especies tendió a aumentar en el tiempo (Fig. 4.2.2.10).

Tabla 4.2.2.9. Comparación interanual de la riqueza de especies de la macroinfauna bentónica en los sedimentos de las orillas y cauces del área de estudio durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Calle Calle.

n° de especies	**eje central del río Cruces (sector estuarial)**			**ríos tributarios del HRC (sector estuarial)**		**fuera del HRC**
orilla	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	1 (0,0)	4 (1,5)	4 (1,0)	3 (0,5)	1 (0,5)	3 (1,6)
otoño 2015	1 (1,2)	4 (0,6)	4 (0,5)	0 (0,5)	2 (1,3)	2 (0,5)
primavera 2015	3 (0,5)	4 (1,0)	2 (1,3)	2 (1,0)	3 (1,9)	3 (1,0)
otoño 2016	2 (1,6)	4 (0,5)	4 (1,0)	2 (1,0)	3 (0,8)	6 (1,0)
primavera 2016	5 (2,6)	4 (0,8)	6 (1,3)	3 (0,0)	5 (1,3)	6 (1,7)
otoño 2017	2 (1,5)	3 (0,8)	4 (1,3)	1 (0,0)	2 (0,6)	6 (1,0)
primavera 2017	2 (0,5)	2 (0,5)	3 (0,5)	2 (0,6)	1 (1,9)	1 (1,3)
otoño 2018	1 (1,5)	3 (0,8)	3 (0,5)	1 (0,8)	1 (0,8)	4 (0,6)
primavera 2018	2 (1,3)	1 (1,0)	4 (1,0)	3 (0,5)	1 (0,8)	2 (1,4)
otoño 2019	1 (0,6)	1 (0,5)	5 (0,6)	1 (0,5)	1 (0,8)	2 (1,3)
primavera 2019	1 (1,4)	5 (0,5)	3 (1,3)	3 (1,0)	3 (1,0)	3 (1,0)
cauce	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	2 (1,3)	3 (1,7)	2 (0,5)	0 (0,5)	1 (0,8)	3 (1,6)
otoño 2015	0 (0,5)	1 (1,0)	3 (0,5)	1 (1,0)	1 (0,5)	1 (0,8)
primavera 2015	1 (1,5)	3 (0,0)	3 (0,5)	0 (0,5)	2 (1,2)	3 (0,5)
otoño 2016	2 (0,8)	3 (1,3)	3 (0,5)	1 (0,0)	2 (1,4)	5 (1,3)
primavera 2016	1 (0,6)	3 (1,6)	4 (1,7)	1 (1,0)	3 (1,3)	4 (1,6)
otoño 2017	1 (0,0)	2 (1,3)	2 (0,6)	1 (0,6)	2 (0,6)	4 (0,5)
primavera 2017	1 (0,0)	3 (0,6)	3 (0,6)	0 (0,5)	2 (0,6)	3 (1,0)
otoño 2018	1 (1,0)	1 (0,5)	4 (0,6)	1 (1,0)	1 (1,0)	5 (1,9)
primavera 2018	1 (0,6)	4 (1,8)	5 (1,3)	0 (0,0)	2 (0,6)	3 (0,6)
otoño 2019	1 (0,5)	3 (1,5)	4 (1,4)	1 (0,6)	1 (0,8)	4 (0,6)
primavera 2019	1 (0,8)	3 (1,0)	4 (0,5)	1 (0,6)	2 (1,0)	2 (0,0)

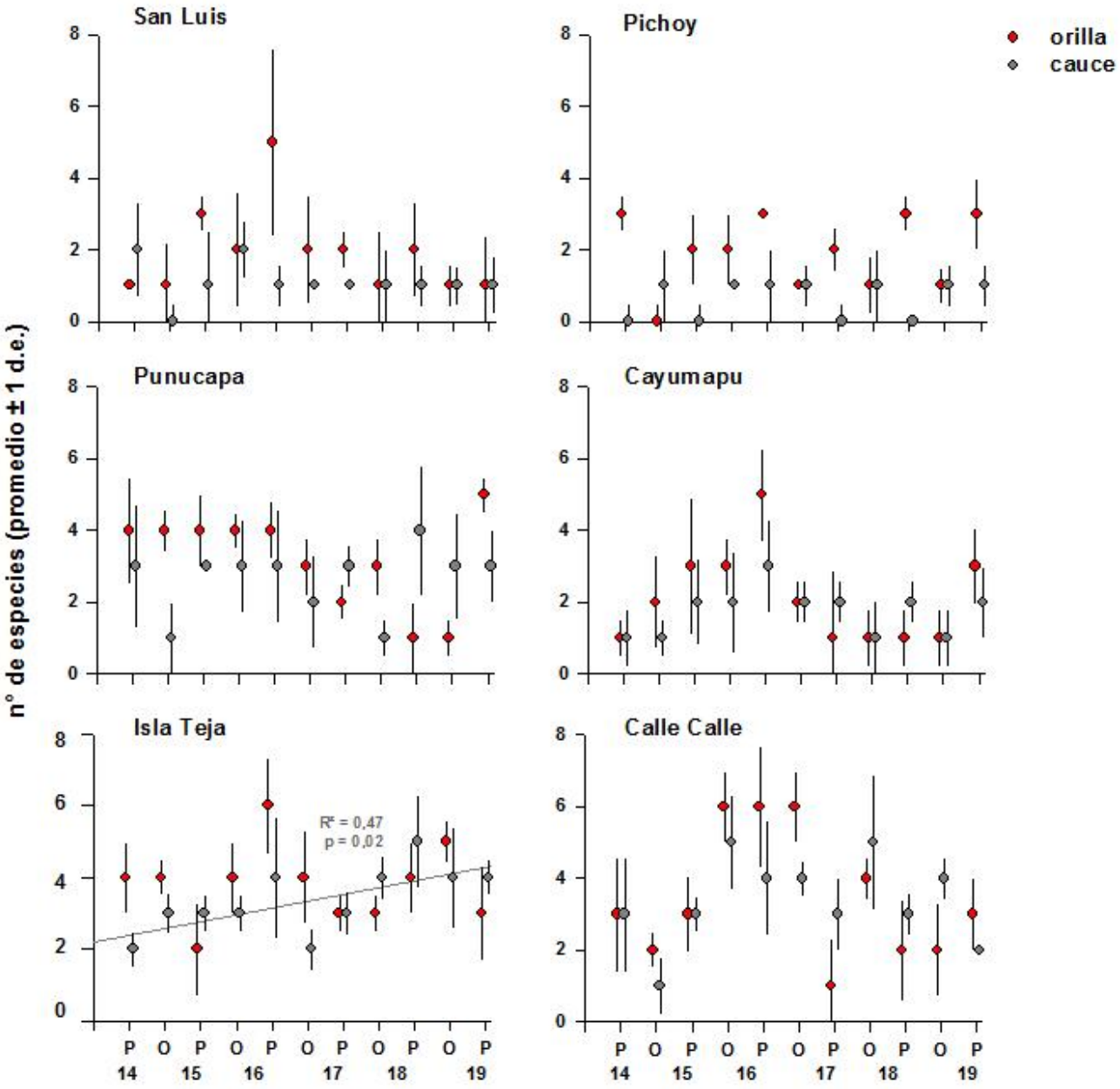


Figura 4.2.2.10. Comparación interanual de la riqueza de especies en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) ± 1 desviación estándar. Solo se muestran resultados de análisis de correlación entre valores porcentuales y tiempo, cuando los valores de p y R^2 fueron significativos; representados con sus valores y una línea color rojo o gris en orilla y cauce respectivamente según corresponda.

Abundancia total

En general, la abundancia total de la macroinfauna bentónica durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (año 2014) y Programa de Monitoreo Ambiental del HRC durante los años 2015, 2016 y 2017 ha sido mayor en las orillas que en los cauces del área de estudio, sin embargo, durante el periodo de estudio 2018 y 2019, se registraron abundancias altas en los sedimentos tanto de orillas como de cauces (Tabla 4.2.2.10).

Los valores más altos de abundancia total de la macroinfauna bentónica durante el periodo de estudio se registraron en el sector Isla Teja como en el río Calle Calle, el valor más alto alcanzado de abundancia se ocurrió durante el otoño del año 2018, en los sedimentos provenientes de las orillas del río Calle Calle y en los sedimentos de los cauces del sector Isla Teja (variando entre 79.091 y 61.307 ind/m^2 respectivamente), abundancias dadas fundamentalmente por oligoquetos de la familia Tubificidae y por el anfípodo *Paracorophium hartmannorum* respectivamente (Tabla 4.2.2.10).

En tanto, durante el año 2019, los sedimentos de las orillas durante la primavera y los sedimentos de los cauces durante el otoño y primavera del sector de Punucapa registraron valores altos de abundancia total (> a 27.000 ind/m^2) (Tabla 4.2.2.10).

Los menores valores de abundancia total con algunas excepciones durante todo el periodo de estudio se registraron en el sector San Luis, río Pichoy y río Cayumapu (Tabla 4.2.2.10 y Fig. 4.2.2.11).

La Figura 4.2.2.11 muestra que hubo una variabilidad interanual significativa ($p<0,05$) en la abundancia promedio total de la macroinfauna bentónica de los sedimentos de los cauces de los sectores de Punucapa e Isla Teja (*i.e.,* la abundancia total de la macroinfauna tendió a aumentar en el tiempo).

Tabla 4.2.2.10. Abundancia total (ind/m^2) de la macroinfauna bentónica en los sedimentos de las orillas y cauces de estudio, durante la primavera del año 2014, el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Calle Calle.

abundancia	**eje central del río Cruces (sector estuarial)**			**ríos tributarios del HRC (sector estuarial)**		**fuera del HRC**
orilla	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	568 (394)	2.159 (1.319)	16.591 (22.449)	2.614 (1.025)	455 (371)	11.534 (4.611)
otoño 2015	227 (262)	1.932 (1.090)	18.580 (4.126)	57 (114)	398 (341)	4.602 (2.614)
primavera 2015	7.500 (7.151)	3.352 (1.150)	1.307 (1.039)	1.818 (1.413)	1.989 (1.812)	3.125 (1.523)
otoño 2016	966 (1.072)	4.432 (2.366)	16.193 (7.985)	1.080 (935)	1.534 (1.039)	29.205 (19.964)
primavera 2016	18.466 (15.311)	18.409 (11.566)	14.205 (6.614)	12.727 (6.582)	4.716 (1.088)	29.432 (5.893)
otoño 2017	2.898 (2.581)	5.057 (3.383)	7.046 (4.219)	341 (228)	1.648 (388)	25.909 (6.022)
primavera 2017	3.068 (1.756)	6.250 (2.466)	18.012 (3.074)	1.023 (860)	1.307 (2.465)	2.500 (4.549)
otoño 2018	284 (568)	3.693 (1.381)	49.489 (16.291)	568 (707)	795 (1.008)	79.091 (17.242)
primavera 2018	1.193 (1.304)	511 (598)	12.216 (6.720)	5.227 (3.021)	1.307 (1.222)	1.023 (707)
otoño 2019	341 (541)	398 (286)	31.989 (25.352)	682 (928)	682 (669)	4.886 (4.025)
primavera 2019	625 (858)	34.489 (12.948)	16.136 (13.703)	9.489 (10.682)	2.273 (1.828)	5.000 (1.272)
cauce	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	739 (773)	2.557 (2.135)	3.523 (3.414)	57 (114)	284 (286)	3.239 (2.942)
otoño 2015	57 (114)	398 (341)	2.216 (1.135)	284 (341)	625 (218)	511 (504)
primavera 2015	739 (971)	3.807 (1.194)	4.830 (1.950)	57 (114)	568 (341)	6.193 (5.220)
otoño 2016	1.705 (1.238)	7.330 (2.237)	5.284 (1.119)	227 (0)	1.761 (1.164)	17.898 (5.736)
primavera 2016	171 (218)	12.046 (8.061)	4.659 (1.785)	227 (262)	2.159 (1.151)	24.432 (10.808)
otoño 2017	625 (286)	1.989 (3.378)	2.216 (1.264)	171 (228)	2.955 (2.140)	30.341 (14.159)
primavera 2017	852 (568)	36.193 (22.449)	17.784 (18.907)	57 (114)	512 (286)	1.989 (1.454)
otoño 2018	114 (227)	5.114 (5.475)	1.307 (29.028)	227 (262)	284 (218)	50.057 (47.146)
primavera 2018	284 (430)	6.080 (1.887)	14.886 (3.141)	0	2.727 (719)	6.250 (3.986)
otoño 2019	909 (765)	58.523 (32.977)	12.216 (13.021)	284 (341)	341 (394)	63.239 (20.983)
primavera 2019	1.080 (1.006)	27.955 (12.448)	39.034 (10.219)	227 (321)	1.023 (754)	19.034 (8.892)

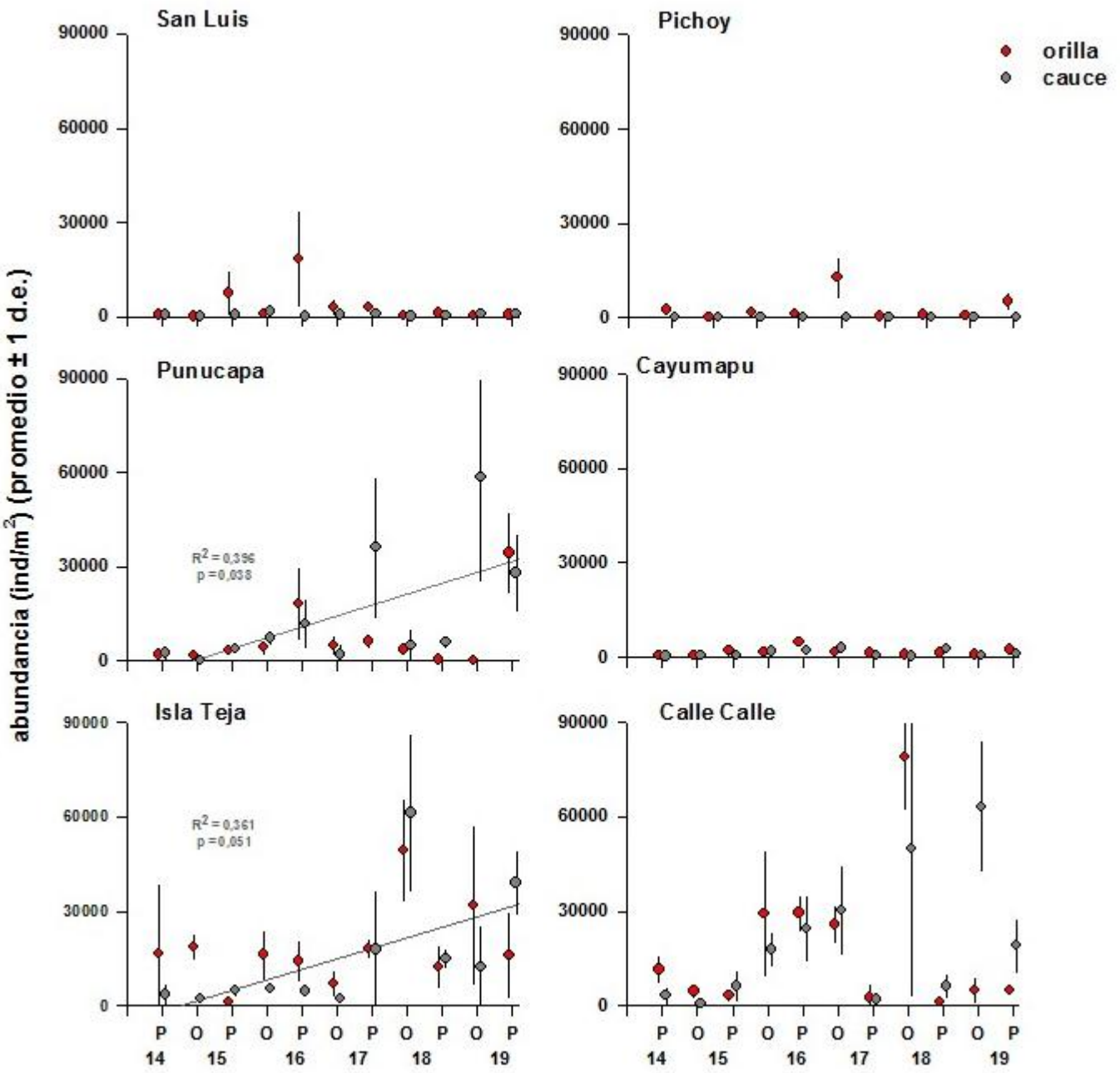


Figura 4.2.2.11. Comparación interanual de la abundancia total (ind/m^2) de la macroinfauna bentónica en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) ± 1 desviación estándar.

Biomasa

Los valores promedio de biomasa alcanzados durante el año 2018, en los sedimentos de orilla corresponden a los valores más altos registrados durante todo el periodo de estudio, esto debido principalmente a las altas abundancias del oligoqueto Tubificidae en el sector del río Calle Calle (10,55 g/m^2). Por otra parte, en los sedimentos de los cauces del río Cayumapu durante la primavera del mismo año, ocurrió el segundo valor más alto de biomasa total de la macroinfauna la cual alcanzo a 8,69 g/m^2, biomasa dada también por altas abundancias del oligoqueto Tubificidae (Tabla 4.2.2.11).

Durante el año 2019, también se registraron altos valores de biomasa total de la macroinfauna durante la campaña de primavera, tanto en los sedimentos de las orillas como de los cauces del sector de Punucapa (7,14 g/m^2 y 7,05 g/m^2 respectivamente), valores dados fundamentalmente por las altas abundancias del anfípodo *Paracorophium hartmannorum* (Tabla 4.2.2.11).

Por otra parte, los valores de biomasa más bajos registrados ocurrieron en los sedimentos de orilla y cauce de los sectores San Luis, río Pichoy y río Cayumapu (valores <1,00 g/m^2) y coincidentes con las menores abundancias totales de la macroinfauna bentónica (Tabla 4.2.2.11).

Los valores promedio de biomasa total de la macroinfauna bentónica en los sedimentos de las orillas y cauces de los diferentes sitios de estudio mostraron una tendencia interanual significativa ($p<0,05$) al aumento en el tiempo en la biomasa total de la macroinfauna de los organismos que habitan los sedimentos de los cauces del sector Isla Teja (Fig. 4.2.2.12).

Tabla 4.2.2.11. Biomasa total (g peso seco/m^2) de la macroinfauna bentónica en los sedimentos de las orillas y cauces de estudio, durante la primavera del año 2014, el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Calle Calle.

biomasa	**eje central del río Cruces (sector estuarial)**			**ríos tributarios del HRC (sector estuarial)**		**fuera del HRC**
orilla	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	0,06 (0,04)	0,44 (0,25)	2,52 (2,60)	0,34 (0,26)	0,21 (0,21)	2,15 (1,86)
otoño 2015	0,08 (0,13)	0,97 (0,48)	3,20 (1,16)	0,01 (0,01)	0,11 (0,11)	1,64 (1,43)
primavera 2015	0,29 (0,25)	1,93 (1,49)	1,32 (1,00)	0,13 (0,10)	0,28 (0,20)	1,13 (0,87)
otoño 2016	0,05 (0,05)	0,40 (0,20)	0,68 (0,36)	0,05 (0,03)	0,10 (0,06)	1,03 (0,36)
primavera 2016	0,67 (0,41)	2,76 (0,96)	4,47 (2,88)	0,65 (0,20)	0,16 (0,05)	3,56 (2,48)
otoño 2017	0,21 (0,29)	0,26 (0,11)	0,31 (0,26)	0,02 (0,00)	0,09 (0,10)	1,68 (0,66)
primavera 2017	0,65 (0,43)	2,44 (0,61)	4,07 (3,16)	0,29 (0,35)	0,05 (0,08)	0,36 (0,60)
otoño 2018	0,03 (0,06)	0,61 (0,35)	4,06 (1,08)	0,15 (0,25)	0,04 (0,04)	10,55 (4,67)
primavera 2018	0,26 (0,32)	0,13 (0,16)	2,66 (1,59)	0,91 (0,51)	0,14 (0,13)	0,28 (0,18)
otoño 2019	0,11 (0,13)	0,02 (0,01)	4,06 (1,40)	0,46 (0,83)	0,02 (0,02)	0,58 (0,44)
primavera 2019	0,24 (0,28)	7,14 (2,95)	4,61 (2,79)	0,38 (0,16)	0,23 (0,15)	0,95 (0,32)
cauce	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	0,10 (0,12)	0,49 (0,84)	1,47 (1,19)	0,01 (0,01)	0,09 (0,14)	0,65 (0,78)
otoño 2015	0,01 (0,01)	0,19 (0,23)	0,80 (0,43)	0,06 (0,10)	0,19 (0,04)	0,16 (0,17)
primavera 2015	0,06 (0,07)	1,09 (0,35)	1,94 (0,79)	0,02 (0,05)	0,18 (0,13)	1,15 (0,74)
otoño 2016	0,05 (0,02)	0,36 (0,21)	0,28 (0,16)	0,02 (0,00)	0,08 (0,09)	7,12 (12,91)
primavera 2016	0,02 (0,03)	2,69 (2,13)	0,99 (0,33)	0,02 (0,02)	0,09 (0,03)	3,01 (1,66)
otoño 2017	0,09 (0,10)	0,34 (0,36)	0,22 (0,16)	0,01 (0,01)	0,26 (0,22)	1,04 (0,69
primavera 2017	0,27 (0,16)	6,98 (3,59)	1,88 (2,05)	0,01 (0,01)	0,08 (0,10)	1,24 (1,44)
otoño 2018	0,01 (0,02)	0,22 (0,20)	4,14 (2,11)	0,03 (0,06)	0,03 (0,02)	6,51 (3,33)
primavera 2018	0,05 (0,09)	0,62 (0,32)	2,93 (0,67)	0,00 (0,00)	8,69 (16,57)	2,47 (0,90)
otoño 2019	0,05 (0,06)	4,27 (2,95)	2,34 (1,74)	0,10 (0,19)	0,02 (0,02)	4,78 (1,92)
primavera 2019	0,45 (0,56)	7,05 (6,95)	6,18 (1,66)	0,06 (0,10)	0,13 (0,13)	4,01 (1,75)

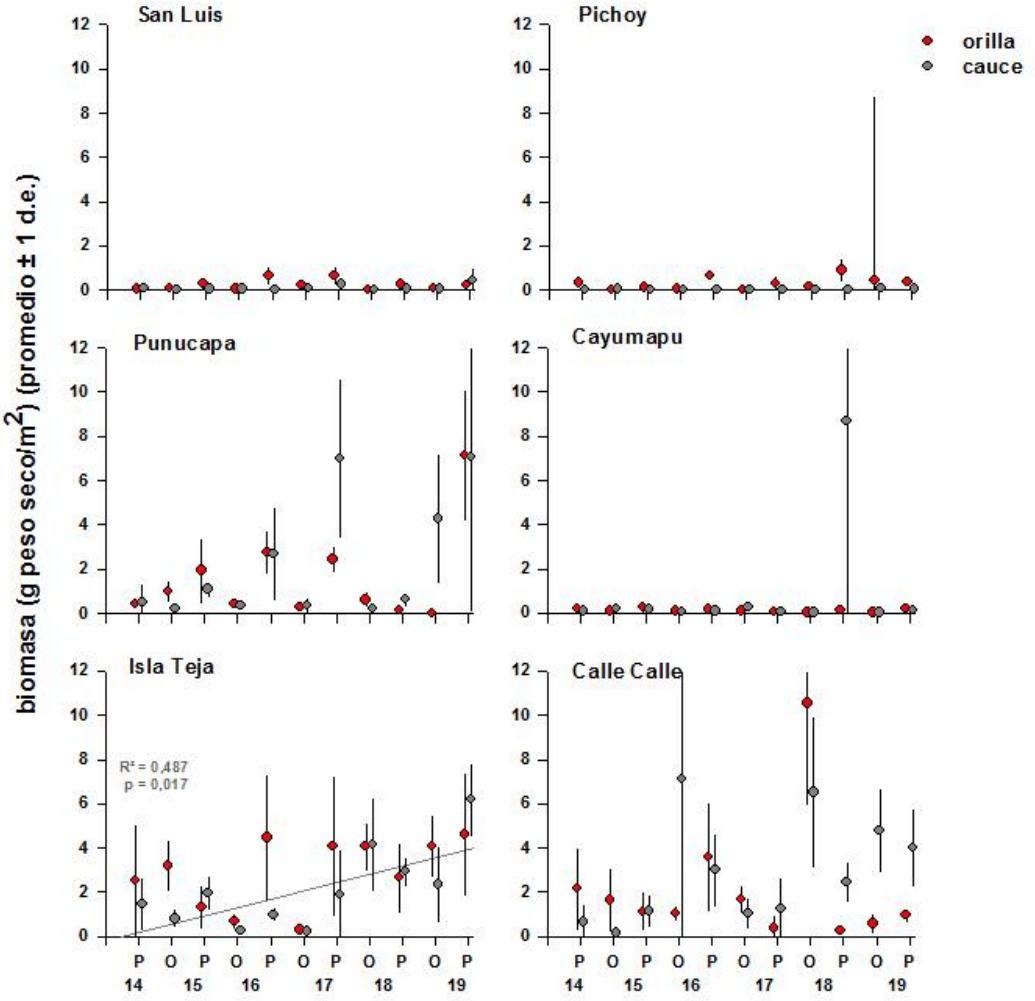


Figura 4.2.2.12. Comparación interanual de la biomasa total (g peso seco/m^2) de la macroinfauna bentónica en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) ± 1 desviación estándar.

Diversidad

El Índice de diversidad de Shannon – Wiener, que integra número de especies y la abundancia poblacional de las mismas, registró los valores más altos de diversidad en los sedimentos de las orillas y cauces durante el año 2019. En el otoño del año 2019, los valores más altos de diversidad se registraron en los sedimentos de las orillas del sector Isla Teja (H'=0,65), en tanto durante la campaña de primavera los mayores valores en este índice ocurrieron también en el sector Isla Teja, tanto en los sedimentos de las orillas como en los cauces (H'=0,67 y H'=0,62 respectivamente) (Tabla 4.2.2.12).

Los menores valores de diversidad o valores iguales a cero se registraron en los sectores de San Luis, Punucapa y río Pichoy (Tabla 4.2.2.12).

La Figura 4.2.2.13 muestra la variabilidad interanual en el Índice de Diversidad de Shannon – Wiener en los sedimentos de las orillas y cauces de los diferentes sitios de estudio; no se observó una tendencia interanual significativa ($p>0,05$); es decir no hubo una tendencia a disminuir o aumentar en el tiempo (Fig. 4.2.2.13).

Nota: los valores del Índice de Diversidad igual a cero (H'=0,00), se deben a que el promedio de especies presente correspondió a 1 taxón (Tabla 4.2.2.12).

Tabla 4.2.2.12. Índice de Diversidad de Shannon – Wiener de la macroinfauna bentónica en los sedimentos de las orillas y cauces del área de estudio durante la primavera del año 2014, el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Calle Calle.

diversidad (H')	**eje central del río Cruces (sector estuarial)**			**ríos tributarios del HRC (sector estuarial)**		**fuera del HRC**
orilla	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	0,00 (0,00)	0,48 (0,20)	0,35 (0,19)	0,36 (0,14)	0,00 (0,00)	0,21 (0,17)
otoño 2015	0,15 (0,17)	0,48 (0,07)	0,37 (0,05)	0,00 (0,00)	0,19 (0,23)	0,19 (0,17)
primavera 2015	0,28 (0,10)	0,44 (0,11)	0,24 (0,19)	0,23 (0,18)	0,34 (0,25)	0,25 (0,09)
otoño 2016	0,23 (0,16)	0,45 (0,11)	0,31 (0,05)	0,16 (0,18)	0,44 (0,11)	0,32 (0,08)
primavera 2016	0,30 (0,17)	0,42 (0,12)	0,46 (0,08)	0,41 (0,06)	0,44 (0,17)	0,37 (0,19)
otoño 2017	0,12 (0,17)	0,41 (0,07)	0,37 (0,12)	0,00 (0,00)	0,10 (0,11)	0,32 (0,13)
primavera 2017	0,13 (0,11)	0,25 (0,02)	0,25 (0,05)	0,11 (0,14)	0,08 (0,16)	0,07 (0,15)
otoño 2018	0,11 (0,23)	0,37 (0,16)	0,18 (0,10)	0,04 (0,09)	0,08 (0,15)	0,08 (0,05)
primavera 2018	0,11 (0,15)	0,06 (0,12)	0,28 (0,03)	0,31 (0,09)	0,05 (0,11)	0,20 (0,25)
otoño 2019	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,65 (0,05)	0,00 (0,00)	0,08 (0,15)	0,29 (0,24)
primavera 2019	0,12 (0,24)	0,67 (0,05)	0,38 (0,26)	0,49 (0,14)	0,42 (0,15)	0,36 (0,24)
cauce	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	0,22 (0,15)	0,21 (0,16)	0,21 (0,13)	0,00 (0,00)	0,07 (0,14)	0,28 (0,22)
otoño 2015	0,00 (0,00)	0,14 (0,16)	0,34 (0,13)	0,07 (0,14)	0,07 (0,14)	0,07 (0,14)
primavera 2015	0,18 (0,21)	0,39 (0,06)	0,32 (0,14)	0,00 (0,00)	0,24 (0,28)	0,29 (0,06)
otoño 2016	0,26 (0,19)	0,28 (0,14)	0,33 (0,06)	0,00 (0,00)	0,16 (0,22)	0,25 (0,07)
primavera 2016	0,00 (0,00)	0,23 (0,16)	0,27 (0,20)	0,08 (0,15)	0,39 (0,20)	0,30 (0,07)
otoño 2017	0,00 (0,00)	0,18 (0,15)	0,08 (0,10)	0,00 (0,00)	0,06 (0,07)	0,34 (0,07)
primavera 2017	0,00 (0,00)	0,20 (0,07)	0,16 (0,08)	0,00 (0,00)	0,15 (0,17)	0,33 (0,15)
otoño 2018	0,08 (0,15)	0,01 (0,02)	0,13 (0,02)	0,08 (0,15)	0,15 (0,17)	0,25 (0,17)
primavera 2018	0,00 (0,00)	0,46 (0,18)	0,38 (0,15)	0,00 (0,00)	0,09 (0,12)	0,21 (0,07)
otoño 2019	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,59 (0,21)	0,00 (0,00)	0,08 (0,15)	0,53 (0,07)
primavera 2019	0,07 (0,15)	0,41 (0,15)	0,62 (0,05)	0,00 (0,00)	0,31 (0,22)	0,30 (0,00)

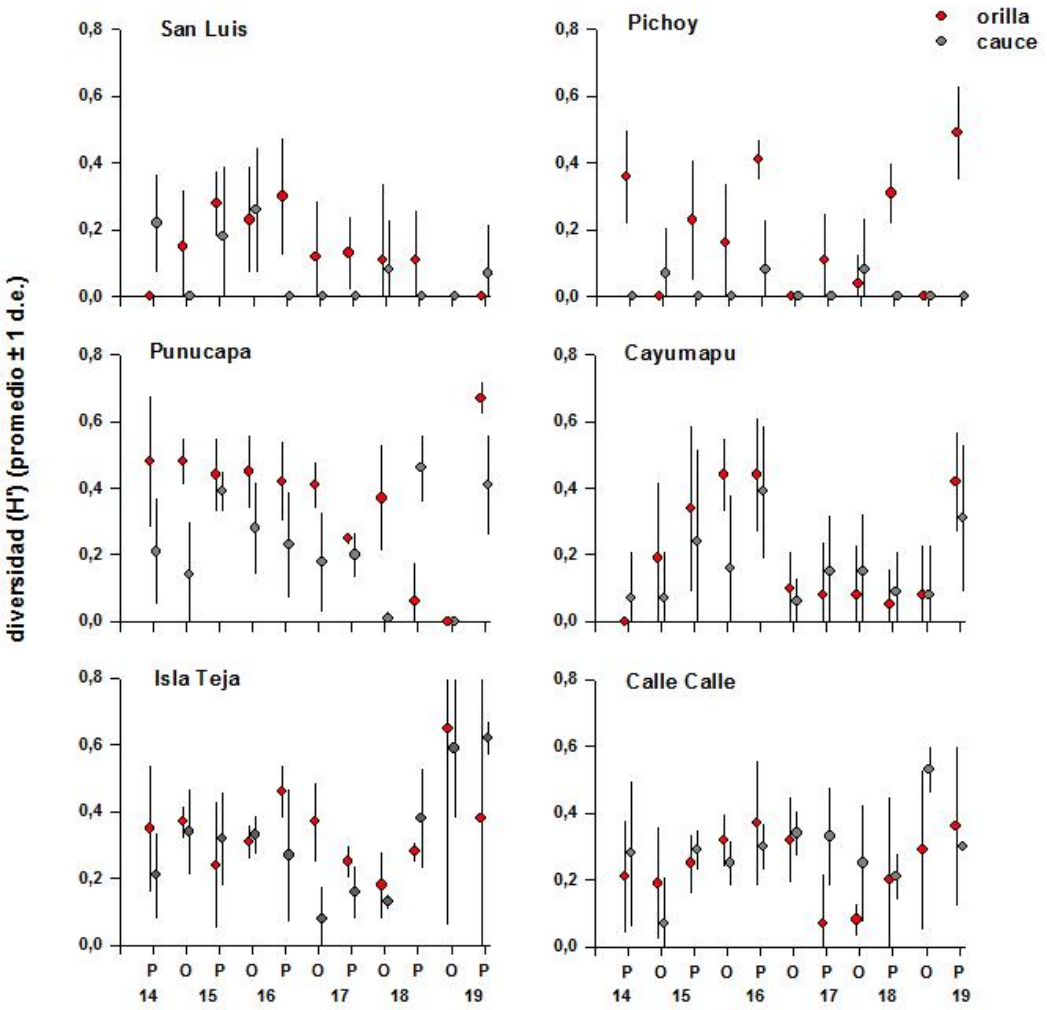


Figura 4.2.2.13. Comparación interanual del Índice de diversidad Shannon – Wiener de la macroinfauna bentónica en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) ± 1 desviación estándar. Sólo se muestran resultados de análisis de correlación entre valores porcentuales y tiempo, cuando los valores de p y R^2 fueron significativos; representados con sus valores y una línea color rojo o gris en orilla y cauce respectivamente según corresponda.

Uniformidad o equitatividad

Los valores de uniformidad o equitatividad (J') durante el periodo de estudio no muestran un patrón tan definido, encontrando valores que van desde cero (J'=0,00) hasta valores máximos los cuales estuvieron cercanos al orden de J'=1,00. Los valores más altos (cercanos a uno) durante el periodo de estudio, se registraron en el año 2019, en los sedimentos de las orillas del sector de Punucapa, río Pichoy y río Cayumapu durante la primavera y en los sedimentos de los cauces en el otoño del sector Isla Teja y en la primavera del sector del río Calle Calle (Tabla 4.2.2.13).

En general, se observa que los valores de uniformidad o equitatividad (J'), más bajos se registraron en los sedimentos de orillas y cauces de los sectores San Luis y río Pichoy (Tabla 4.2.2.13).

La Figura 4.2.2.14 muestra la variabilidad interanual en el Índice de Uniformidad en los sedimentos de las orillas y cauces, en los cuales no se observó una tendencia interanual significativa ($p>0,05$) al aumento o disminución de sus valores en el tiempo.

Tabla 4.2.2.13. Uniformidad de Pielou o equitatividad de la macroinfauna bentónica en los sedimentos de las orillas y cauces del área de estudio durante la primavera del año 2014, el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Calle Calle.

equitatividad (J')	**eje central del río Cruces (sector estuarial)**			**ríos tributarios del HRC (sector estuarial)**		**fuera del HRC**
orilla	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	0,00 (0,00)	0,87 (0,08)	0,59 (0,25)	0,69 (0,21)	0,00 (0,00)	0,38 (0,30)
otoño 2015	0,50 (0,58)	0,90 (0,07)	0,65 (0,07)	0,00 (0,00)	0,48 (0,55)	0,50 (0,30)
primavera 2015	0,63 (0,12)	0,84 (0,07)	0,67 (0,45)	0,55 (0,40)	0,61 (0,42)	0,67 (0,13)
otoño 2016	0,62 (0,43)	0,78 (0,13)	0,51 (0,12)	0,41 (0,48)	0,95 (0,04)	0,32 (0,11)
primavera 2016	0,48 (0,09)	0,72 (0,23)	0,63 (0,07)	0,86 (0,13)	0,67 (0,14)	0,45 (0,19)
otoño 2017	0,22 (0,29)	0,90 (0,13)	0,70 (0,04)	0,00 (0,00)	0,32 (0,37)	0,43 (0,14)
primavera 2017	0,45 (0,36)	0,74 (0,17)	0,50 (0,13)	0,37 (0,48)	0,14 (0,27)	0,16 (0,31)
otoño 2018	0,24 (0,48)	0,78 (0,16)	0,34 (0,18)	0,15 (0,30)	0,25 (0,50)	0,15 (0,11)
primavera 2018	0,27 (0,33)	0,20 (0,41)	0,46 (0,13)	0,60 (0,11)	0,18 (0,36)	0,45 (0,52)
otoño 2019	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,99 (0,00)	0,00 (0,00)	0,25 (0,50)	0,73 (0,49)
primavera 2019	0,25 (0,50)	0,99 (0,00)	0,74 (0,49)	0,99 (0,01)	0,99 (0,00)	0,75 (0,50)
cauce	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	0,65 (0,45)	0,40 (0,28)	0,59 (0,32)	0,00 (0,00)	0,23 (0,46)	0,50 (0,36)
otoño 2015	0,00 (0,00)	0,46 (0,53)	0,77 (0,19)	0,23 (0,46)	0,23 (0,46)	0,23 (0,46)
primavera 2015	0,46 (0,54)	0,81 (0,12)	0,70 (0,24)	0,00 (0,00)	0,50 (0,58)	0,59 (0,17)
otoño 2016	0,74 (0,49)	0,54 (0,19)	0,66 (0,17)	0,00 (0,00)	0,34 (0,40)	0,35 (0,09)
primavera 2016	0,00 (0,00)	0,42 (0,30)	0,50 (0,20)	0,25 (0,50)	0,76 (0,17)	0,55 (0,11)
otoño 2017	0,00 (0,00)	0,56 (0,51)	0,26 (0,32)	0,00 (0,00)	0,19 (0,23)	0,59 (0,12)
primavera 2017	0,00 (0,00)	0,54 (0,22)	0,43 (0,22)	0,00 (0,00)	0,50 (0,58)	0,78 (0,21)
otoño 2018	0,25 (0,50)	0,03 (0,06)	0,25 (0,06)	0,35 (0,50)	0,50 (0,58)	0,34 (0,21)
primavera 2018	0,00 (0,00)	0,81 (0,03)	0,57 (0,12)	0,00 (0,00)	0,30 (0,39)	0,53 (0,10)
otoño 2019	0,00 (0,00)	0,05 (0,02)	0,99 (0,01)	0,00 (0,00)	0,25 (0,50)	0,97 (0,01)
primavera 2019	0,25 (0,49)	0,96 (0,03)	0,98 (0,00)	0,00 (0,00)	0,75 (0,50)	1,00 (0,01)

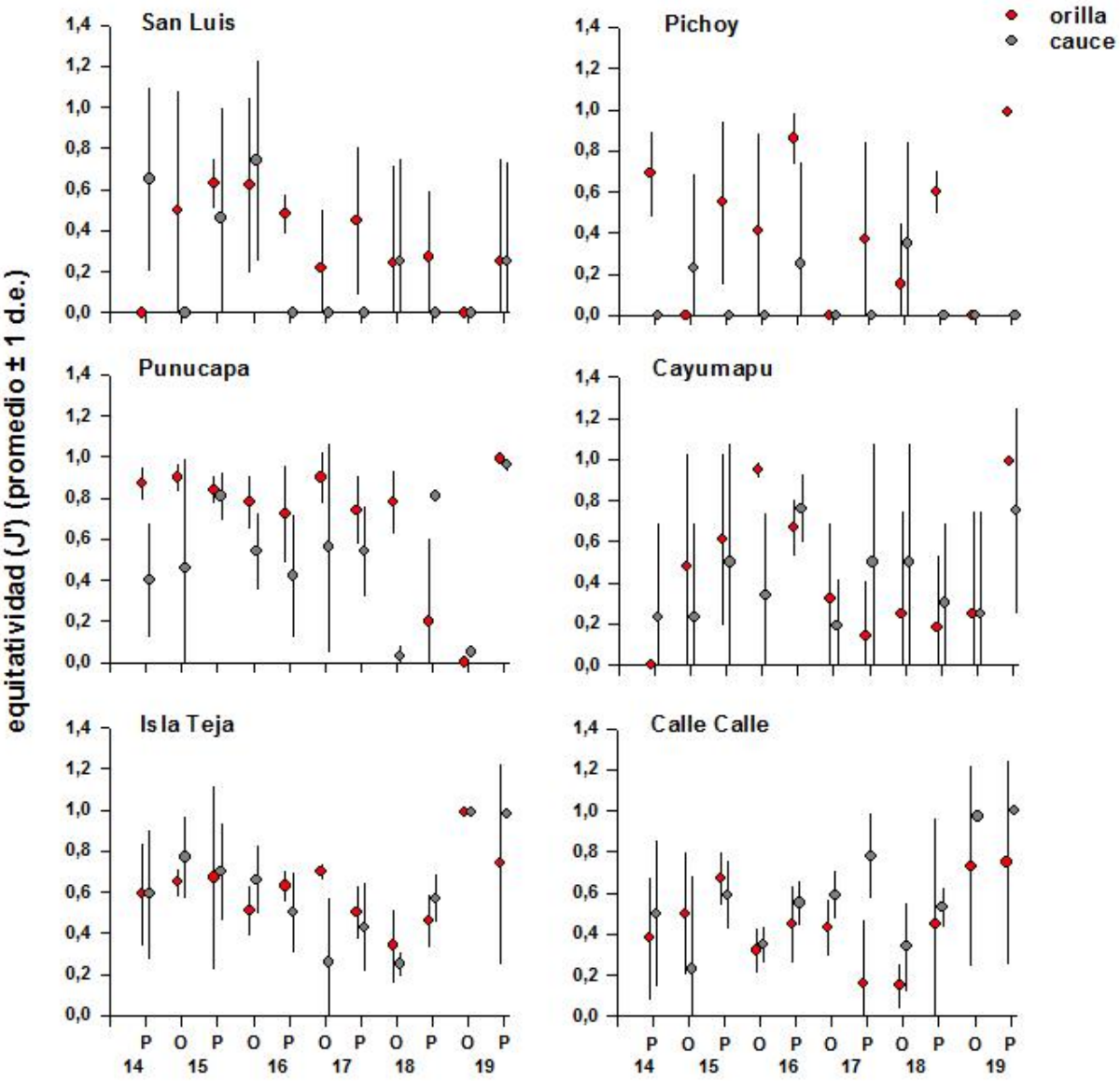


Figura 4.2.2.14. Comparación interanual del Uniformidad de Pielou o equitatividad de la macroinfauna bentónica en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) ± 1 desviación estándar.

Abundancia de taxa

Las Tablas 4.2.2.14 y 4.2.2.15 muestran las abundancias totales de los poliquetos *Prionospio (M) patagonica* y *Perinereis gualpensis.*

Durante el periodo de estudio el poliqueto *Prionospio (M) patagonica* ha dominado en los sedimentos de las orillas y cauces del sector Isla Teja, presentando sus mayores abundancias en el sector Isla Teja y Punucapa y estando ausente o en muy bajas abundancias en el sector de San Luis, río Pichoy y Cayumapu (Tabla 4.2.2.14).

En el año 2017, el poliqueto *Prionospio (M) patagonica* presento sus mayores abundancias en los sedimentos de los cauces del sector Isla Teja y Punucapa con valores de 28.864 y 16.477 ind/m^2 respectivamente. Durante la primavera del año 2019, también se observa un aumento en la abundancia de esta especie en los sedimentos de las orillas del sector Isla Teja que alcanzó a 11.648 ind/m^2. En los sedimentos de los cauces durante la campaña de primavera el sector Isla Teja fue el sitio con las más altas abundancias totales de esta especie (10.000 ind/m^2) (Tabla 4.2.2.14).

Por otra parte, *Perinereis gualpensis* estuvo presente solo en sector de Punucapa e Isla Teja, los valores más altos de abundancia de esta especie se registraron en el otoño y la primavera de los sedimentos de orillas y cauces del sector de Isla Teja durante el 2019 (1.420 y 1.477 ind/m^2 respectivamente). Cabe mencionar que esta especie se encuentra ausente en los demás sitios de estudio (Tabla 4.2.2.15).

Las Figuras 4.2.2.15 y 4.2.2.16 muestran la variabilidad interanual en la abundancia total de estas especies en los sedimentos de las orillas y cauces de las diferentes áreas de estudio; ambas especies no mostraron ninguna tendencia interanual significativa ($p>0,05$) de disminuir o aumentar en el tiempo en los diferentes sitios de estudio.

Tabla 4.2.2.14. Abundancia total (ind/m^2) del poliqueto *Prionospio (M) patagonica*, en los sedimentos de las orillas y cauces del área de estudio durante la primavera del año 2014, el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Calle Calle.

Prionospio (M) patagonica	**eje central del río Cruces (sector estuarial)**			**ríos tributarios del HRC (sector estuarial)**		**fuera del HRC**
orilla	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	0	568 (394)	9.773 (12.806)	0	0	284 (568)
otoño 2015	0	966 (653)	7.500 (7.132)	0	0	57 (114)
primavera 2015	0	1.193(1.222)	57 (114)	0	0	57 (114)
otoño 2016	0	511 (504)	1.818 (928)	0	0	284 (341)
primavera 2016	0	5.057 (2.306)	9.432 (4.471)	0	0	114 (227)
otoño 2017	0	2.557 (1.653)	3.352 (2.183)	0	0	227 (186)
primavera 2017	0	4.716 (1.850)	13.921 (3.034)	0	0	0
otoño 2018	57 (114)	511 (598)	4.204 (3.180)	0	0	0
primavera 2018	0	0	10.000 (5.735)	0	0	0
otoño 2019	0	0	1.364 (321)	0	0	0
primavera 2019	0	3.523 (3.046)	11.648 (8.070)	0	0	0
cauce	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	171 (218)	1.250 (2.200)	852 (679)	0	0	341 (541)
otoño 2015	0	227 (186)	1.421 (1.406)	0	0	57 (114)
primavera 2015	0	1.818 (1.325)	2.330 (2.574)	0	0	114 (131)
otoño 2016	0	341 (435)	3.523 (1.832)	0	0	455 (616)
primavera 2016	0	4.091 (7.137)	341 (435)	0	0	0
otoño 2017	0	1.705 (3.259)	2.102 (1.264)	0	0	0
primavera 2017	0	28.864 (16.862)	16.477 (18.449)	57 (114)	0	0
otoño 2018	0	0	2.670 (388)	57 (114)	57 (114)	170 (114)
primavera 2018	0	0	9.830 (3.439)	0	0	0
otoño 2019	0	57 (114)	455 (643)	0	0	0
primavera 2019	0	1.705 (2.104)	10.000 (7.020)	0	0	2.102 (4.205)

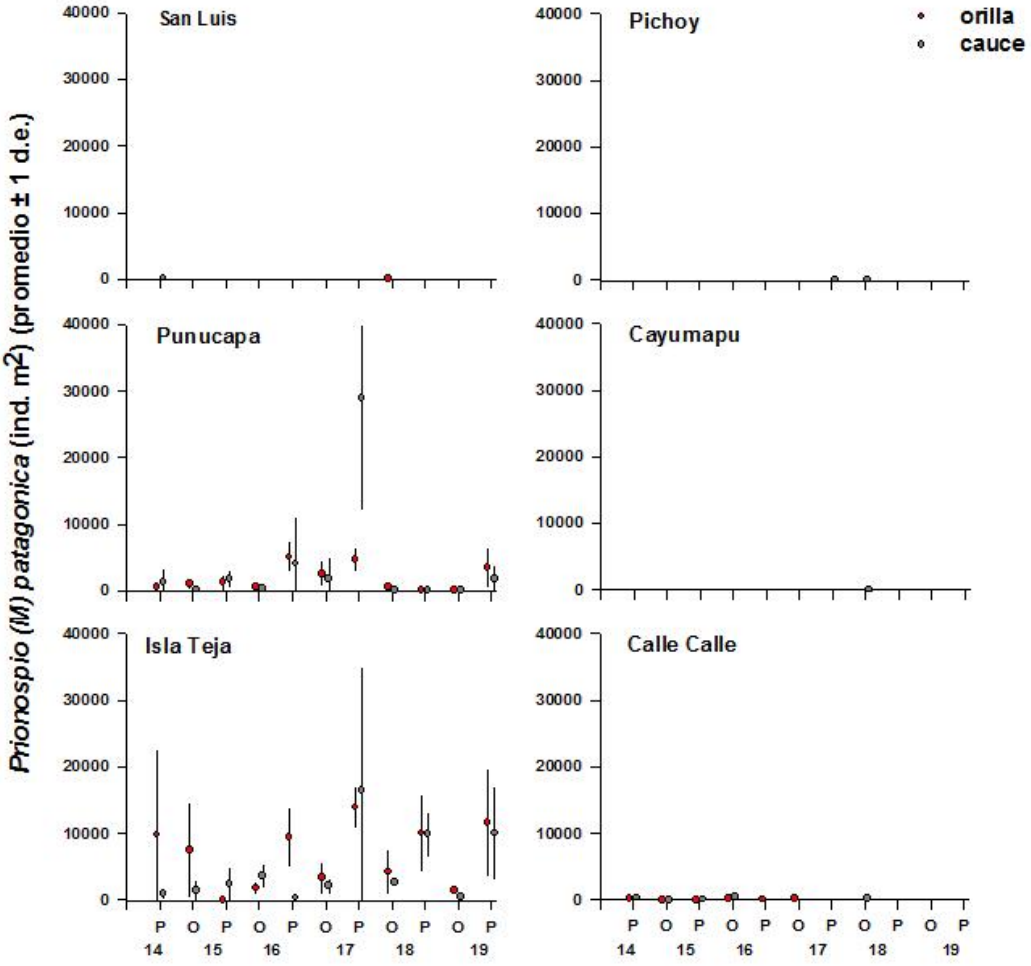


Figura 4.2.2.15. Abundancia total (ind/m^2) del poliqueto *Prionospio (M) patagonica*, en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) ± 1 desviación estándar. Solo se muestran resultados de análisis de correlación entre valores porcentuales y tiempo, cuando los valores de p y R^2 fueron significativos; representados con sus valores y una línea color rojo o gris en orilla y cauce respectivamente según corresponda.

Tabla 4.2.2.15. Abundancia total (ind/m^2) del poliqueto *Perinereis gualpensis* en los sedimentos de las orillas y cauces del área de estudio durante la primavera del año 2014, el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Calle Calle.

Perinereis gualpensis	**eje central del río Cruces (sector estuarial)**			**ríos tributarios del HRC (sector estuarial)**		**fuera del HRC**
orilla	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	0	114 (131)	796 (1.025)	0	0	0
otoño 2015	0	284 (218)	1.989 (504)	0	0	0
primavera 2015	0	568 (131)	398 (286)	0	0	0
otoño 2016	0	114 (131)	739 (388)	0	0	0
primavera 2016	0	114 (131)	341 (227)	0	0	0
otoño 2017	0	57 (114)	227 (186)	0	0	0
primavera 2017	0	57 (114)	227 (186)	0	0	0
otoño 2018	0	0	568 (541)	0	0	0
primavera 2018	0	0	227 (321)	0	0	0
otoño 2019	0	0	1.420 (598)	0	0	0
primavera 2019	0	568 (293)	511 (504)	0	0	0
cauce	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	0	57 (114)	57 (114)	0	0	57 (114)
otoño 2015	0	114 (227)	0	0	0	0
primavera 2015	0	625 (286)	796 (541	0	0	0
otoño 2016	0	511 (286)	1.080 (935)	0	0	0
primavera 2016	0	398 (341)	227 (186)	0	0	0
otoño 2017	0	114 (131)	57 (114)	0	0	0
primavera 2017	0	0	57 (114)	0	0	0
otoño 2018	0	0	1.080 (503)	0	0	0
primavera 2018	0	0	341 (227)	0	0	0
otoño 2019	0	57 (114)	625 (653)	0	0	0
primavera 2019	0	170 (218)	1.477 (541)	0	0	0

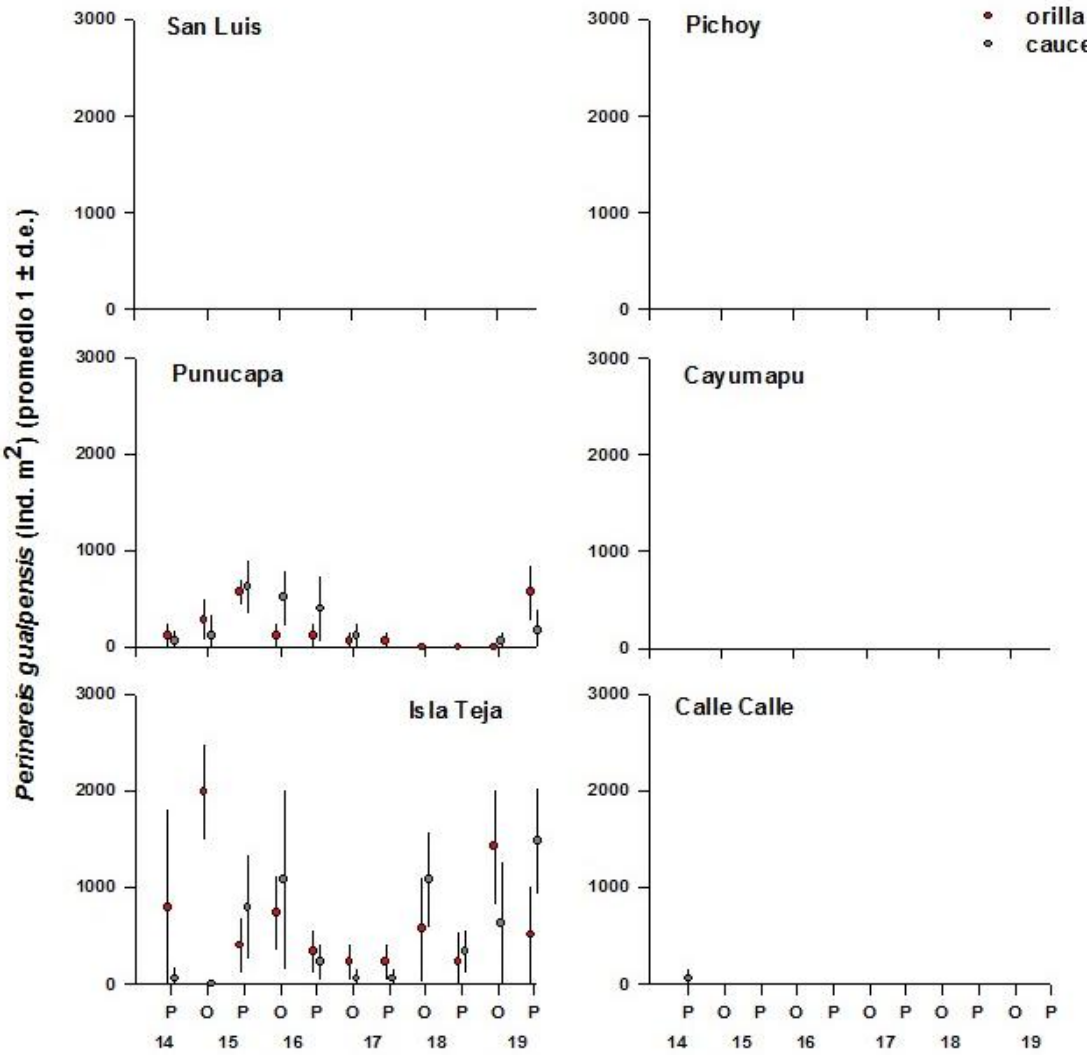


Figura 4.2.2.16. Abundancia total (ind/m^2) del poliqueto *Perinereis gualpensis* en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) ± 1 desviación estándar.

Paracorophium hartmannorum es una de las especies más importantes en contribuir con las mayores abundancias poblacionales en los sedimentos de las orillas de los sectores de Isla Teja y Punucapa.

Este anfípodo presento las mayores abundancias poblacionales durante el otoño del año 2018, en los sedimentos de las orillas y cauces del sector Isla Teja (44.205 y 57.273 ind/m^2, respectivamente). En el año 2019, los sedimentos de los cauces del sector de Punucapa presentaron las mayores abundancias de esta especie tanto en la campaña de otoño como primavera (57.898 y 23.182 ind/m^2, respectivamente) (Tabla 4.2.2.16). Cabe mencionar que esta especie, presento muy bajas abundancias o en general se encuentra ausente en los sedimentos de las orillas y cauces de los sectores de San Luis, río Pichoy, Cayumapu y Calle Calle (Tabla 4.2.2.16).

La Figura 4.2.2.17 muestra la variabilidad interanual en la abundancia total de *Paracorophium hartmannorum* en los sedimentos de orillas y cauces; la cual no mostró ninguna tendencia interanual significativa ($p>0,05$) a incrementar o disminuir en el tiempo.

Tabla 4.2.2.16. Abundancia total (ind/m^2) del anfípodo *Paracorophium hartmannorum* en los sedimentos de las orillas y cauces del área de estudio durante la primavera del año 2014, el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Calle Calle.

Paracorophium hartmannorum	**eje central del río Cruces (sector estuarial)**			**ríos tributarios del HRC (sector estuarial)**		**fuera del HCR**
orilla	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	0	171 (218)	2.955 (4.594)	0	0	114 (227)
otoño 2015	0	227 (455)	8.864 (4.990)	0	0	0
primavera 2015	0	739 (504)	852 (796)	0	0	0
otoño 2016	0	114 (131)	568 (707)	0	0	227 (455)
primavera 2016	0	3.182 (1.649)	1.875 (1.430)	0	0	0
otoño 2017	0	0	0	0	0	0
primavera 2017	0	0	0	0	0	0
otoño 2018	114 (227)	1.534 (1.774)	44.205 (19.329)	57 (114)	57 (114)	0
primavera 2018	57 (114)	0	1.136 (1.299)	0	0	0
otoño 2019	0	0	27.102 (24.219)	0	114 (227)	57 (114)
primavera 2019	0	28.409 (10.649)	3.920 (6.000)	0	57 (114)	0
cauce	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	0	0	57 (114)	0	0	114 (227)
otoño 2015	0	57 (114)	341 (131)	0	0	0
primavera 2015	0	1.364 (1.066)	1.705 (1.726)	57 (114)	0	0
otoño 2016	0	5.966 (2.646)	284 (286)	57 (114)	57 (114)	57 (114)
primavera 2016	0	7.443 (1.523)	3.580 (1.164)	0	0	0
otoño 2017	0	57 (114)	0	0	0	0
primavera 2017	0	114 (227)	0	0	0	0
otoño 2018	57 (114)	5.057 (5.663)	57.273 (27.967)	0	0	57 (114)
primavera 2018	0	1.705 (1.951)	3.409 (2.362)	0	0	0
otoño 2019	0	57.898 (32.603)	10.568 (12.543)	0	114 (227)	284 (341)
primavera 2019	0	23.182 (15.732)	27.159 (3.601)	0	57 (114)	0

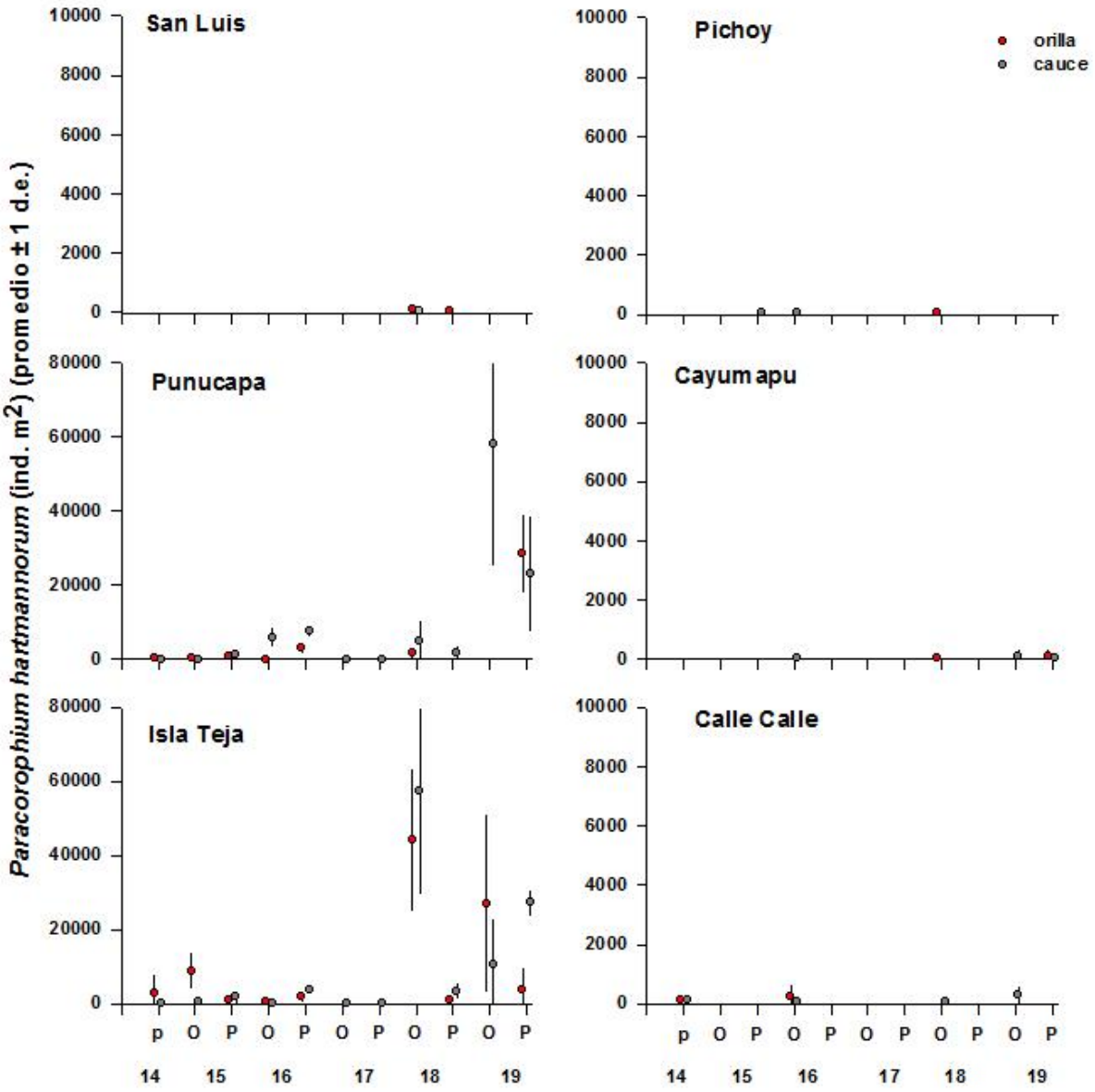


Figura 4.2.2.17. Abundancia total (ind/m^2) del anfípodo *Paracorophium hartmannorum* en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) ± 1 desviación estándar.

Oligoquetos de la familia Tubificidae, son los taxa que han presentado los valores más altos de abundancia durante todo el período de estudio en los fondos sedimentarios de las orillas y cauces de los sitios estudiados.

Dentro de estos sitios de estudio, el sector del río Calle Calle es uno de los sitios donde se han registraron las mayores abundancias poblacionales de esta especie. Durante el otoño del año 2018, las abundancias más altas ocurrieron en los sedimentos de orilla y cauce alcanzando 76.780 y 45.568 ind/m^2, respectivamente (Tabla 4.2.2.17). Durante el otoño del año 2019, las mayores abundancias ocurrieron en los sedimentos de los cauces de este sitio de estudio (60.227 ind/m^2) (Tabla 4.2.2.18). En general, solo se encontró ausente esta especie durante el otoño y la primavera del año 2015 en los sedimentos del cauce de los sectores Punucapa y sector Isla Teja (Tabla 4.2.2.17).

Esta especie no mostró una tendencia interanual significativa ($p>0,05$) a aumentar o disminuir en el tiempo en los sedimentos estudiados (Fig. 4.2.2.18).

Tabla 4.2.2.17. Abundancia total (ind/m^2) del oligoqueto Tubificidae en los sedimentos de las orillas y cauces del área de estudio durante la primavera del año 2014, el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Calle Calle.

Tubificidae	**eje central del río Cruces (sector estuarial)**			**ríos tributarios del HRC (sector estuarial)**		**fuera del humedal**
orilla	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	511 (469)	966 (1.477)	2.841 (4.234)	1.477 (1.490)	455 (371)	9.716 (3.777)
otoño 2015	114 (131)	227 (321)	57 (114)	57 (114)	227 (186)	4.091 (2.551)
primavera 2015	3.466 (4.071)	852 (989)	0	1.193 (935)	966 (878)	2.500 (1.286)
otoño 2016	625 (817)	1.080 (341)	171 (218)	682 (719)	511 (218)	26.136 (19.421)
primavera 2016	10.739 (6.819)	9.943 (12.945)	2.102 (1.179)	5.341 (2.608)	3.011 (341)	20.114 (5.224)
otoño 2017	2.614 (2.395)	1.080 (504)	398 (469)	341 (227)	1.534 (469)	19.659 (4.506)
primavera 2017	2.841 (1.879)	1.477 (860)	3.750 (2.104)	909 (809)	966 (1932)	1.818 (3.187)
otoño 2018	114 (227)	1.307 (1430)	511 (751)	511 (598)	739 (1.039)	76.780 (16.580)
primavera 2018	1.023 (1.151)	455 (557)	625 (468)	3.920 (2.268)	1.080 (1.343)	739 (504)
otoño 2019	341 (541)	398 (286)	1.080 (469)	682 (928)	568 (601)	4.261 (3.629)
primavera 2019	511 (653)	1.705 (840)	0	1.193 (817)	1.534 (1.343)	3.920 (1.590)
cauce	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	114 (131)	1.080 (1.006)	2.500 (3.984)	0	171 (218)	1.875 (1.941)
otoño 2015	57 (114)	0	0	171 (218)	568 (227)	455 (491)
primavera 2015	284 (341)	0	0	0	284 (286)	4.602 (3.671)
otoño 2016	682 (809)	57 (114)	0	57 (114)	1.364 (557)	15.341 (5.080)
primavera 2016	171 (218)	57 (114)	57 (114)	114 (227)	1.250 (1.490)	18.750 (8.073)
otoño 2017	625 (286)	57 (114)	0	114 (227)	2.841 (2.112)	22.557 (12.500)
primavera 2017	852 (568)	7.159 (5.974)	1.193 (504)	0	341 (131)	16.994 (31.727)
otoño 2018	57 (114)	0	284 (341)	170 (218)	114 (131)	45.568 (49.630
primavera 2018	284 (430)	1.818 (1.203)	966 (704)	0	2.557 (878)	4.943 (2.485)
otoño 2019	909 (765)	341 (293)	341 (394)	170 (341)	227 (186)	60.227 (20.288)
primavera 2019	909 (1.066)	2.898 (3.301)	341 (131)	170 (341)	511 (751)	8.523 (6.552)

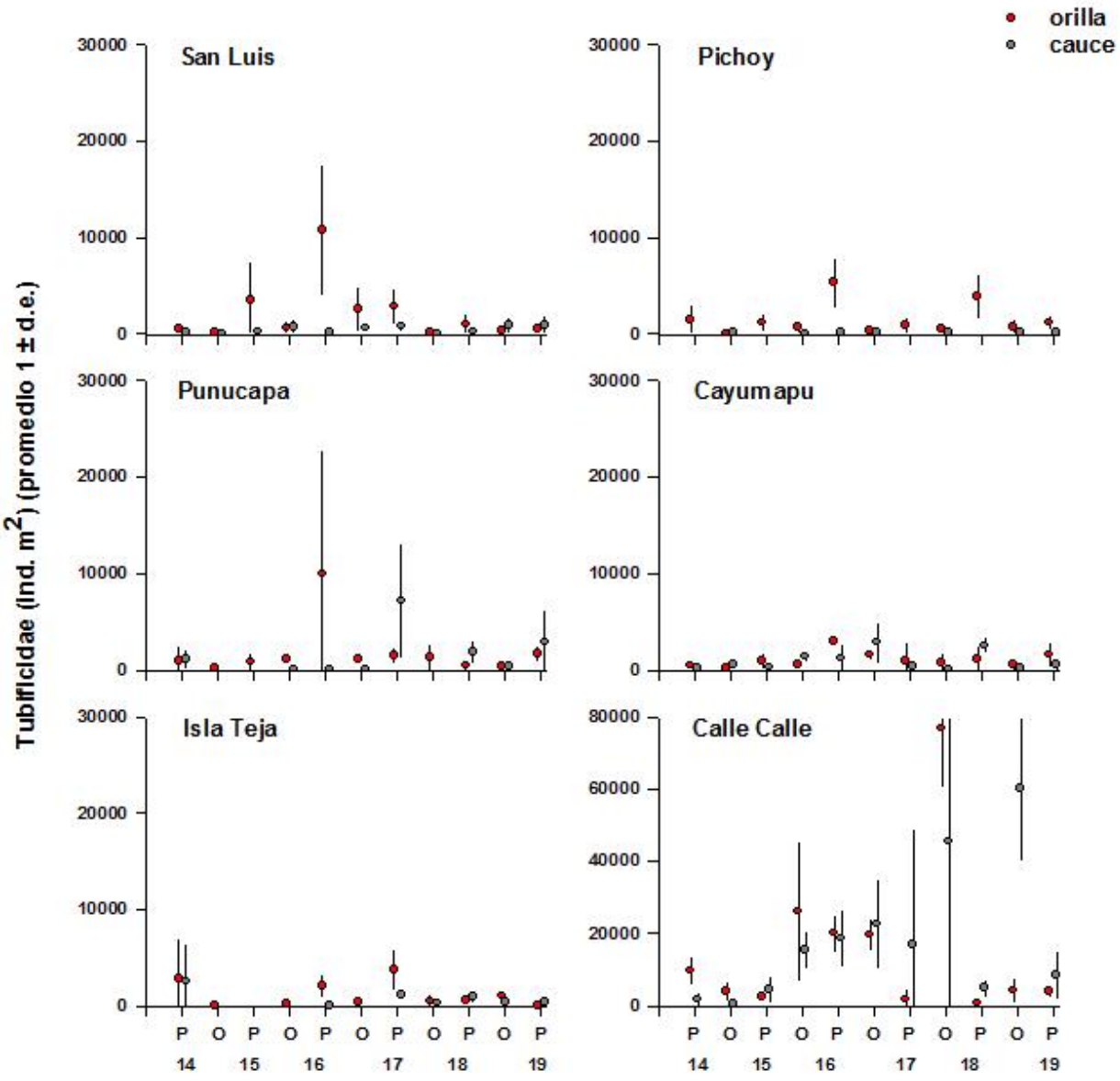


Figura 4.2.2.18. Abundancia total (ind/m^2) del oligoqueto Tubificidae en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) ± 1 desviación estándar.

Los insectos de la familia Chironominae han estado en general presentes en todos los sitios de estudio, aun cuando en abundancias relativamente bajas. Las abundancias más altas se registraron en el sector del río Calle Calle.

Uno de los años en que se registraron los valores más altos de estos insectos Chironomidos fue en los sedimentos de orilla y cauce durante el año 2016 (1.534 y 3.807 ind/m^2 respectivamente). Durante la primavera del año 2019, se registró el valor más alto de todo el periodo de estudio y alcanzo a 8.409 ind/m^2 (Tabla 4.2.218).

La Figura 4.2.2.19 muestra la variabilidad interanual de esta especie en los sedimentos de las orillas y cauces; en la cual se observa una tendencia interanual significativa ($p<0,05$) de incremento en los sedimentos de los cauces del río Calle Calle.

Tabla 4.2.2.18. Abundancia total ind/m^2 del insecto Chironominae en los sedimentos de las orillas y cauces del área de estudio durante la primavera del año 2014, el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Calle Calle.

Chironomidae	**eje central del río Cruces (sector estuarial)**			**ríos tributarios del HRC (sector estuarial)**		**fuera del HCR**
orilla	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	57 (114)	57 (114)	171 (341)	171 (114)	0	966 (1.119)
otoño 2015	0	57 (114)	0	0	0	0
primavera 2015	0	0	0	341 (394)	511 (1.223)	511 (286)
otoño 2016	0	0	0	0	0	568 (435)
primavera 2016	57 (114)	0	0	0	455 (491)	1.534 (897)
otoño 2017	0	0	57 (114)	0	0	568 (601)
primavera 2017	57 (114)	0	57 (114)	114 (131)	57 (114)	0
otoño 2018	0	0	0	0	0	1.079 (1.291)
primavera 2018	57 (114)	0	114 (131)	568 (541)	227 (454)	57 (114)
otoño 2019	0	0	0	0	0	0
primavera 2019	57 (114)	57 (114)	57 (114)	455 (186)	568 (394)	739 (504)
cauce	**SL**	**Pu**	**IT**	**Pi**	**Ca**	**CC**
primavera 2014	114 (131)	57 (114)	0	57 (114)	57 (114)	739 (751)
otoño 2015	0	0	0	0	0	0
primavera 2015	0	0	0	0	57 (114)	1.307 (1.735)
otoño 2016	0	0	0	0	0	284 (341)
primavera 2016	0	0	0	0	0	3.807 (1.442)
otoño 2017	0	0	0	57 (114)	0	3.693 (1.803)
primavera 2017	0	0	0	0	114 (227)	0
otoño 2018	0	0	0	0	0	3.011 (1.684)
primavera 2018	0	1.818 (557)	0	0	0	1.079 (1.568)
otoño 2019	0	0	0	0	0	2.273 (415)
primavera 2019	114 (227)	0	57 (114)	57 (114)	114 (227)	8.409 (6.274)

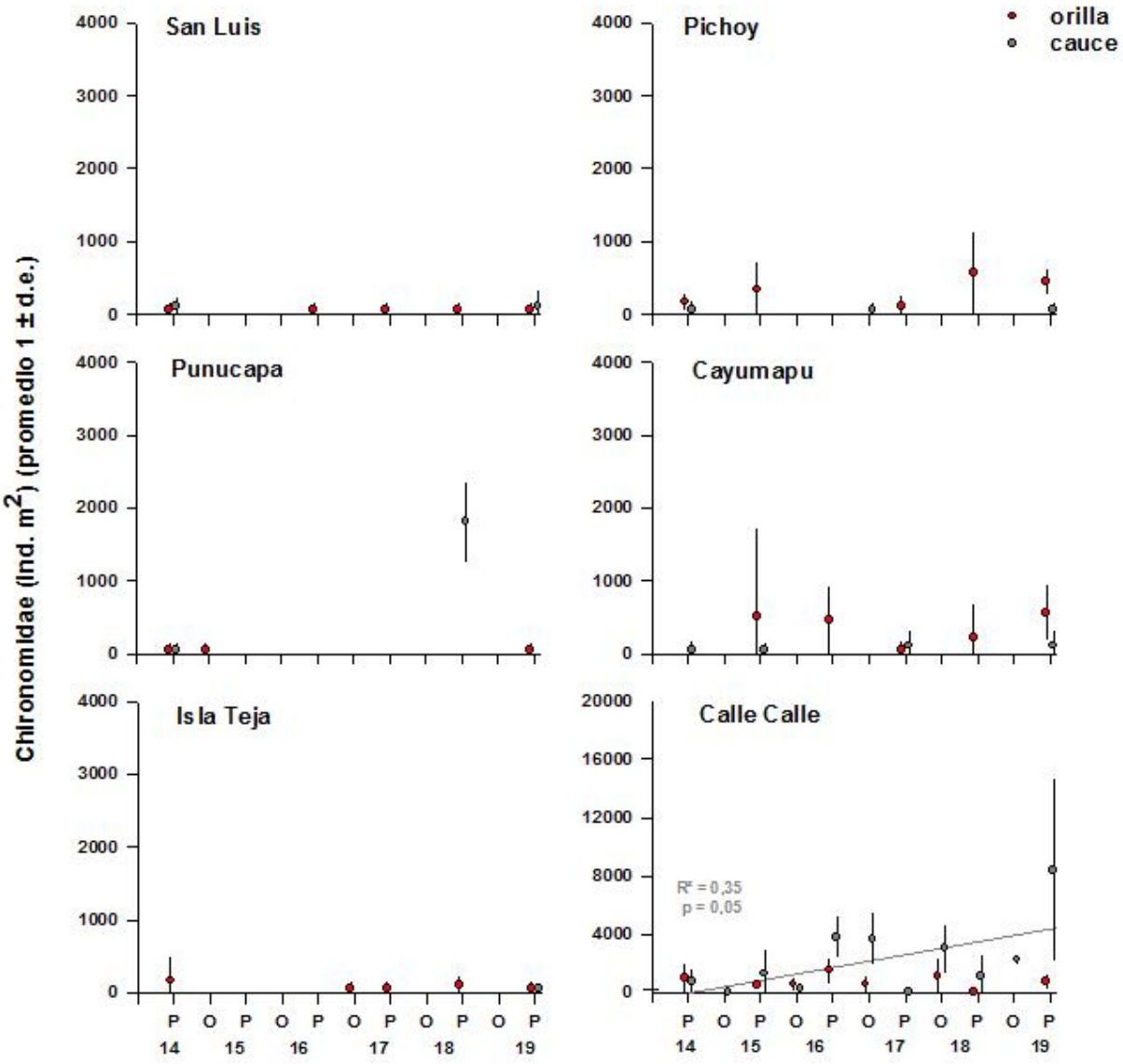


Figura 4.2.2.19. Abundancia total (ind/m^2) del insecto de la familia Chironominae en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios (cuatro réplicas) ± 1 desviación estándar.

Análisis de ordenamiento

La Figura 4.2.2.20 muestra los resultados del análisis de MDS para evaluar la similitud entre los seis sitios de estudio, de acuerdo a la abundancia y composición específica de la macroinfauna bentónica presente en orillas y cauces de los años primavera 2014, otoño y primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019.

En términos generales, no se observa mayor diferenciación entre orillas y cauces, pero sí entre sitios: las estaciones de los sitios Isla Teja y Punucapa, se separan claramente del resto de las estaciones, situación relacionada al hecho de que los fondos sedimentarios de ambos sitios están dominados por los poliquetos *Prionospio (M) patagonica* y *Perinereris gualpensis* y por el anfípodo *Paracorophium hartmannorum*. Básicamente entonces, esta separación refleja la mayor influencia de aguas con mayor conductividad en los sitios Punucapa e Isla Teja y que están dominados por taxa estuariales, como los anteriormente mencionados. Por el contrario, los fondos sedimentarios del resto de los sitios, están dominados numéricamente por especies de carácter más límnico (aguas con menor conductividad), como son oligoquetos Tubificidae e insectos Chironomidae.

Contrario a lo anterior, los análisis realizados con los datos obtenidos durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (primavera 2014), muestran mayor agrupamiento de sitios, aun cuando estaciones de los sectores Punucapa e Isla Teja muestran cierta cercanía gráfica (Fig. 4.2.2.20).

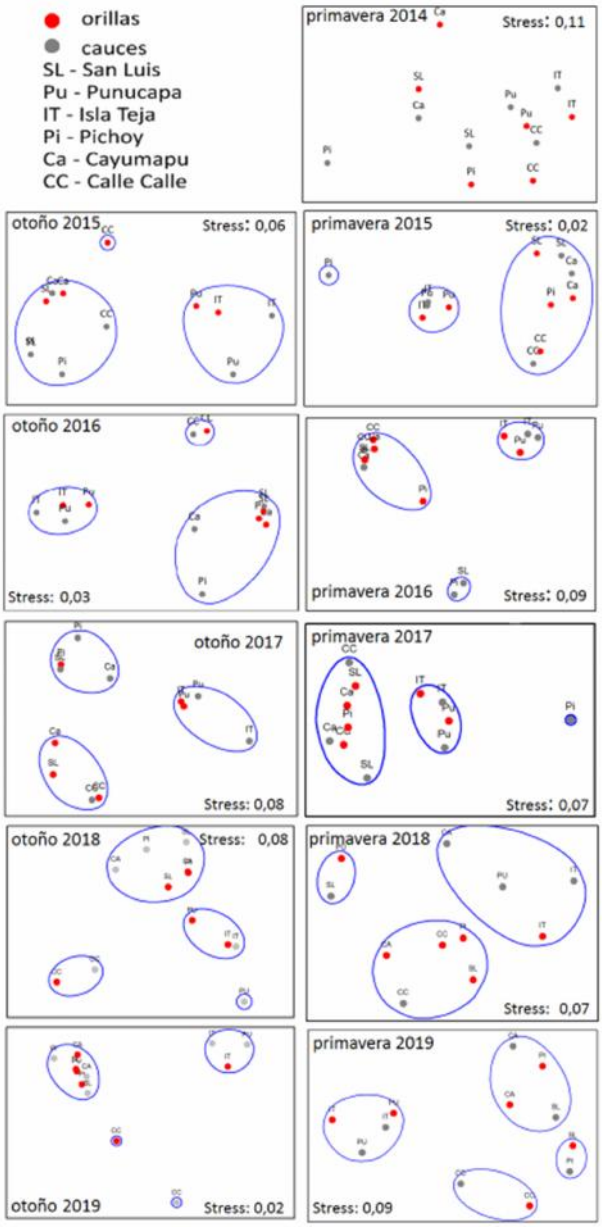


Figura 4.2.2.20. Representación gráfica del análisis de escalamiento multidimensional no métrico, basado en la abundancia de los organismos de la macroinfauna bentónica presentes en los sedimentos de los sitios muestreados (orillas-cauces), durante la primavera de 2014, otoño y primavera de 2015-2019. Análisis basados en una matriz de similitud construida a partir del Índice de Bray Curtis.

4.2.2.5. Conclusiones

- Las fracciones texturales arena y fango son las que predominan en los fondos sedimentarios del área de estudio; fango, partículas finas y partículas de tamaño medio son las que prevalecen en los sedimentos de las orillas del área de estudio. Partículas de tamaño medio y tamaño grueso son las que prevalecen en los sedimentos del cauce, dicha tendencia ha sido observada en todas las campañas realizadas durante los años que ha durado este estudio. Mientras las proporciones de arena han expresado una tendencia significativa a la disminución en el tiempo (en los fondos sedimentarios provenientes del cauce de los sectores Punucapa y Cayumapu, y en los fondos sedimentarios de orilla de los sectores Punucapa, Cayumapu y Calle Calle), las proporciones de fango han presentado tendencias a aumentar en el tiempo (en los sedimentos de orilla y cauce del sector Punucapa y en los sedimentos del cauce del sector Cayumapu)
- La variabilidad de los valores de redox obtenidos durante el periodo de estudio, dejan en evidencia el alto dinamismo que existe entre corrientes mareales y tipos de sedimentos en el HRC.
- La riqueza de especies de la macroinfauna de fondos sedimentarios del HRC aumento desde el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC del año 2014 (12 taxa), al primer y segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (16 y 20 taxa, respectivamente). Durante el año 2017, 2018 y 2019, se registraron 12, 13 y 11 taxa respectivamente, valores más bajos pero similares al número registrado durante el Programa de Diagnóstico. Sin embargo, la variabilidad en el número de especies no ha sido significativa en el tiempo durante el periodo de estudio, es decir no ha tendido a disminuir o aumentar en el tiempo, salvo en los sedimentos de los cauces del sector Isla Teja donde mostró una tendencia significativa al aumento.
- Desde el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (año 2014) y durante los años 2015, 2016, 2017 (Programa de Monitoreo Ambiental del HRC), la abundancia total de la macroinfauna bentónica ha sido mayor en los sedimentos de las orillas que en los cauces del área de estudio. En general, los valores más

altos de abundancia han ocurrido en los sedimentos del sector Punucapa, Isla teja y río Calle Calle. Sin embargo, durante el periodo de estudio 2018 y 2019, las abundancias se registran altas tanto en los sedimentos de orillas como de cauces.

- La abundancia total de la macroinfauna bentónica durante el periodo de estudio evidencio una tendencia estadísticamente significativa al aumento de esta en el tiempo en los sedimentos del cauce del sector de Punucapa e Isla Teja.
- Los oligoquetos de la familia Tubificidae, han sido los taxa que han estado presente en todos los sitios de estudio, mostrando dominancia en el río Calle Calle, los poliquetos (*Prionospio (M) patagonica* y *Perinereis gualpensis*) y anfípodos *Paracorophium hartmannorum* han sido los taxa dominantes en el sector Punucapa e Isla Teja y los insectos Chironomidae aun cuando han estado presentes en todos los sitios de estudio han dominado ampliamente en los sedimentos del río Calle Calle.
- En términos generales, los análisis multivariados de escalamiento multidimensional, no mostraron mayor diferenciación entre la macroinfauna de orillas y cauces durante los años del Programa de Monitoreo del HRC, pero sí entre sitios, ya que los sectores Isla Teja y Punucapa, se separan claramente del resto de los sitios.
- Todo lo anterior permite concluir que la macroinfauna de fondos sedimentarios en los sedimentos del HRC y sus ríos tributarios, se ha mantenido estable en el tiempo, lo que sugiere que la calidad del sedimento tampoco ha variado de modo significativo.

4.2.2.6. Referencias

Anderson, F., L. Black, L. Mayer, L. Watling. 1981. A temporal and spatial study of mudflat texture. Northeastern Geology 3: 184-191.

Anderson, M., R. Ford, D. Feary, C. Honeywill. 2004. Quantitative measures of sedimentation in an estuarine system and its relationship with intertidal soft-sediment infauna. Marine Ecology Progress Series 272: 33-48.

Brower, J.E., J.H. Zar. 1977. Field laboratory methods for general ecology. William C. Brown Company Publishers. Dubuque, Iowa, USA. 192 pp.

Byers, S.C., E.L. Mills, P.L. Stewart. 1978. A comparison of methods of determining organic carbon in marine sediments, with suggestions for a standard method. Hydrobiologia 58:43-47.

Emery, K.O. 1938. Rapid method of mechanical analysis of sands. Journal of Sedimentary Petrology 8: 105-111.

Folk, R.L. 1980. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Company, Austin, Texas, USA 182 pp.

Gray, J.S. 1974. Animal-sediment relationships. Oceanography and Marine Biology: an Annual Review 12: 223-261.

Kruskal, J., B. 1964. Nonmetric multidimensional scaling: A numerical method. Psychometrika 29: 115-129.

Pielou, E.C. 1984. The interpretation of ecological data: a primer on classification and ordination.

Rhoads, D.C., L.F. Boyer. 1982. The effects of marine benthos on physical properties of sediments: a successional perspective. In McCall, P.L. y M.J.S. Tevesz, Editions. Animal-sediment relations: The biogenic alteration of sediments. Plenum Press, New York 100: 3-52.

Seward-Thompson, B., J. Hails. 1973. An appraisal of the computation of statistical parameters in grain size analysis. Sedimentology 20: 161-169.

ANEXO

Abundancia (ind/m^2) de la macroinfauna bentónica presente en los sedimentos del área de estudio, durante la primavera del año 2014, el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores corresponden al promedio de cuatro réplicas.

Eje central del río Cruces (sector estuarial)	**Fuerte San Luis**					
	primavera 2014 (noviembre)		**otoño 2015 (abril)**		**primavera 2015 (noviembre)**	
TAXA	**orilla**	**cauce**	**orilla**	**cauce**	**orilla**	**cauce**
POLYCHAETA						
Prionospio (M) patagonica	0	170,5	0	0	0	0
Perinereis gualpensis	0	0	0	0	0	0
OLIGOCHAETA						
Tubificidae	511,4	113,6	113,6	56,8	3.465,9	284,1
Nais pardalis	0	340,9	0	0	3.579,5	397,7
INSECTA						
Chironomidae	56,8	113,6	0	0	0	0
Tanypodine	0	0	113,6	0	454,5	56,8
Ortocladine	0	0	0	0	0	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0	0	0
CRUSTACEA						
Paracorophiun hartmannorum	0	0	0	0	0	0
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0	0	0
Leucon sp.	0	0	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0	0	0
HIRUDINEA						
Hirudinea	0	0	0	0	0	0
MOLLUSCA						
Littoridina cumingi	0	0	0	0	0	0
Pisidium sp.	0	0	0	0	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0	0	0
CHORDATA						
Geotria australis	0	0	0	0	0	0
ARACHNIDA						
Hydracarina	0	0	0	0	0	0
NEMERTEA						
Nemertea	0	0	0	0	0	0

Eje central del río Cruces (sector estuarial)	Fuerte San Luis			
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	0	0	0	0
Perinereis gualpensis	0	0	0	0
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	625,0	681,8	10.738,6	170,5
Nais pardalis	0	0	6.193,2	0
INSECTA				
Chironomidae	0	0	56,8	0
Tanypodine	56,8	0	625,0	0
Ortocladine	0	0	0	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	56,8	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	0	0	0	0
Cyprideis beaconensis	113,6	284,1	227,3	0
Ostracoda	0	0	56,8	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	0	0	0	0
Copepoda	0	0	284,1	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	0	0	0
Pisidium sp.	0	0	56,8	0
Mulinia edulis	0	0	113,6	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	56,8	511,4	56,8	0
NEMERTEA				
Nemertea	113,6	227,3	0	0

Eje central del río Cruces (sector estuarial)	Fuerte San Luis			
	otoño 2017		primavera 2017	
	(abril)		(octubre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	0	0	0	0
Perinereis gualpensis	0	0	0	0
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	2.613,6	286,0	2.840,9	852,3
Nais pardalis	56,8	0		
INSECTA				
Chironomidae	0	0	56,8	0
Tanypodine	113,6	0	56,8	0
Ortocladine	0	0	0	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	0	0	0	0
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	0	0	0	0
Copepoda	0	0		
HIRUDINEA				
Hirudinea	56,8	0	0	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	0	0	0
Pisidium sp.		0	113,6	0
Mulinia edulis	0	0	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	56,8	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Eje central del río Cruces (sector estuarial)	Fuerte San Luis

	otoño 2018		primavera 2018	
	(abril)		(octubre)	
TAXA	**orilla**	**cauce**	**orilla**	**cauce**
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	56,8	0	0	0
Perinereis gualpensis	0	0	0	0
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	113,6	56,8	1.022,7	284,1
Nais pardalis	0	0	56,8	0
INSECTA				
Chironomidae	0	0	56,8	0
Tanypodine	0	0	0	0
Ortocladine	0	0	0	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	113,6	56,8	56,8	0
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	0	0	0
Pisidium sp.	0	0	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	0	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Eje central del río Cruces (sector estuarial)	**Fuerte San Luis**	
	otoño 2019	**primavera 2019**
	(abril)	**(octubre)**

TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	0	0	0	0
Perinereis gualpensis	0	0	0	0
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	340,9	909,1	511,4	909,1
Nais pardalis	0	0	0	0
INSECTA				
Chironomidae	0	0	56,8	113,6
Tanypodine	0	0	0	56,8
Ortocladine	0	0	0	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	0	0	0	0
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	56,8	0
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	0	0	0
Pisidium sp.	0	0	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	0	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Eje central del río Cruces (sector estuarial)	Punucapa					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA						
Prionospio (M) patagonica	568,2	1.250,	965,9	227,3	1.193,2	1.818,
Perinereis gualpensis	113,6	56,8	284,1	113,6	568,2	625,0
OLIGOCHAETA						
Tubificidae	965,9	1.079,	227,3	0	852,3	0
Nais pardalis	56,8	56,8	0	0	0	0
INSECTA						
Chironomidae	56,8	56,8	56,8	0	0	0
Tanypodine	56,8	0	0	0	0	0
Ortocladine						
Stilobezzia sp.	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0	0	0
CRUSTACEA						
Paracorophiun hartmannorum	170,5	0	227,3	56,8	738,6	1.363,
Cyprideis beaconensis	170,5	56,8	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	56,8	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0	0	0
Leucon sp.	0	0	113,6	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0	0	0
HIRUDINEA						
Hirudinea	0	0	0	0	0	0
MOLLUSCA						
Littoridina cumingi	0	0	0	0	0	0
Pisidium sp.	0	0	0	0	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0	0	0
CHORDATA						
Geotria australis	0	0	0	0	0	0
ARACHNIDA						
Hydracarina	0	0	0	0	0	0
NEMERTEA						
Nemertea	0	0	0	0	0	0

Eje central del río Cruces (sector estuarial)	Punucapa			
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	Cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	511,4	340,9	5.056,8	4.090,9
Perinereis gualpensis	113,6	511,4	113,6	397,7
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	1.079,5	56,8	9.943,2	56,8
Nais pardalis	0	0	0	0
INSECTA				
Chironomidae	0	0	0	0
Tanypodine	0	0	0	0
Ortocladine	0	0	113,6	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	113,6	5.965,9	3.181,8	7.443,2
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	2.613,6	454,5	0	0
Copepoda	0	0	0	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	0	0	56,8
Pisidium sp.	0	0	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	0	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Eje central del río Cruces (sector estuarial)	Punucapa			
	otoño 2017 (abril)		primavera 2017 (octubre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	2.556,8	1.704,5	4.715,9	28.863,6
Perinereis gualpensis	56,8	113,6	56,8	0
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	1.079,5	56,8	1.477,3	7.159,1
Nais pardalis	0	0	0	56,8
INSECTA				
Chironomidae	0	0	0	0
Tanypodine	0	0	0	0
Ortocladine	0	0	0	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	0	56,8	0	113,6
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	1.363,6	56,8	0	0
Copepoda	0	0	0	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	0	0	0
Pisidium sp.	0	0	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	0	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Eje central del río Cruces (sector estuarial)	Punucapa			
	otoño 2018 (abril)		primavera 2018 (octubre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	511,4	0	0	0
Perinereis gualpensis	0	0	0	0
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	1.306,8	0	454,5	1.818,2
Nais pardalis	284,1	0	0	0
INSECTA				
Chironomidae	0	56,8	0	1.818,2
Tanypodine	0	0	0	56,8
Ortocladine	0	0	56,8	454,5
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	227,3
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	1.534,1	5.056,8	0	1.704,5
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	56,8	0	0	0
Pisidium sp.	0	0	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	0	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Eje central del río Cruces (sector estuarial)	Punucapa	
	otoño 2019 (abril)	primavera 2019 (octubre)

TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	0	56,8	3.522,7	1.704,5
Perinereis gualpensis	0	113,6	568,2	170,5
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	397,7	340,9	1.704,5	2.897,7
Nais pardalis	0	0	227,3	0
INSECTA				
Chironomidae	0	2.272,7	56,8	0
Tanypodine	0	0	0	0
Ortocladine	0	0	0	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	0	57.897,7	28.409,1	23.181,8
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	0	0	0
Pisidium sp.	0	0	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	0	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Eje central del río Cruces (sector estuarial)	Isla Teja					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA						
Prionospio (M) patagonica	9.772,7	852,3	7.500,0	1.420,5	56,8	2.329,5
Perinereis gualpensis	795,5	56,8	1.988,6	0	397,7	795,5
OLIGOCHAETA						
Tubificidae	2.840,9	2.500,	56,8	0	0	0
Nais pardalis	0	0	0	0	0	0
INSECTA						
Chironomidae	170,5	0	0	0	0	0
Tanypodine	0	0	0	0	0	0
Ortocladine	0	0	0	0	0	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0	0	0
Plecopetera	0	0	0	0	0	0
CRUSTACEA						
Paracorophiun hartmannorum	2.954,5	56,8	8.863,6	340,9	852,3	1.704,5
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	56,8	0	454,5	0	0
Ostracoda	0	0	0	0	0	0
Heterias exul	56,8	0	56,8	0	0	0
Leucon sp.	0	0	113,6	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0	0	0
HIRUDINEA						
Hirudinea	0	0	0	0	0	0
MOLLUSCA						
Littoridina cumingi	56,8	0	0	0	0	0
Pisidium sp.	0	0	0	0	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0	0	0
CHORDATA						
Geotria australis	0	0	0	0	0	0
ARACHNIDA						
Hydracarina	0	0	0	0	0	0
NEMERTEA						
Nemertea	0	0	0	0	0	0

Eje central del río Cruces (sector estuarial)	Isla Teja	
	otoño 2016	primavera 2016

TAXA	(abril)		(octubre)	
	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	1.818,2	3.522,7	9.431,8	340,9
Perinereis gualpensis	738,6	1.079,5	340,9	227,3
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	170,5	0	2.102,3	56,8
Nais pardalis	0	0	0	0
INSECTA				
Chironomidae	0	0	0	0
Tanypodine	0	0	0	340,9
Ortocladine	0	0	113,6	56,8
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	568,2	284,1	1.875,0	3.579,5
Cyprideis beaconensis	0	0	170,5	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	1.289,7	397,7	0	0
Copepoda	0	0	113,6	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	0	56,8	56,8
Pisidium sp.	0	0	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA	0	0		
Hydracarina	0	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Eje central del río Cruces (sector estuarial)	Isla Teja			
	otoño 2017 (abril)		primavera 2017 (octubre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	3.352,3	2.102,3	13.920,5	16.477,3
Perinereis gualpensis	227,3	56,8	227,3	56,8
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	397,7	0	3.750,0	1.193,2
Nais pardalis	0	0	0	0
INSECTA				
Chironomidae	56,8	0	56,8	0
Tanypodine	0	0	56,8	56,8
Ortocladine	0	0	0	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	0	0	0	0
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	3.011,4	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	56,8	0	0
Pisidium sp.	0	0	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	0	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Eje central del río Cruces (sector estuarial)	Isla Teja			
	otoño 2018 (abril)		primavera 2018 (octubre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	4.204,5	2.670,5	10.000,0	9.829,5
Perinereis gualpensis	568,2	1.079,5	227,3	340,9
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	511,4	284,1	625,0	965,9
Nais pardalis	0	0	0	0
INSECTA				
Chironomidae	0	0	113,6	0
Tanypodine	0	0	0	0
Ortocladine	0	0	0	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	44.204,5	57.272,7	1.136,4	3.409,1
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	284,1
Leucon sp.	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	0	0	0
Pisidium sp.	0	0	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	0	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Eje central del río Cruces (sector estuarial)	Isla Teja			
	otoño 2019 (abril)		primavera 2019 (octubre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	1.363,6	454,5	11.647,7	10.000,0
Perinereis gualpensis	1.420,5	625,0	511,4	1.477,3
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	1.363,6	340,9	0	340,9
Nais pardalis	0	0	0	0
INSECTA				
Chironomidae	0	0	56,8	56,8
Tanypodine	0	0	0	0
Ortocladine	0	0	0	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	27.102,3	10.568,2	3.920,5	27.159,1
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	1.022,7	170,5	0	0
Copepoda	0	0	0	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	0	0	0
Pisidium sp.	0	56,8	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	0	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Ríos tributarios del HRC (sector estuarial)	río Pichoy					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA						
Prionospio (M) patagonica	0	0	0	0	0	0
Perinereis gualpensis	0	0	0	0	0	0
OLIGOCHAETA						
Tubificidae	1.477,3	0	56,8	170,5	1.193,2	0
Nais pardalis	738,6	0	0	0	284,1	0
INSECTA						
Chironomidae	170,5	56,8	0	0	340,9	0
Tanypodine	56,8	0	0	0	0	0
Ortocladine	0	0	0	0	113,6	56,8
Stilobezzia sp.	0	0	0	454,5	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0	0	0
CRUSTACEA						
Paracorophiun hartmannorum	0	0	0	0	0	56,8
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0	0	0
Phoxocephalidae	113,6	0	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0	0	0
Leucon sp.	0	0	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0	0	0
HIRUDINEA						
Hirudinea	0	0	0	0	0	0
MOLLUSCA						
Littoridina cumingi	0	0	0	0	0	0
Pisidium sp.	56,8	0	0	0	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0	0	0
CHORDATA						
Geotria australis	0	0	0	0	0	0
ARACHNIDA						
Hydracarina	0	0	0	0	0	0
NEMERTEA						
Nemertea	0	0	0	0	0	0

Ríos tributarios del HRC (sector estuarial)	Pichoy			
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	0	0	0	0
Perinereis gualpensis	0	0	0	0
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	681,8	56,8	5.340,9	113,6
Nais pardalis	0	0	2.329,5	0
INSECTA				
Chironomidae	0	0	0	0
Tanypodine	56,8	0	0	0
Ortocladine	0	0	5.056,8	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	56,8
Plecoptera	0	0	0	56,8
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	0	56,8	0	0
Cyprideis beaconensis	227,3	113,6	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	0	0	0
Pisidium sp.	0	0	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	113,6	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Ríos tributarios del HRC (sector estuarial)	Pichoy			
	otoño 2017 (abril)		primavera 2017 (octubre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	0	113,6	0	56,8
Perinereis gualpensis	0	0	0	0
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	340,9	0	909,1	0
Nais pardalis	0	0	0	0
INSECTA				
Chironomidae	0	56,8	113,6	0
Tanypodine	0	0	0	0
Ortocladine	0	0	0	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	0	0	0	0
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	0	0	0
Pisidium sp.	0	0	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	0	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Ríos tributarios del HRC (sector estuarial)	Pichoy			
	otoño 2018 (abril)		primavera 2018 (octubre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	0	56,8	0	0
Perinereis gualpensis	0	0	0	0
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	511,4	170,5	3.920,5	0
Nais pardalis	0	0	681,8	0
INSECTA				
Chironomidae	0	0	568,2	0
Tanypodine	0	0	0	0
Ortocladine	0	0	0	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	56,8	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	56,8	0	0	0
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	0	0	0
Pisidium sp.	0	0	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	0	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Ríos tributarios del HRC (sector estuarial)	Pichoy			
	otoño 2019 (abril)		primavera 2019 (octubre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	0	0	0	0
Perinereis gualpensis	0	0	0	0
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	681,8	170,5	1.193,2	170,5
Nais pardalis	0	0	6.590,9	0
INSECTA				
Chironomidae	0	0	454,5	56,8
Tanypodine	0	0	1.250,0	0
Ortocladine	0	0	0	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	0	0	0	0
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	113,6	0	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	0	0	0
Pisidium sp.	0	0	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	0	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Ríos tributarios del HRC (sector estuarial)	río Cayumapu					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA						
Prionospio (M) patagonica	0	0	0	0	0	0
Perinereis gualpensis	0	0	0	0	0	0
OLIGOCHAETA						
Tubificidae	454,5	170,5	227,3	568,2	965,9	284,1
Nais pardalis	0	0	0	0	170,5	56,8
INSECTA						
Chironomidae	0	56,8	0	0	511,4	56,8
Tanypodine	0	56,8	113,6	56,8	170,5	170,5
Ortocladine	0	0	0	0	0	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0	0	0
CRUSTACEA						
Paracorophiun hartmannorum	0	0	0	0	0	0
Cyprideis beaconensis	0	0	56,8	0	113,6	0
Ostracoda	0	0	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0	0	0
Leucon sp.	0	0	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0	0	0
HIRUDINEA						
Hirudinea	0	0	0	0	0	0
MOLLUSCA						
Littoridina cumingi	0	0	0	0	0	0
Pisidium sp.	0	0	0	0	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0	0	0
CHORDATA						
Geotria australis	0	0	0	0	0	0
ARACHNIDA						
Hydracarina	0	0	0	0	56,8	0
NEMERTEA						
Nemertea	0	0	0	0	0	0

Ríos tributarios del HRC (sector estuarial)	río Cayumapu			
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	0	0	0	0
Perinereis gualpensis	0	0	0	0
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	511,4	1.363,6	3.011,4	1.250,0
Nais pardalis	0	0	227,3	56,8
INSECTA				
Chironomidae	0	0	454,5	0
Tanypodine	397,7	0	0	0
Ortocladine	0	0	0	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	0	56,8	0	0
Cyprideis beaconensis	56,8	113,6	113,6	0
Ostracoda	0	0	170,5	227,3
Phoxocephalidae	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	0	56,8	0	0
Copepoda	0	0	568,2	113,6
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	0	0	0
Pisidium sp.	0	0	0	454,5
Mulinia edulis	0	0	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	568,2	170,5	170,5	56,8
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Ríos tributarios del río Cruces	río Cayumapu			
	otoño 2017 (abril)		primavera 2017 (octubre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	0	0	0	0
Perinereis gualpensis	0	0	0	0
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	1.534,1	2.840,9	965,9	340,9
Nais pardalis	0	0	170,5	56,8
INSECTA				
Chironomidae	0	0	56,8	113,6
Tanypodine	56,8	0	113,6	0
Ortocladine	0	0	0	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	0	0	0	0
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	0	113,6	0	0
Copepoda	0	0	0	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	0	0	0
Pisidium sp.	0	0	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	56,8	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Ríos tributarios del río Cruces	río Cayumapu			
	otoño 2018 (abril)		primavera 2018 (octubre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	0	56,8	0	0
Perinereis gualpensis	0	0	0	0
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	738,6	113,6	1.079,5	2.556,8
Nais pardalis	0	0	0	0
INSECTA				
Chironomidae	0	0	227,3	0
Tanypodine	0	0	0	56,8
Ortocladine	0	0	0	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	113,6
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	56,8	0	0	0
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	0	0	0
Pisidium sp.	0	113,6	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	0	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Ríos tributarios del río Cruces	río Cayumapu			
	otoño 2019 (abril)		primavera 2019 (octubre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	0	0	0	0
Perinereis gualpensis	0	0	0	0
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	568,2	227,3	1.534,1	511,4
Nais pardalis	0	0	0	170,5
INSECTA				
Chironomidae	0	0	568,2	113,6
Tanypodine	0	0	113,6	56,8
Ortocladine	0	0	0	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	113,6	113,6	56,8	56,8
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	56,8
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	0	0	0	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	0	0	0
Pisidium sp.	0	0	0	56,8
Mulinia edulis	0	0	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	0	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios	río Calle Calle					
	primavera 2014 (noviembre)		otoño 2015 (abril)		primavera 2015 (noviembre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA						
Prionospio (M) patagonica	284,1	340,9	56,8	56,8	56,8	113,6
Perinereis gualpensis	0	56,8	0	0	0	0
OLIGOCHAETA						
Tubificidae	9.715,9	1.875,0	4.090,9	454,5	2.500,0	4.602,3
Nais pardalis	227,3	0	0	0	0	0
INSECTA						
Chironomidae	965,9	738,6	170,5	0	511,4	1.306,8
Tanypodine	227,3	56,8	56,8	0	0	0
Ortocladine	0	0	0	0	0	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0	0	0
CRUSTACEA						
Paracorophiun hartmannorum	113,6	113,6	0	0	0	0
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0	0	0
Leucon sp.	0	0	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0	0	0
HIRUDINEA						
Hirudinea	56,8	0	227,3	0	56,8	0
MOLLUSCA						
Littoridina cumingi	0	0	0	0	0	0
Pisidium sp.	0	0	0	0	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0	0	170,5
CHORDATA						
Geotria australis	170,5	56,8	0	0	0	0
ARACHNIDA						
Hydracarina	0	0	0	0	0	0
NEMERTEA						
Nemertea	0	0	0	0	0	0

Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios	río Calle Calle			
	otoño 2016 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	Cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	284,1	454,5	113,6	0
Perinereis gualpensis	0	0	0	0
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	26.136,4	15.340,9	20.113,6	18.750,0
Nais pardalis	738,6	0	6.136,4	1.534,1
INSECTA				
Chironomidae	568,2	284,1	1.534,1	3.806,8
Tanypodine	113,6	0	625,0	113,6
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ortocladine	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	56,8	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	227,3	56,8	0	0
Cyprideis beaconensis	227,3	227,3	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	0	0	0	0
Copepoda	227,3	1.136,4	227,3	113,6
HIRUDINEA				
Hirudinea	113,6	0	56,8	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	0	0	0
Pisidium sp.	0	0	454,5	56,8
Mulinia edulis	0	56,8	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	568,2	170,5	113,6	56,8
NEMERTEA				
Nemertea	0	170,5	0	0

Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios	río Calle Calle			
	otoño 2017 (abril)		primavera 2017 (octubre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	227,3	0	0	0
Perinereis gualpensis	0	0	0	0
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	19.659,1	22.556,8	1.818,2	16.994,3
Nais pardalis	56,8	0	625,0	0
INSECTA				
Chironomidae	568,2	3.693,2	56,8	56,8
Tanypodine	113,6	56,8	0	511,4
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ortocladine	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	0	0	0	0
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	1.704,5	170,5	0	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	0	0	0
Pisidium sp.	3.409,1	3.863,6	0	284,1
Mulinia edulis	0	0	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	370,5	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios	río Calle Calle			
	otoño 2018 (abril)		primavera 2018 (octubre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	0	170,5	0	0
Perinereis gualpensis	0	0	0	0
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	76.079,5	45.568,2	738,6	4.943,2
Nais pardalis	0	0	0	0
INSECTA				
Chironomidae	1.079,5	3.011,4	56,8	1.079,5
Tanypodine	0	56,8	0	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ortocladine	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	56,8	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	0	56,8	0	0
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	681,8	56,8	170,5	170,5
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	0	0	0
Pisidium sp.	1.250,0	909,1	0	56,8
Mulinia edulis	0	227,3	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	0	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios	río Calle Calle			
	otoño 2019 (abril)		primavera 2019 (octubre)	
TAXA	orilla	cauce	orilla	cauce
POLYCHAETA				
Prionospio (M) patagonica	0	0	0	2.102,3
Perinereis gualpensis	0	0	0	0
OLIGOCHAETA				
Tubificidae	4.261,4	60.227,3	3.920,5	8.522,7
Nais pardalis	0	0	0	0
INSECTA				
Chironomidae	0	2.272,7	738,6	8.409,1
Tanypodine	0	0	0	0
Stilobezzia sp.	0	0	0	0
Ortocladine	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0
CRUSTACEA				
Paracorophiun hartmannorum	56,8	284,1	0	0
Cyprideis beaconensis	0	0	0	0
Ostracoda	0	0	0	0
Phoxocephalidae	0	0	0	0
Heterias exul	0	0	0	0
Leucon sp.	0	0	0	0
Copepoda	0	0	0	0
HIRUDINEA				
Hirudinea	511,4	113,6	340,9	0
MOLLUSCA				
Littoridina cumingi	0	0	0	0
Pisidium sp.	113,6	340,9	0	0
Mulinia edulis	0	0	0	0
CHORDATA				
Geotria australis	0	0	0	0
ARACHNIDA				
Hydracarina	0	0	0	0
NEMERTEA				
Nemertea	0	0	0	0

4.2.3. MACROFAUNA DE FONDOS RITRALES

4.2.3.1 Antecedentes

Los macroinvertebrados bentónicos que habitan los fondos acuáticos pedregosos o ritrales, son organismos que se adhieren a dicho sustrato, o bien se refugian entre éstos como estrategia para protegerse de las corrientes hídricas. La mayor parte de los invertebrados que componen esa macrofauna, son larvas y estados inmaduros de insectos con ciclos de vida anfibio (*e.g.* efemerópteros, plecópteros, tricópteros, dípteros y coleópteros), cuyos estados pre adultos viven en el fondo de los ríos por periodos que fluctúan entre meses y años. Tales insectos, además de otros artrópodos que coexisten con los mismos (*e.g.*, crustáceos del género *Aegla*), son parte importante de la dieta de peces y de mamíferos acuáticos en tales ambientes (*e.g.*, Medina, 1997, 1998).

Debido a su sensibilidad a condiciones estresantes, a su movilidad limitada y al hecho de que tengan ciclos de vida que pueden superar el año, estos organismos bentónicos, permiten detectar cambios ambientales asociados. Tales cambios incluyen por ejemplo, el ingreso de altas cargas de materia orgánica a los cuerpos acuáticos, lo que puede influir adversamente sobre las funciones fisiológicas de las especies, como, por ejemplo, sobre la reproducción y el reclutamiento de las mismas. La periodicidad de los monitoreos que incluyen este tipo de organismos es relevante, ya que la presencia de los mismos en el medio acuático, depende de la estación debido a que en un período del año dejan ese ambiente y emergen para convertirse en organismos adultos.

Debido a lo anterior, el estudio de los organismos bentónicos de los fondos ritrales y fundamentalmente insectos, constituye una herramienta eficaz para evaluar eventuales cambios ambientales en sistemas acuáticos, como es el caso de la porción superior del humedal del río Cruces.

4.2.3.2. Objetivos:

• Analizar la riqueza y abundancia de especies de invertebrados bentónicos que ocurren en fondos ritrales o pedregosos del río Cruces durante el quinto año del Programa de Monitoreo Ambiental del humedal.

• Evaluar para esos períodos de muestreo, la calidad del agua del área de estudio, referida a carga orgánica, mediante la estimación de un índice basado en la presencia y abundancia de estos invertebrados.

• Comparar los resultados obtenidos para el quinto año del Programa de Monitoreo (2019), con los datos de los muestreos realizados en la misma área durante el otoño y primavera del período 2014-2019.

4.2.3.3. Material y métodos

Obtención de las muestras de invertebrados bentónicos

Los muestreos se realizaron en otoño (abril) y primavera (diciembre) del año 2019 (Tabla 4.2.3.1), en los sitios que se muestran en la Figura 4.2.3.1. Se muestreó en un sitio ubicado en el río Calle Calle, debido a que esa área no fue afectada por los cambios ambientales del año 2004 y por lo tanto se lo considera como un sitio control.

Las estaciones de muestreo se dispusieron sobre sustratos de ripio grueso o bolones de 8 a 20 cm de diámetro, en la zona marginal del cauce hídrico y a una profundidad no superior a los 60 cm, la cual es el límite de alcance del brazo del operador del artefacto de muestreo. Las muestras fueron obtenidas con una red Surber (área muestreal de 0,09 m^2) provista con malla de 250 µm de trama; (Fig. 4.2.3.2). Esta se usó por cinco minutos para la obtención de cada muestra; los clastos (piedras) recogidos en el marco de 30 x 30 cm, fueron frotados a mano en la boca de la red, lo cual permitió que los animales removidos fueran arrastrados por la corriente dentro del artefacto. Las muestras recolectadas (n= 4 por sitio de muestreo), se almacenaron en bolsas plásticas con etanol al 90% debidamente etiquetadas, para la posterior identificación y recuento de la fauna bajo lupa estereoscópica y microscopio. La identificación de los taxa se realizó hasta el nivel taxonómico más bajo posible.

Tabla 4.2.3.1. Sitios y fechas de muestreos para análisis de invertebrados bentónicos que ocurren en los fondos ritrales del área de estudio.

estaciones	otoño 2019	primavera 2019
Porción superior del río Cruces (sector límnico)		
1 (sector Ciruelos)	25 abril 2019	6 diciembre 2019
2 (sector Rucaco)	25 abril 2019	6 diciembre 2019
3 (sector Cahuincura)	25 abril 2019	6 diciembre 2019
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
4 (río Calle Calle)	26 abril 2019	6 diciembre 2019

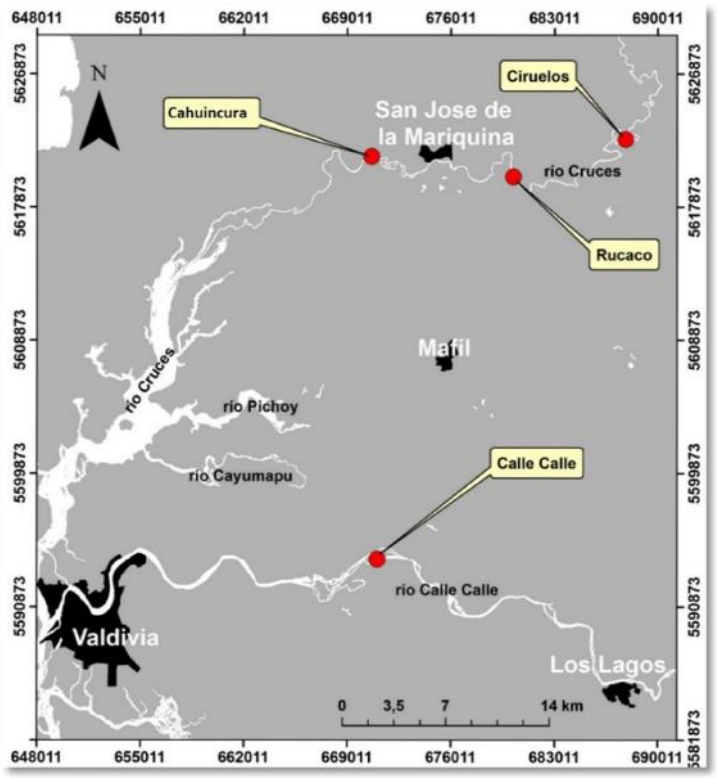


Figura 4.2.3.1. Ubicación de los sitios de muestreo para el estudio de la macrofauna de invertebrados bentónicos que ocurren en los fondos ritrales del río Cruces y río Calle Calle.



Figura 4.2.3.2. Uso de red Surber en río Cruces, sector Rucaco para muestreo de la macrofauna bentónica de fondos ritrales.

Estructura comunitaria de la macrofauna bentónica

Los valores promedio de las abundancias de cada sitio se utilizaron para estimaciones de riqueza de especies e Índice de Diversidad de Shannon-Wiener (Brower & Zar, 1977). Con el objetivo de evaluar eventuales asociaciones faunísticas entre sitios de muestreo se realizaron análisis de escalamiento multidimensional no métrico (EMDNM), utilizando la distancia de Bray-Curtis como índice de similitud entre estaciones. Los datos fueron transformados con raíz a la cuarta, previo a su inclusión en los análisis. Los resultados de la distribución espacial de las agrupaciones se generan sobre un plano cartesiano de dos dimensiones. El EMDNM genera un valor de "stress" que corresponde a una medida de "no-bondad" del ajuste *(i.e.*, mientras mayor sea la distancia entre los objetos mayor es el valor de "stress", por ende, peor es el modelo resultante). Las categorizaciones para interpretar el valor de "stress" son las siguientes:

0,2 = modelo pobre; 0,1 = modelo aceptable; 0,05 = modelo bueno; y 0 = valor mínimo y que corresponde a un excelente modelo de asociación (Kruskal, 1964).

Organismos bentónicos de fondos ritrales y carga orgánica en el agua

Para evaluar la calidad del agua referida a carga de materia orgánica disponible en el ambiente mediante indicadores biológicos, se utilizó el Índice Biótico de Hilsenhoff modificado (RBP III) (Plafkin *et al*., 1989) el que está basado en la abundancia de macroinvertebrados bentónicos, expresado en la siguiente ecuación:

$$IB = \sum \frac{n_i \times a_i}{N}$$

Dónde:

IB = Índice Biótico

n_i = es el número de individuos del taxón "i"

a_i = es el valor de tolerancia del taxón "i"

N = es el número total de individuos de la muestra

Los valores de tolerancias a carga orgánica de los taxa estudiados varían entre 0 y 10. Los organismos con valores de 0 corresponden a aquellos que son intolerantes a las cargas de materia orgánica, a la vez que un valor de 10 corresponde a aquellos organismos que son muy tolerantes a cargas orgánicas. Los rangos intermedios incluyen organismos facultativos respecto a dicho tipo de cargas. Los valores de tolerancia de los taxa están basados en Klemm *et al*., (1990), Barbour *et al*., (1999), Mandaville (2002) y Figueroa *et al*., (2007). Para los análisis de calidad de agua se utilizó la escala que se presenta en la Tabla 4.2.3.2.

Tabla 4.2.3.2. Graduación de la calidad del agua en función del Índice Biótico de Hilsenhoff (1988) comúnmente utilizado para evaluar carga orgánica en ríos.

Índice Biótico	condición	grado de contaminación orgánica*
0,00-3,50	Excelente	Contaminación orgánica no aparente
3,51-4,50	Muy bueno	Contaminación orgánica muy leve
4,51-5,50	Bueno	Algo de contaminación orgánica
5,51-6,50	Regular	Contaminación orgánica algo significativa
6,51-7,50	Algo pobre	Contaminación orgánica significativa
7,51-8,50	Pobre	Contaminación orgánica muy significativa
8,51-10,0	Muy pobre	Contaminación orgánica severa

* = El término “contaminación” empleado anteriormente, se refiere a una traducción textual del Índice creado por Hilsenhoff en 1988.

4.2.3.4. Resultados

Composición faunística

Durante el año 2019 se encontraron 47 especies de macroinvertebrados bentónicos en los fondos ritrales de los ríos Cruces y Calle Calle, siendo los insectos del orden Díptera los que predominaron, tanto en otoño como en primavera. En otoño del año 2019 ocurrieron 39 especies (29 insectos, 2 crustáceos, 1 arácnido, 1 entognato, 2 gasterópodos, 2 oligoquetos y 2 platelmintos). En la primavera del mismo año, la macrofauna bentónica estuvo compuesta por 34 especies (27 insectos, 2 crustáceos, 2 gasterópodos, 1 bivalvo y 2 oligoquetos) (Tabla 4.2.3.3). La Tabla 4.2.3.3 muestra los valores del Índice Biótico de Hilsenhoff asignado a cada especie (*cf*. Tabla 4.2.3.2).

Tabla 4.2.3.3. Invertebrados bentónicos de fondos ritrales recolectados en el área de estudio durante el año 2019 (campañas correspondientes a las estaciones de otoño y primavera). Se indica además el valor del Índice Biótico asignado para cada especie (*cf*. Tabla 4.2.3.2).

Phylum	Clase	Orden	Especie	Índice Biótico	otoño 2019	primavera 2019
Arthropoda	Insecta	Diptera	*Eukiefferiella* sp.	4	✓	✓
			Corynoneura sp.	4	✓	X
			Thienemaniella sp.	6	✓	✓
			Simulium sp.	4	✓	X
			Atherix sp.	4	✓	✓
			Orthocladius sp.	6	✓	✓
			Pentaneura sp.	5	✓	✓
			Empididae	6	✓	✓
			Chironomidae	6	✓	X
			Reothanytarsus sp.	6	✓	✓
			Limonia sp.	4	✓	✓
			Tipulidae	3	X	✓
			Ceratopogonidae	6	X	✓
		Ephemeroptera	*M. diguillina*	4	✓	✓
			M. laminata	4	✓	✓
			A. torrens	5	✓	✓
			A. peruvianus	4	✓	✓
			P. flavidula	4	✓	✓
			P. chilensis	4	✓	✓
			N. maculata	3	✓	✓
			H. anastomosis	2	✓	✓
			C. chilensis	7	X	✓
		Plecoptera	*L. jaffueli*	2	✓	✓
			A. michaelseni	1	✓	✓
			Aubertoperla sp.	2	✓	X
		Trichoptera	*S. annulucormis*	5	✓	✓
			Reochorema sp.	3	✓	X
			Cailloma sp.	3	✓	X
			Triplectides sp.	4	X	✓
			Hydroptilidae	5	✓	X
		Coleoptera	*Luchoelmis* sp.	4	✓	X
			Austromnius sp.	4	✓	✓
			Staphylinidae	4	✓	X
		Megaloptera	*Protochauliodes* sp.	4	✓	✓
		Hemiptera	Corixidae	5	X	✓
		Odontata	*Neogomphus* sp.	5	X	✓

	Crustacea	Decapoda	*Aegla* spp.	5	✓	✓
	Arachnida	Trombodiforma	Hidracarina	6	X	✓
		Acariforme	Araneae	6	✓	X
	Entognatha	Collembola	Collembola	6	✓	X
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	*C. dombeyana*	7	✓	✓
			Uncancylus sp.	7	✓	✓
	Bivalva	Sphaeriida	*Pisidium* sp.	6	X	✓
Annelida	Oligochaeta	Lumbriculida	Lumbriculidae	10	✓	✓
		Tubificida	*Tubifex* sp.	10	✓	✓
Plathelminthes	Rhabditophora	Tricladida	*D. anceps*	4	✓	X
		Rhabdocela	*T. chilensis*	5	✓	X

Atributos Comunitarios

Riqueza de especies

Durante las doce campañas realizadas durante el período 2014-2019, la riqueza de especies ha variado entre 6 especies en Calle Calle y Cahuincura (años 2015 y 2017, respectivamente) y 18 especies en Ciruelos durante el año 2014 (Tabla 4.2.3.4). Durante el año 2019, la mayor riqueza de especies (14) se encontró en Ciruelos, a la vez que el valor más bajo (n=9) ocurrió en los sectores de Rucaco y Cahuincura (Tabla 4.2.3.4). La variabilidad temporal de la riqueza de especies mostró tendencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) a la disminución en el sector Rucaco (Fig. 4.2.3.3).

Tabla 4.2.3.4. Riqueza de especies de la macrofauna de invertebrados bentónicos que ocurren en los fondos ritrales del área de estudio durante las estaciones de otoño y primavera del período 2014-2019. Los valores corresponden al promedio de cuatro réplicas (tres para ambos periodos del año 2014) con desviación estándar en paréntesis.

sitios	**riqueza de especies (n°)**							
	otoño 2014	primavera 2014	otoño 2015	primavera 2015	otoño 2016	primavera 2016	otoño 2017	primavera 2017
1 (sector Ciruelos)	18 (1)	14 (1)	13 (1)	7 (1)	12 (1)	13 (1)	13 (1)	10 (1)
2 (sector Rucaco)	13 (1)	15 (0)	11 (1)	13 (1)	9 (2)	12 (1)	10 (1)	14 (3)
3 (sector Cahuincura)	14 (1)	8 (3)	11 (3)	13 (1)	10 (2)	13 (1)	6 (1)	6 (2)
4 (sector Calle Calle)	9 (5)	9 (3)	6 (1)	6 (1)	7 (1)	10 (1)	10 (1)	7 (1)

	otoño 2018	primavera 2018	otoño 2019	primavera 2019
1 (sector Ciruelos)	11 (2)	12 (2)	14 (1)	12 (2)
2 (sector Rucaco)	7 (2)	9 (2)	9 (1)	9 (3)
3 (sector Cahuincura)	6 (4)	6 (1)	9 (1)	12 (4)
4 (sector Calle Calle)	6 (1)	9 (1)	11 (3)	11 (3)

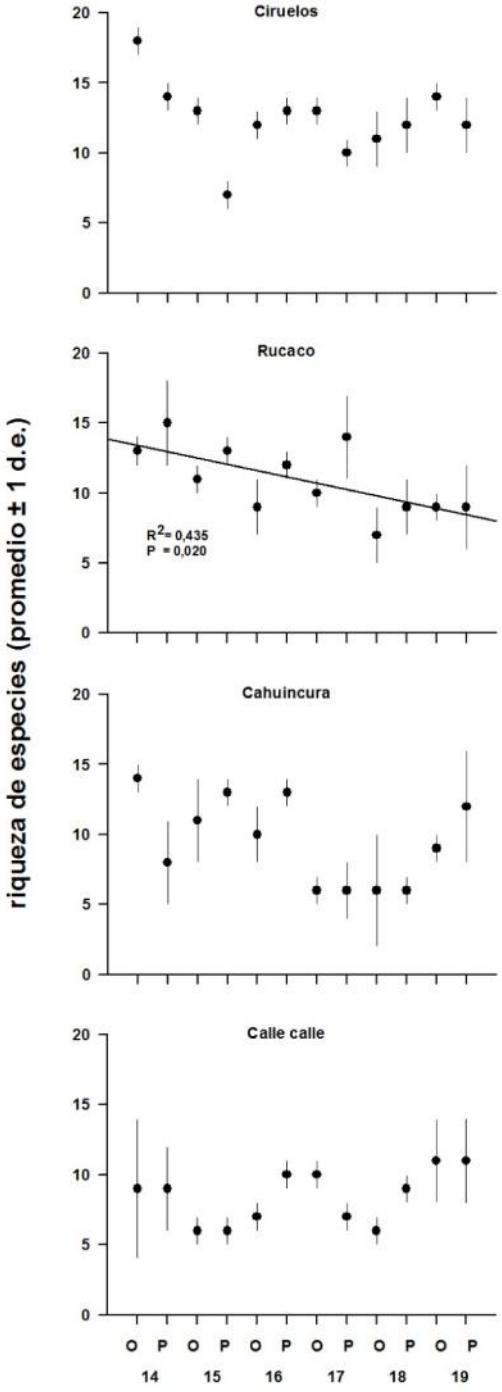


Figura 4.2.3.3. Riqueza promedio de especies de invertebrados bentónicos en los fondos ritrales del área de estudio, durante las estaciones de otoño (O) y primavera (P) del período 2014-2019. Se agrega la línea de tendencias además de p y R^2, cuando la correlación entre riqueza de especies y tiempo transcurrido fue significativa (p <0,05).

Abundancia

La mayor abundancia de organismos bentónicos ocurrió en el sector Ciruelos durante el año 2017 (19.797 ind/m^2) (Tabla 4.2.3.5), a la vez que la menor abundancia se estimó para el sector Cahuincura (386 ind/m^2) durante el año 2018 (Tabla 4.2.3.5). Durante el año 2019, las abundancias fluctuaron entre 481 ind/m^2 en el sector Calle Calle y 2.283 ind/m^2 en el sector Ciruelos (Tabla 4.2.3.5). Las abundancias totales no presentaron tendencias estadísticamente significativas ($p>0,05$) en el tiempo transcurrido desde el inicio de este monitoreo (Fig. 4.2.3.4).

Tabla 4.2.3.5. Abundancia total (ind/m^2) de la macrofauna de invertebrados bentónicos que ocurren en los fondos ritrales del área de estudio durante las estaciones de otoño y primavera del período 2014-2019. Los valores corresponden al promedio de cuatro réplicas (tres para ambos periodos del año 2014) con desviación estándar en paréntesis.

Sitios	**abundancia total (ind/m^2)**			
	otoño 2014	primavera 2014	otoño 2015	primavera 2015
1 sector Ciruelos	1.600,0 (616,5)	1.622,2 (539,3)	730,6 (170,3)	780,6 (56,9)
2 sector Rucaco	929,6 (109,6)	1.663,0 (39,0)	536,1 (69,3)	2.836,1 (835,4)
3 sector Cahuincura	1.266,7 (329,0)	477,8 (339,0)	444,4 (142,0)	3.147,2 (687,2)
4 sector Calle Calle	877,8 (792,9)	792,6 (132,6)	247,2 (129,7)	1.030,6 (301,1)
	otoño 2016	primavera 2016	otoño 2017	primavera 2017
1 sector Ciruelos	8.086,1 (1.579,3)	4.955,6 (1.431,6)	19.797,2 (15.137,2)	3.175,0 (369,6)
2 sector Rucaco	7.994,4 (5.748,3)	7.144,4 (2.690,1)	2.552,8 (865,0)	5.286,1 (877,3)
3 sector Cahuincura	1.236,1 (720,6)	6.280,6 (1.055,3)	586,1 (371,4)	433,3 (156,3)
4 sector Calle Calle	763,9 (263,5)	13.863,9 (2.196,2)	927 (213,2)	1.908,3 (157,2)
	otoño 2018	primavera 2018	otoño 2019	primavera 2019
1 sector Ciruelos	1.952,8 (1.083,9)	1.752,8 (594,1)	2.283,3 (245,9)	1.211,1 (626,8)
2 sector Rucaco	2.352,8 (1.175,9)	644,4 (307,3)	991,7 (550,3)	597,2 (350,5)
3 sector Cahuincura	869,4 (1.803,3)	386,1 (75,0)	600,0 (172,1)	1.016,7 (419,3)
4 sector Calle Calle	655,6 (133,9)	3.647,2 (880,9)	480,6 (121,8)	1.113,9 (537,6)

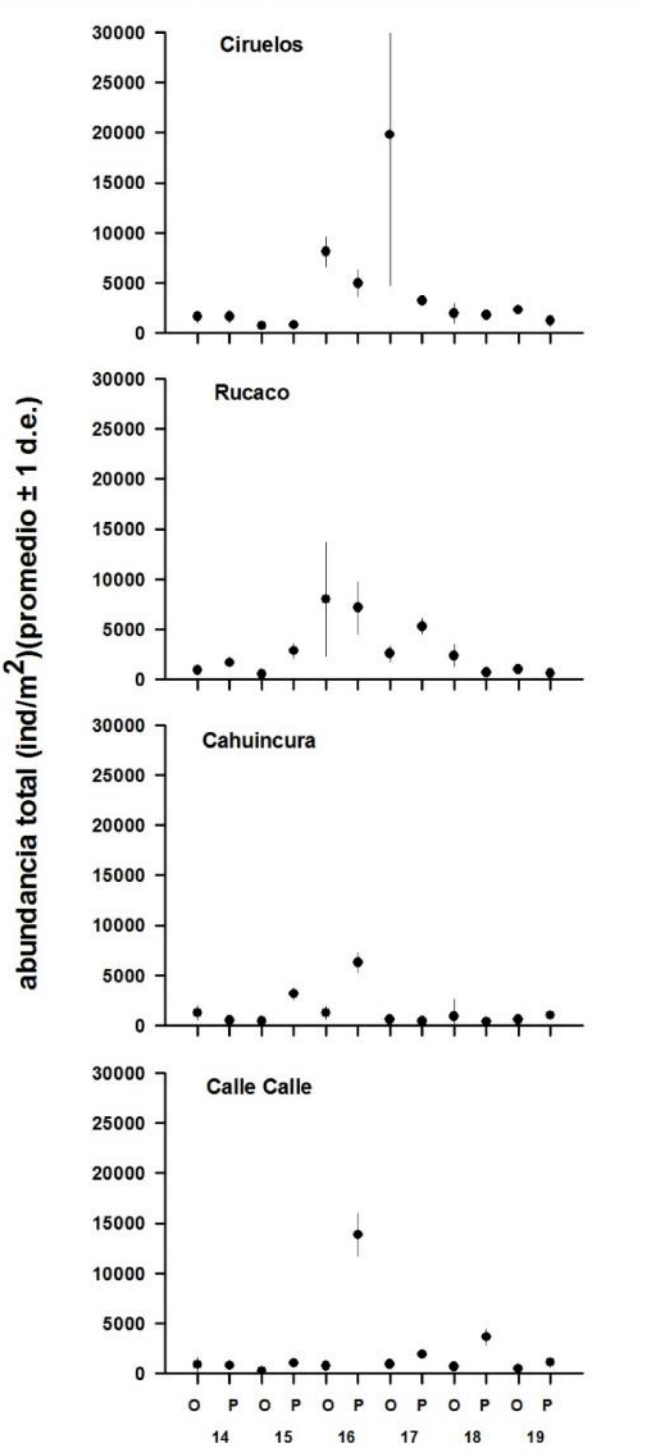


Figura 4.2.3.4. Abundancia total promedio de invertebrados bentónicos en los fondos ritrales del área de estudio, durante las estaciones de otoño (O) y primavera (P) del período 2014-2019.

Dominancia

La especie que presentó la mayor ocurrencia en porcentaje durante el periodo de estudio, fue *Smicridea annulucormis* (Trichoptera) con un 78,2% durante el otoño 2019, a la vez que la menor ocurrencia ocurrió durante la primavera del año 2014 y correspondió al díptero *Eukiefferiella* sp. (<23%) (Tabla 4.2.3.6). Todo lo anterior fue detectado en el sector Rucaco.

Durante la campaña otoñal del año 2019, las ocurrencias fluctuaron entre 18,1% (*Luchoelmis* sp.; Coleoptera) y 78,2% (*Smicridea annulucormis*; Trichoptera) (Tabla 4.2.3.6). Durante la primavera las proporciones de ocurrencia fluctuaron entre 31,0 y 51,2%, ambas proporciones correspondieron al insecto *Eukiefferiella* sp. (Diptera) (Tabla 4.2.3.6).

Tabla 4.2.3.6. Proporción relativa de la abundancia de especies de macroinvertebrados bentónicos dominantes en los fondos ritrales del área de estudio durante otoño y primavera del período 2014-2019.

sitios	**otoño 2014**		**primavera 2014**	
	especie	proporción (%)	especie	proporción (%)
1 sector Ciruelos	*Smicridea annulucormis*	25,0	*Eukiefferiella* sp.	21,5
2 sector Rucaco	*Luchoelmis* sp.	17,9	*Eukiefferiella* sp.	14,5
3 sector Cahuincura	*Alluaudomya* sp.	28,1	*Eukiefferiella* sp.	22,6
4 sector Calle Calle	*Aegla abtao*	29,5	*Eukiefferiella* sp.	20,6
sitios	**otoño 2015**		**primavera 2015**	
	especie	proporción (%)	especie	proporción (%)
1 sector Ciruelos	*Eukiefferiella* sp.	22,1	*Tubifex* sp.	30,2
2 sector Rucaco	*Eukiefferiella* sp.	20,7	*Corynoneura* sp.	31,8
3 sector Cahuincura	*Corynoneura* sp.	20,0	*Atherix* sp.	16,9
4 sector Calle Calle	*Penaphlenia flavidula*	24,7	*Eukiefferiella* sp.	43,9
sitios	**otoño 2016**		**primavera 2016**	
	especie	proporción (%)	especie	proporción (%)
1 sector Ciruelos	*Smicridea annulucormis*	35,4	*Simulium* sp	23,4
2 sector Rucaco	*Eukiefferiella* sp	61,0	*Simulium* sp	27,1

3 sector Cahuincura	Ancylidae	40,2	*Eukiefferiella* sp	29,0
4 sector Calle Calle	*Tubifex*	24,0	*Eukiefferiella* sp	47,9

sitios	**otoño 2017**		**primavera 2017**	
	especie	proporción (%)	especie	proporción (%)
1 sector Ciruelos	*Smicridea annulucormis*	46,2	*Eukiefferiella* sp	31,8
2 sector Rucaco	*Eukiefferiella* sp	52,8	*Eukiefferiella* sp	32,3
3 sector Cahuincura	*Tubifex*	44,3	*Eukiefferiella* sp	75,1
4 sector Calle Calle	*Eukiefferiella* sp	26,9	*Eukiefferiella* sp	32,3

sitios	**otoño 2018**		**primavera 2018**	
	especie	proporción (%)	especie	proporción (%)
1 sector Ciruelos	*Smicridea annulucormis*	29,6	*Limnoperla jaffueli*	47,4
2 sector Rucaco	*Eukiefferiella* sp	34,0	*Atherix sp*	27,6
3 sector Cahuincura	*Limnoperla jaffueli*	28,4	*Dugesia anceps*	50,4
4 sector Calle Calle	*Meridialaris diguillina*	71,6	*Eukiefferiella* sp	51,6

sitios	**otoño 2019**		**primavera 2019**	
	especie	proporción (%)	especie	proporción (%)
1 sector Ciruelos	*Smicridea annulucormis*	73,2	*Penaphlebia chilensis*	31,0
2 sector Rucaco	*Smicridea annulucormis*	78,2	*Eukiefierella sp.*	51,2
3 sector Cahuincura	*Luchoelmis sp.*	18,1	*Eukiefferiella sp*	45,6
4 sector Calle Calle	*Meridialaris diguillina*	24,3	*Eukiefferiella* sp	35,9

Diversidad

Los valores del índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') han oscilado entre 0,37 (Cahuincura, primavera 2017) y 1,07 (en los sectores Ciruelos y Rucaco durante el otoño y primavera del año 2014, respectivamente (Tabla 4.2.3.7). Durante las campañas realizadas duarnte el año 2019, los valores de este índice variaron entre 0,43 y 0,87 (Rucaco y Calle Calle, otoño) (Tabla 4.2.3.7).La variabilidad temporal de la diversidad muestra tendencias significativas ($p<0,05$) a la disminución en el tiempo, en los sectores de Rucaco y Cahuincura (Fig. 4.2.3.5).

Tabla 4.2.3.7. Índice de diversidad de Shannon de la macrofauna de invertebrados bentónicos que ocurren en los fondos ritrales del área de estudio durante las estaciones de otoño y primavera del período 2014-2019. Los valores corresponden al promedio de cuatro réplicas (tres para ambos periodos del año 2014) con desviación estándar en paréntesis.

Sitios	**diversidad de Shannon (H')**			
	otoño 2014	primavera 2014	otoño 2015	primavera 2015
1 (sector Ciruelos)	1,07 (0,04)	1,02 (0,02)	0,96 (0,05)	0,56 (0,12)
2 (sector Rucaco)	0,98 (0,02)	1,07 (0,01)	0,92 (0,07)	0,85 (0,03)
3 (sector Cahuincura)	0,94 (0,08)	0,84 (0,10)	0,95 (0,07)	0,93 (0,02)
4 (sector Calle Calle)	0,72 (0,34)	0,87 (0,12)	0,67 (0,09)	0,58 (0,07)
	otoño 2016	primavera 2016	otoño 2017	primavera 2017
1 (sector Ciruelos)	1,05 (0,05)	0,78 (0,15)	0,56 (0,17)	0,81 (0,03)
2 (sector Rucaco)	0,88 (0,10)	0,77 (0,03)	0,57 (0,06)	0,71 (0,03)
3 (sector Cahuincura)	0,98 (0,10)	0,79 (0,06)	0,59 (0,09)	0,37 (0,10)
4 (sector Calle Calle)	0,82 (0,06)	0,53 (0,05)	0,81 (0,09)	0,50 (0,06)
	otoño 2018	primavera 2018	otoño 2019	primavera 2019
1 (sector Ciruelos)	0,79 (0,09)	0,87 (0,03)	0,48 (0,16)	0,85 (0,09)
2 (sector Rucaco)	0,66 (0,12)	0,78 (0,08)	0,43 (0,13)	0,66 (0,24)
3 (sector Cahuincura)	0,81 (0,11)	0,54 (0,05)	0,85 (0,07)	0,65 (0,09)
4 (sector Calle Calle)	0,44 (0,02)	0,53 (0,07)	0,87 (0,10)	0,75 (0,02)

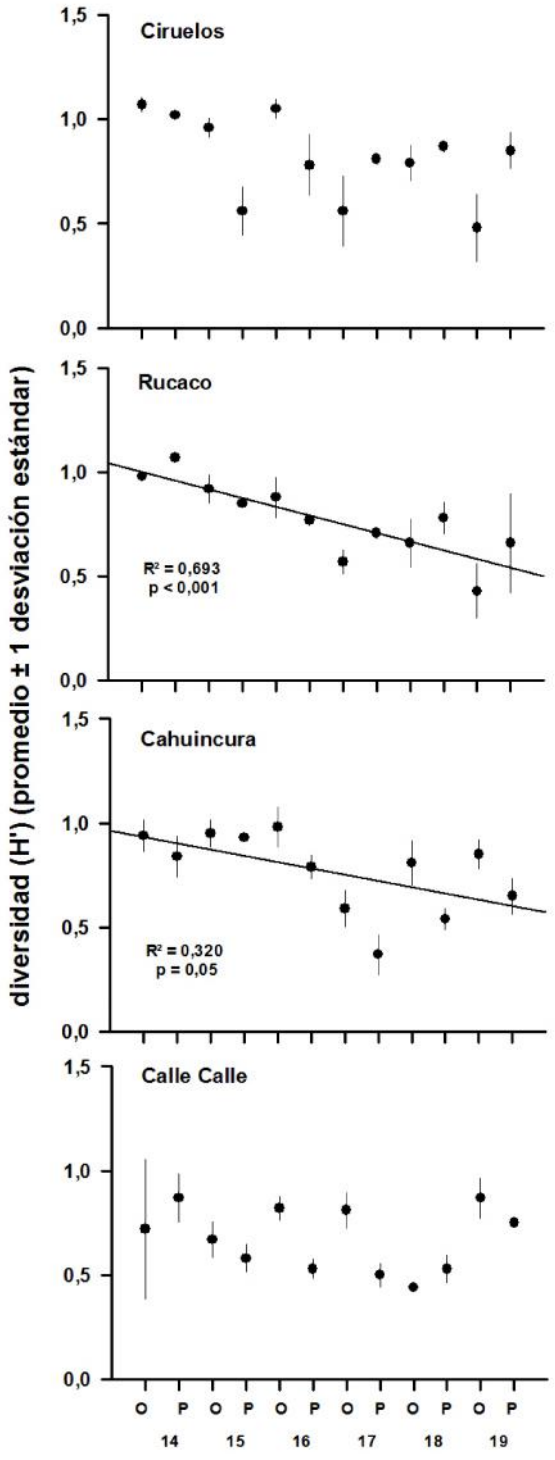


Figura 4.2.3.5. Diversidad promedio de invertebrados bentónicos en los fondos ritrales del área de estudio, durante las estaciones de otoño (O) y primavera (P) del período 2014-2019. Se agrega la línea de tendencias además de p y R^2, cuando la correlación entre diversidad y tiempo transcurrido fue significativa (p <0,05).

Organismos bentónicos de fondos ritrales y carga orgánica en el agua

De acuerdo a los valores establecidos para el Índice de Hilssenhoff (RBP III), se observa que la calidad del ambiente acuático con respecto a la carga orgánica del mismo, ha sido predominantemente "buena" y "muy buena" (Tabla 4.2.3.8). Esto corresponde a aproximadamente el 94% de todas las estimaciones (n= 48 o 4 sitios x 2 veces al año x 6 años = 48). Con menor frecuencia (*circa* 4% del total) se estimaron valores que califican la calidad del agua como "regular" (6,23 y 5,77 en Ciruelos y Calle Calle durante los años 2015 y 2016 (primavera y otoño, respectivamente). Durante el año 2017 se estimó en los fondos de Cahuincura un valor de 6,86 (*circa* 2% del total), lo que califica el agua de este sitio como "algo pobre" según su carga orgánica (Tabla 4.2.3.8). Durante la última campaña realizada el año 2019, los valores del índice biótico de Hilsenhoff fluctuaron entre 3,92 (muy bueno; Ciruelos, primavera) y 5,04 (bueno; Rucaco, otoño) (Tabla 4.2.3.8).

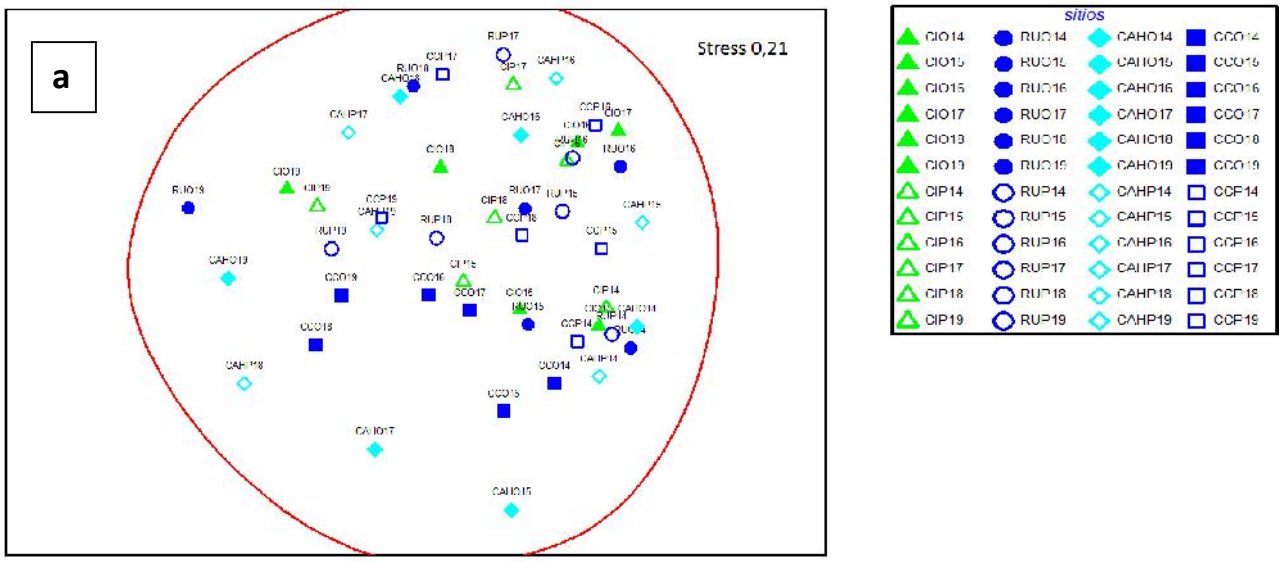
Tabla 4.2.3.8. Valores del Índice Biótico de Hilsenhoff para el área de estudio, durante las estaciones de otoño y primavera del período 2014-2019 (Hilsenhoff 1988).

Sitio	**RBP III**		**RBP III**		**RBP III**		**RBP III**	
	otoño 2014		primavera 2014		otoño 2015		primavera 2015	
1 sector Ciruelos	4,50	Muy bueno	4,30	Muy bueno	4,86	Bueno	6,23	Regular
2 sector Rucaco	4,91	Bueno	4,21	Muy bueno	4,54	Bueno	4,27	Muy bueno
3 sector Cahuincura	5,32	Bueno	4,21	Muy bueno	4,71	Bueno	4,13	Muy bueno
4 sector Calle Calle	4,22	Muy bueno	4,09	Muy bueno	4,56	Bueno	4,06	Muy bueno
	otoño 2016		primavera 2016		otoño 2017		primavera 2017	
1 sector Ciruelos	4,79	Bueno	4,36	Muy bueno	4,72	Bueno	3,62	Muy bueno
2 sector Rucaco	4,62	Bueno	4,23	Muy bueno	5,03	Bueno	3,86	Muy bueno
3 sector Cahuincura	5,14	Bueno	4,07	Muy bueno	6,86	Algo pobre	4,13	Muy bueno
4 sector Calle Calle	5,77	Regular	4,81	Bueno	4,63	Bueno	3,92	Muy bueno
	otoño 2018		primavera 2018		otoño 2019		primavera 2019	
1 sector Ciruelos	4,57	Bueno	4,25	Muy bueno	4,82	Bueno	3,92	Muy bueno
2 sector Rucaco	4,40	Muy bueno	4,57	Bueno	5,04	Bueno	4,51	Bueno
3 sector Cahuincura	4,44	Muy bueno	5,45	Bueno	4,20	Muy bueno	4,49	Muy bueno
4 sector Calle Calle	4,61	Bueno	4,73	Muy bueno	4,32	Muy bueno	4,76	Bueno

Análisis de ordenamiento

La representación gráfica de los resultados de los análisis de EMDNM llevados a cabo para evaluar eventuales similitudes taxonómicas entre sitios de muestreo entre los años 2014 y 2019, se presentan en la Figura 4.2.3.6. A un nivel de similitud faunística de 10% (estimación poco exigente), se observa la conformación de un solo conjunto de sitios & fechas (Fig. 4.2.3.6 a). Por el contrario, cuando el modelo se trabaja con 30 y 60% de similitud taxónomica, la representación gráfica del análisis agrupa al total de muestras en conjuntos de sitios & fechas agrupadas y separadas de muestras aisladas (30% de similitud, Fig. 4.2.3.6 b) o en aproximadamente seis conjuntos (60% de similitud, Fig. 4.2.3.6 c). Las agrupaciones generadas con exigencias de similitudes taxonómicas de 30 y 60%, permiten hipotetizar que la delimitación de los conjuntos de muestras en esos análisis, se debe a diferencias taxonómicas tangibles entre tales entidades. Sin embargo, y debido a que el nivel de stress (*i.e.* grado de disimilitud) para tales análisis es muy alto (0,21), se concluye que la delimitación de tales conjuntos, no es real y no tiene fundamento taxonómico.

Los resultados gráficos desplegados en la Figura 4.2.3.6, muestran también que la delimitación de conjuntos de sitios & fechas, no guarda relación con un eje latitudinal o longitudinal en el área de estudio (Ciruelos-Rucaco y Ciruelos-Rucaco-Calle Calle, respectivamente).



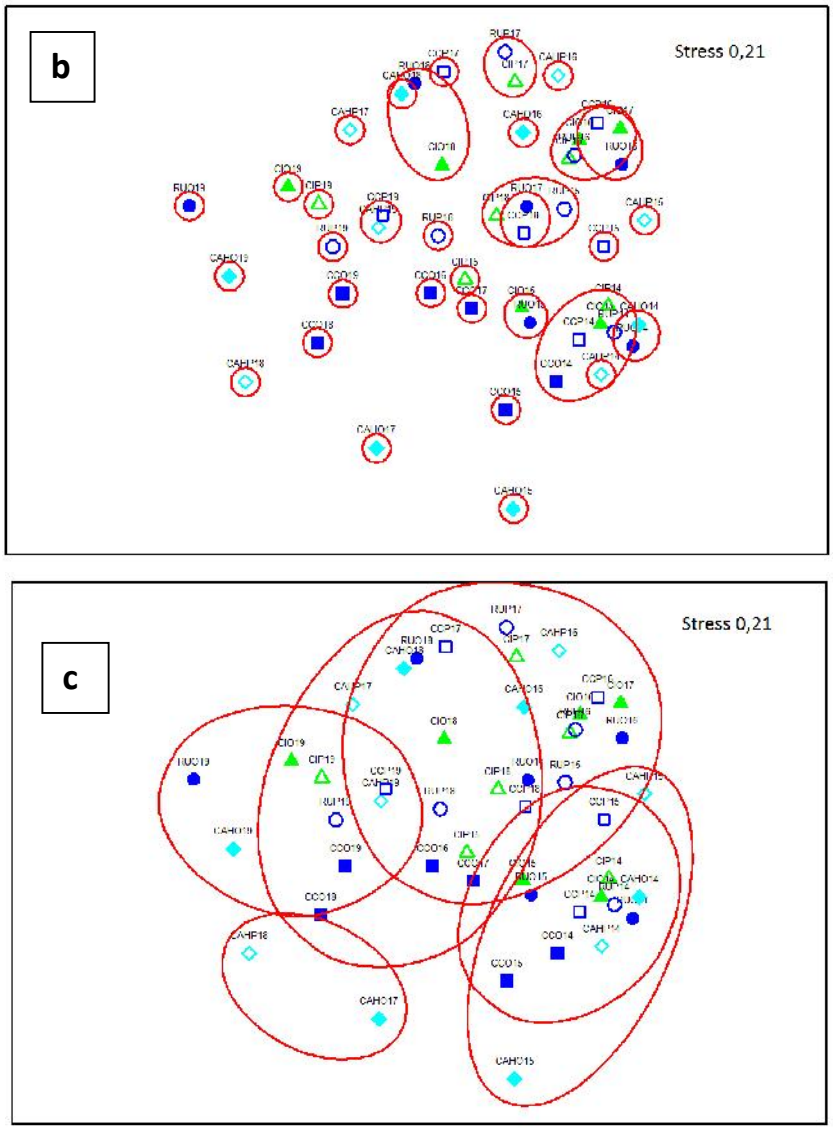


Figura 4.2.3.6. Representación gráfica del análisis de escalamiento multidimensional no métrico (EMDNM) basado en la abundancia de los diferentes taxa, presentes en los fondos pedregosos del área de estudio (2014-2019). a) resultado en base a una similitud de 10%, b) resultado en base a una similitud de 30%, c) resultado en base a una similitud de 60%.

4.2.3.5. Conclusiones

• La frecuencia relativa de especies ocurrida durante la reciente campaña (2019) y las campañas anteriores (2014-2018), da cuenta que la especie que predomina en todos los sitios es el insecto díptero *Eukiufferiella* sp. Esta tendencia se acentúa durante la primavera.

• La variabilidad temporal de la abundancia de la macrofauna de los fondos ritrales, no mostró tendencias significativas a variar significativamente durante el periodo 2014-2019.

• La riqueza de especies y diversidad de los organismos bentónicos de los fondos ritrales del área de estudio, presentó tendencias significativas a la disminución sostenida en el tiempo en los sectores Rucaco y Rucaco y Cahuincura (respectivamente).

• El índice biótico de Hilsenhoff indica que la calidad del agua con respecto a la carga orgánica del área estudiada es predominantemente “buena” y “muy buena”, tanto en los sectores del HRC, como en el sector Calle Calle ubicado fuera de este.

• El análisis de ordenamiento multidimensional tendiente a evaluar eventuales relaciones taxonómicas entre sitios y estaciones del año, muestra que todas esas entidades de análisis no se separan de modo tácito en el eje de las coordenadas XY. Esto sugiere que en general, la estructura comunitaria de la fauna ritral del área de estudio, ha sido similar durante el período 2014-2019.

4.2.3.6. Referencias

Allan JD, Flecker AS, Segnini S, Taphorn DC, Sokol E, Kling GW (2006) Limnology of Andean piedmont rivers of Venezuela. Journal of the North American Benthological Society 25(1):66-81

Aura CM, Raburu PO, Herrmann J (2010) A preliminary macroinvertebrate Index of Biotic Integrity for bioassessment of the Kipkaren and Sosiani Rivers, Nzoia River basin, Kenya. Lakes & Reservoirs: Research & Management 15(2):119-128

Barbour MT, Gerritsen J, Snyder BD, Stribling JB (1999) Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers. EPA 841/B-99/002. US Environmental Protection Agency, Office of water, Washington DC

Brower, JE, Zar JH (1977) Field laboratory methods for general ecology. William C. Brown Company Publishers. Dubuque, USA, p 192

Figueroa R, Palma A, Ruiz V, Niell X (2007) Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región. Revista Chilena de Historia Natural 80(2):225-242

Hilsenhoff WL (1988) Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. Journal of the North American Benthological Society 7(1):65-68

Klemm DJ (1990) Macroinvertebrate field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters. EPA 600/4-90/030.Xii. US Environmental Protecting Agency, p 256

Kruskal JB (1964) Nonmetric multidimensional scaling: a numerical method. Psychometrika 29(2):115-129

Mandaville SM (2002) Benthic macroinvertebrate in freshwaters- taxa tolerance values, metrics, and protocols. (Proyect H-1) Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax, Canada

Marqués MJ, Martínez-Conde E, Rovira JV (2001) Los macroinvertebrados como índices de evaluación rápida de ecosistemas acuáticos contaminados por metales pesados. Ecotoxicology and Environmental Restoration 4(1):25-31

Medina G (1997) A comparison of the diet and distribution of southern river otter (*Lutra provocax*) and mink (*Mustela vison*) in southern Chile. Journal of Zoology 242(2):291-297

Medina G (1998) Seasonal variations and changes in the diet of southern river otter in different freshwater habitats in Chile. Acta Theriologica 43:285-292

Plafkin JL, Barbour MT, Porter KD, Gross SK, Hughes RM (1989) Integration of habitat, water quality, and biosurvey data. In: Plafkin JL, Barbour MT, Porter KD, Gross SK, Hughes RM (eds) Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: Benthic macroinvertebrates and fish. EPA 440/4-89/001. US Environmental Protection Agency, Assessment and Watershed Protection Division, Washington DC, 80-103 p

4.2.4 FAUNA DE CAMARONES

4.2.4.1. Antecedentes

En las aguas continentales de Chile habitan seis especies de camarones de la familia Parastacidae (Crustacea, Decapoda): *Samastacus spinifrons*, *Parastacus nicoleti*, *Parastacus pugnax*, *Virilastacus araucanius*, *Virilastacus rucapihuelensis* y *Virilastacus retamali*. Con excepción de la primera especie, todos estos camarones son especies endémicas cuya distribución geográfica en conjunto se encuentra entre el río Aconcagua por el norte y la península de Taitao por el sur (Rudolph, 2010). Del conjunto de especies arriba mencionadas, *S. spinifrons* o Camarón de río y *P. nicoleti* o Camarón de vega, han sido mencionadas como crustáceos comunes en el humedal del río Cruces en adelante HRC (http://www.ceachile.cl/Cruces/Fauna.htm).

Si bien escasos, hay estudios que muestran que algunas de las especies de camarones anteriormente mencionadas, tienen un rol relevante en la estructura de las tramas tróficas en los cuerpos acuáticos donde ocurren. Por ejemplo, *S. spinifrons* es parte de la dieta de depredadores como peces salmonídeos, anfibios (*Calyptocephalella gayi*, Rana chilena) (Rudolph, 1984), aves acuáticas (*Casmerodius albus*, Garza grande) (Figueroa & Corales, 1997) y Huairavo (*Nycticorax nycticorax*) (Corales & Figueroa, 1999)) así como los mamíferos acuáticos (*Lontra provocax,* Huillín; *Neovison vison,* Visón) (Medina, 1997, Franco *et al.,* 2013).

El estudio de Medina (1997) da cuenta de la importancia de los camarones para la dieta de esos depredadores; *i.e*., el 79 y 48% de las dietas tróficas del Huillín (especie icónica del HRC y sus ríos tributarios) y del Visón (especie invasora) respectivamente, están constituidas por crustáceos, primariamente *Samastacus spinifrons* y *Aegla* sp. Similarmente, Franco *et al. (*2013) encontraron que en 262 muestras de fecas de Huillín recolectadas durante distintas estaciones del año, la aparición de restos de *S. spinifrons* fue del 86% aproximadamente. Aun cuando no existe información sobre los depredadores de *P. nicoleti*, se puede presumir que los depredadores que consumen *P. pugnax* también lo hacen sobre la primera, ya que ambas especies ocurren en microhábitats similares (*i.e.,*

vegas con niveles freáticos de agua cercanos a la superficie del suelo). Dalannais (1984) ha mencionado que las garzas (no se menciona la especie) depredan sobre *P. pugnax*, a la vez que Medina (1997) menciona a esta especie como parte importante de la dieta del Huillín.

Existen características relacionadas a la historia de vida de los parastácidos en general (*i.e*., crecimiento lento, baja fecundidad, maduración sexual tardía y largos períodos de desarrollo embrionario y post embrionario temprano), que hacen de los camarones de aguas continentales, organismos particularmente sensibles a los cambios o intervenciones en el hábitat que viven (Rudolph, 2002, 2010). Debido a lo mismo y en conjunto con otras características de los mismos, como facilidad de captura y tamaños convenientes para ser manipulados y estudiados, hacen que estos crustáceos puedan ser utilizados como bioindicadores adecuados para evaluar cambios en el tiempo en la calidad de agua de cuerpos acuáticos continentales (Sharma *et al*., 2006; Suárez-Serrano *et al.,* 2010). Por ejemplo, se ha encontrado que perturbaciones ambientales de origen antrópico en ríos, pueden provocar alteraciones en el crecimiento, tamaño, capacidad de reproducción y/o sobrevivencia de camarones (Webb, 2011).

Es en el contexto anterior, que se seleccionó a los camarones que habitan en el HRC y sus ríos tributarios, como parte del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC. El quinto y último año de este Programa se realizó durante los meses de abril 2019 - marzo 2020, la información obtenida se comparó con los resultados de estudios realizados durante el primer, segundo, tercer y cuarto año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2015 - marzo 2016, abril 2016 - marzo 2017, abril 2017 - marzo 2018 y abril 2018 - marzo 2019, respectivamente) y del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (abril 2014 - marzo 2015).

4.2.4.2. Objetivos

- Analizar la abundancia y tamaños corporales del Camarón de río (*Samastacus spinifrons*) y del Camarón de vega (*Parastacus nicoletti*) en el área de estudio.

- Estimar la abundancia del Camarón de vega en base a la presencia de ejemplares recolectados en sus habitáculos.
- Analizar la concentración de metales pesados (Hierro, Aluminio, Manganeso, Cobre, Zinc, Plomo, Cadmio, Arsénico y Mercurio) en tejidos corporales del Camarón de río (*S. spinifrons*).
- Evaluar la concentración de compuestos orgánicos persistentes (Ácidos grasos, Ácidos resínicos y AOX) en tejidos corporales de *S. spinifrons*.
- Evaluar la concentración de Dioxinas y Furanos en tejidos corporales de *S. spinifrons.*
- Comparar los resultados obtenidos durante los años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (otoño y primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019), con los del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (otoño y primavera 2014).

4.2.4.3. Material y métodos

Obtención de las muestras de *Samastacus spinifrons*

Durante los meses de abril, mayo y noviembre del año 2015; mayo, junio y octubre del año 2016; mayo & octubre del año 2017; abril, mayo, noviembre y diciembre del año 2018 &abril y noviembre del 2019, se realizaron los muestreos destinados a recolectar camarones de río (*Samastacus spinifrons*) correspondientes a las campañas de otoño y primavera del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC.

Estos fueron realizadas en cinco estaciones: Ciruelos, Rucaco y Punucapa (eje central del río Cruces), río Pichoy (río tributario) y río Calle Calle (fuera del humedal) (Fig. 4.2.4.1).

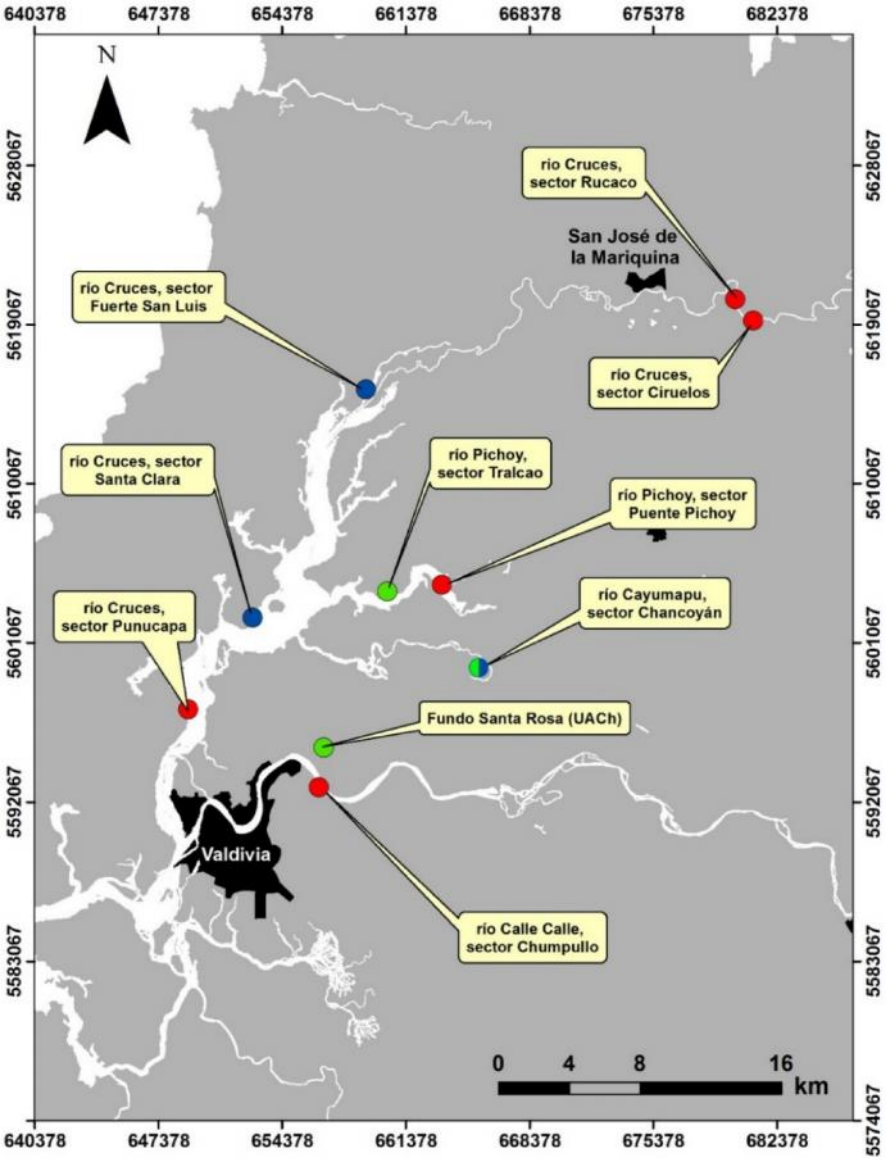


Figura 4.2.4.1. Ubicación de los sitios de muestreo del monitoreo estacional, seleccionados para el estudio del Camarón de río *Samastacus spinifrons* (puntos rojos). Los círculos verdes indican los sitios donde se recolectaron especímenes del Camarón de vega *Parastacus nicoleti,* durante el año 2015 y los círculos azules durante los años 2016, 2017, 2018 y 2019.

Se utilizaron dos modalidades de muestreo; una orientada a conocer la abundancia de este camarón en cada sitio seleccionado y la otra destinada a capturar al menos veinte ejemplares, para obtener una visión general de los tamaños y proporción sexual en cada uno de estos sitios. Se realizaron transectos de muestreo de 15 mts de largo en cuatro secciones seleccionadas aleatoriamente; el tiempo de trabajo en cada sección fue de 10 minutos aproximadamente y a una profundidad inferior a un metro. La captura de *S. spinifrons* se realizó con un equipo de pesca eléctrica EFKO-Elektrofischfanggeräte GMBH, Typ FEG 1500. Posterior a la captura los individuos fueron guardados en bolsas Ziploc © y llevados al laboratorio para estudios de tamaños corporales y proporción sexual.

Obtención de las muestras de *Parastacus nicoleti*

La captura de *Parastacus nicoleti* se realizó en junio, septiembre y noviembre del año 2015 en el río Pichoy (sector Tralcao), río Cayumapu (sector Chancoyán) y Fundo Santa Rosa (Fig. 4.2.4.1). Durante agosto y septiembre del año 2016 y debido a la imposibilidad de realizar muestreos por efecto de modificaciones paisajísticas en los sectores de Tralcao y Santa Rosa, se seleccionaron dos nuevos lugares, San Luis y Santa Clara. Durante los años 2017 y 2018, se realizaron los muestreos durante los meses de agosto y septiembre en los sectores San Luis, Santa Clara y Chancoyán. (Fig. 4.2.4.1). Durante el año 2019 solo se obtuvieron ejemplares del sector Santa Clara debido a problemas con el equipo de pesca.

Los especímenes fueron capturados con bombas de vacío parciales, construidas artesanalmente y utilizadas desde el inicio de los Programas de Diagnóstico y Monitoreo del HRC. Estas consisten de un tubo de PVC de 8 cm de diámetro y 70 cm de largo, en cuyo interior se desliza un embolo accionado manualmente por el extractor, que por medio de succión permite extraer los camarones de terrenos semi-pantanosos. Los habitáculos de *P. nicoleti* fueron examinados aleatoriamente, recolectándose todos los especímenes que se encontraban en ellos. Estos fueron guardados en bolsas plásticas Ziploc© debidamente rotuladas y transportadas al laboratorio donde se realizaron los análisis correspondientes.

Estimaciones de abundancia de *Samastacus spinifrons y Parastacus nicoleti*

La abundancia de *S. spinifrons* por sector, se estimó en base a capturas por unidad de esfuerzo, lo que correspondió a 10 minutos de trabajo con el sistema de pesca eléctrica. Los valores se expresan en promedio ± 1 desviación estándar. La abundancia relativa de la especie *P. nicoleti* se estimó en base al número de habitáculos ocupados en relación al número total de habitáculos examinados durante un tiempo aproximado de 1,5 horas de trabajo. Se estudió también la densidad de camarones por habitáculos ocupados.

Tallas corporales

Los valores de tamaño corporal (*i.e.*, longitud del cefalotórax) (Fig. 4.2.4.2) se utilizaron para construir histogramas de clases de talla para cada sitio de muestreo.

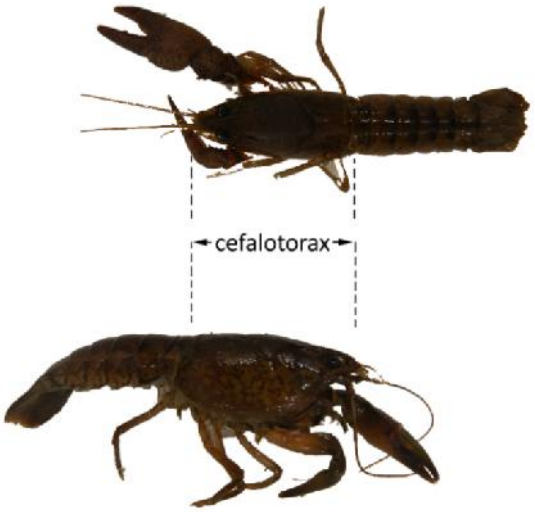


Figura 4.2.4.2. Mediciones de longitud del cefalotórax realizadas en ambas especies de camarones recolectados en este estudio.

Proporción sexual de *Samastacus spinifrons*

Luego de ser medidos y pesados, los especímenes de *S. spinifrons* fueron sexados a través de la observación en lupa (10x) de los órganos sexuales (*cf*., Rudolph, 2002), para así estimar proporción machos: hembras.

Análisis de metales pesados y compuestos orgánicos

Debido a la necesidad de contar con una biomasa adecuada para realizar los análisis químicos, se trabajó con ejemplares completos de camarones. Estos fueron lavados con abundante agua desionizada, para luego sonicar a fin de eliminar los restos de sedimento que pudieran haber quedado adheridos a los camarones. Los especímenes así tratados se secaron por liofilización y pulverizaron. Las muestras así preparadas para análisis de metales pesados (*i.e.,* Hierro, Aluminio, Manganeso, Cobre, Zinc, Plomo, Cadmio, Arsénico y Mercurio) se atacaron mediante digestión ácida en microondas y posteriormente se analizaron por Espectroscopía de Absorción Atómica de Llama. Debido a su baja concentración en esta matriz, el Plomo se analizó por ICP-MS y/o Espectroscopía de Absorción Atómica con horno de grafito.

Las muestras para análisis de AOX se analizaron mediante titulación microcoulombimétrica (Norma Europea EN ISO 9562 y EN 1485, respectivamente), luego de la adsorción de los compuestos halogenados en carbón activado y extracción con un solvente, respectivamente.

Las muestras para análisis de Dioxinas y Furanos recolectadas durante los años 2014 y 2015, fueron analizadas en los laboratorios Marschwood Scientific Service (Inglaterra) y LOQ (Universidad de Concepción), mediante Cromatografía Gaseosa de Alta Resolución-Espectrometría de Masa de Alta Resolución (HRGC-HRMS), de acuerdo al método EPA 1613. Las muestras de los años 2016, 2017, 2018 y 2019 fueron analizadas en el Laboratorio de Oceanografía Química (LOQ) siguiendo el mismo método EPA 1613.

Se realizaron análisis comparativos de los camarones recolectados durante campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 en los sectores Ciruelos, Rucaco (río Cruces) y Chumpullo (río Calle Calle) (Fig. 4.2.4.1).

Los análisis comparativos se realizaron mediante uso de ANDEVA Factorial de dos factores (Año y Sectores).

4.2.4.4. Resultados

Abundancia de *Samastacus spinifrons*

Tabla 4.2.4.1 y Figura 4.2.4.3, muestran las abundancias del Camarón de río en los transectos ribereños, estudiados a través de las campañas realizadas durante los Programas de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC (2014-2019). En términos generales los resultados indican que después de 6 años de estudio las abundancias promedios fueron mayores en el río Calle Calle, fuera del HRC (5,8 ± 5,7 individuos) y Punucapa eje central del HRC (4,6 ± 4,6 individuos), por el contrario, los menores valores se registraron el Rucaco (1,2 ± 3,0 individuos).

Durante las campañas otoñales, los mayores valores de abundancia se registraron durante los años 2016 (promedio 13 ± 10,6 individuos) y 2017 (promedio 7,5 ± 4,8 individuos) en el sector río Calle Calle. Por el contrario los menores valores se detectaron durante los años 2015 al 2019 en el sector Rucaco, logrando encontrar un solo ejemplar durante el año 2017 (promedio = 0,0 ± 0,0 individuos), (Tabla 4.2.4.1 y Fig. 4.2.4.3).

En la campaña primaveral, los mayores valores de abundancia se observaron en el año 2017 en el sector río Calle Calle (promedio 10 ± 6,8 individuos) y en en Punucapa durante el año 2014 (promedio 9,0± 5,5 individuos). A su vez las abundancias menores se detectaron durante todo el Programa de Monitoreo Ambiental en el sector Rucaco (0,0 ± 0,0 individuos) (Tabla 4.2.4.1 y Fig. 4.2.4.3).

El año 2019 durante la campaña de otoño los valores más altos de abundancia se encontraron en el río Calle Calle (promedio = 3,5 ± 3,0 individuos) y los valores más bajos en el sector Rucaco (promedio = 0,0 ± 0,0 individuos) (Tabla 4.2.4.1 y Fig. 4.2.4.3).

En la campaña primaveral se capturaron camarones en todos los sectores de estudio. Los valores más altos de abundancia se presentaron en los sectores Punucapa y río Calle Calle (promedios = 3,3 ± 3,3 y 8,5 ± 3,3 individuos, respectivamente), a la vez que, las abundancias más bajas se detectaron en los sectores Rucaco (promedio = 0,5 ± 0,6 individuos) y Pichoy (promedio = 1,3 ± 0,5 individuos) (Tabla 4.2.4.1 y Fig. 4.2.4.3).

Tabla 4.2.4.1. Número de individuos de *Samastacus spinifrons* recolectados en cada transecto durante las campañas de otoño y primavera de los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Se muestran valores promedio por estación con desviación estándar en paréntesis. Durante el año 2014 se realizaron sólo tres transectos de muestreo*. SD= sin datos (Ver Materiales y Métodos).

estaciones	**campaña**	**abundancia**				**promedio**
		1	**2**	**3**	**4**	
Eje central río Cruces (área límnica)	otoño 2014	6	10	4	*	6,7 (3,1)
	primavera 2014	7	3	7	*	5,7 (2,3)
sector Ciruelos	otoño 2015	0	0	0	0	0,0 (0,0)
	primavera 2015	4	0	5	13	5,5 (5,4)
	otoño 2016	1	1	4	1	1,8 (1,5)
	primavera 2016	5	0	3	0	2,0 (2,4)
	otoño 2017	5	0	1	2	2,0 (2,2)
	primavera 2017	0	4	2	2	2,0 (1,6)
	otoño 2018	1	1	2	0	1,0 (0,8)
	primavera 2018	3	0	0	0	0,8 (1,5)
	otoño 2019	0	0	4	0	1,0 (2,0)
	primavera 2019	4	2	0	0	1,5 (1,9)
sector Rucaco	otoño 2014	14	8	10	*	10,7 (3,1)
	primavera 2014	2	8	4	*	4,7 (3,1)
	otoño 2015	0	0	0	0	0,0 (0,0)
	primavera 2015	0	0	0	2	0,5 (1,0)
	otoño 2016	0	0	0	0	0,0 (0,0)
	primavera 2016	0	0	0	0	0,0 (0,0)
	otoño 2017	0	0	0	3	0,8 (1,5)
	primavera 2017	0	0	0	0	0,0 (0,0)
	otoño 2018	0	0	0	0	0,0 (0,0)
	primavera 2018	0	0	0	0	0,0 (0,0)
	otoño 2019	0	0	0	0	0,0 (0,0)
	primavera 2019	1	0	0	1	0,5 (0,6)

Continuación **Tabla 4.2.4.1.**

		abundancia				
estaciones	**campañas**	**1**	**2**	**3**	**4**	**promedio**
Eje central río Cruces	otoño 2014	12	11	1	*	8,0 (6,1)
(área estuarial)	primavera 2014	12	3	12	*	9,0 (5,5)
sector Punucapa	otoño 2015	0	6	0	0	1,5 (3,0)
	primavera 2015	0	4	8	7	4,8 (3,6)
	otoño 2016	0	8	1	12	5,3 (5,7)
	primavera 2016	0	0	2	10	3,0 (4,8)
	otoño 2017	1	0	4	9	3,5 (4,0)
	primavera 2017	2	0	14	11	6,8 (6,8)
	otoño 2018	5	0	4	3	3,0 (2,2)
	primavera 2018	SD	SD	SD	SD	SD
	otoño 2019	SD	SD	SD	SD	SD
	primavera 2019	5	0	1	7	3,3 (3,3)
Río tributario del río	otoño 2014	9	12	7	*	9,3 (2,5)
Cruces	primavera 2014	4	8	6	*	6,0 (2,0)
(área estuarial)	otoño 2015	0	0	0	4	1,0 (2,0)
sector río Pichoy	primavera 2015	2	2	0	0	1,0 (1,2)
	otoño 2016	1	1	0	6	2,0 (2,7)
	primavera 2016	0	3	3	2	2,0 (1,4)
	otoño 2017	3	1	3	1	2,0 (1,2)
	primavera 2017	0	0	0	1	0,3 (0,5)
	otoño 2018	0	0	2	1	0,8 (1,0)
	primavera 2018	2	0	0	0	0,5 (1,0)
	otoño 2019	0	1	0	1	0,5 (0,6)
	primavera 2019	1	2	1	1	1,3 (0,5)
Fuera del humedal del	otoño 2014	0	0	3	*	1,0 (1,7)
río Cruces y sus ríos	primavera 2014	9	13	4	*	8,7 (4,5)
Tributarios	otoño 2015	0	0	5	0	1,3 (2,5)
(área estuarial)	primavera 2015	0	1	0	6	1,8 (2,9)
río Calle Calle, sector	otoño 2016	6	2	23	21	13,0 (10,6)
Chumpullo	primavera 2016	0	0	0	6	1,5 (3,0)
	otoño 2017	5	2	11	12	7,5 (4,8)
	primavera 2017	9	5	20	6	10,0 (6,9)
	otoño 2018	0	7	7	12	6,5 (4,9)
	primavera 2018	7	5	2	3	4,3 (2,2)
	otoño 2019	1	5	7	1	3,5 (3,0)
	primavera 2019	13	9	6	6	8,5 (3,3)

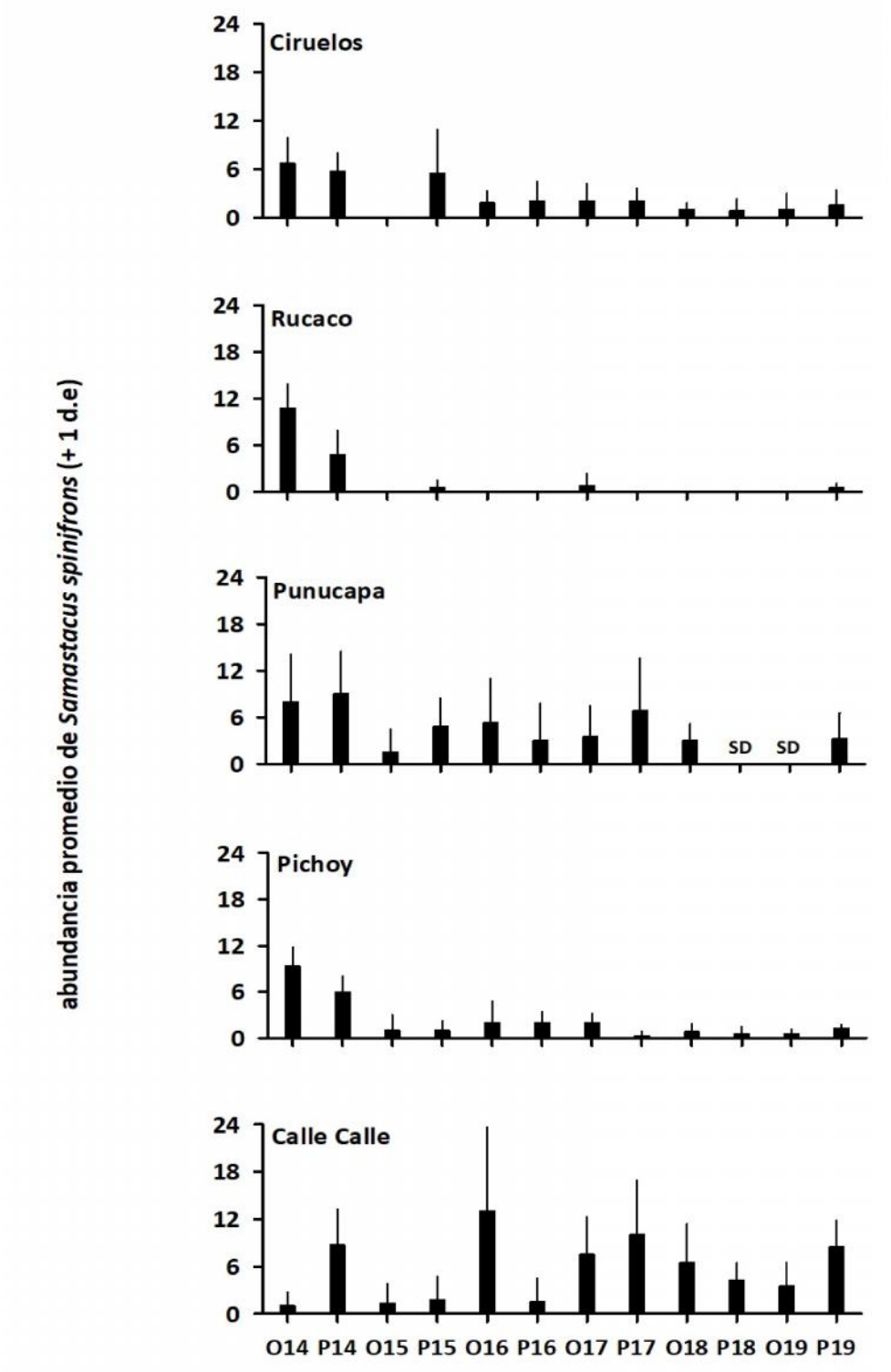


Figura 4.2.4.3. Abundancia promedio de *Samastacus spinifrons* en cada sitio de estudio, durante las campañas de otoño (O) y primavera (P) de los años 2014-2019. Las barras que acompañan al promedio corresponden a una desviación estándar. SD= sin datos.

Abundancia relativa de *Parastacus nicoleti*

La Figura 4.2.4.4. muestra la abundancia relativa de camarones de vega en cinco sectores. Posterior al año 2015 los sectores Tralcao y Santa Rosa se dejaron de estudiar por modificaciones paisajísticas. Los meses analizados fueron junio, septiembre y noviembre del año 2015, agosto y septiembre de los años 2016, 2017, 2018 y 2019.

Los valores se refieren al número de habitáculos ocupados en relación al número total de habitáculos examinados expresado en porcentaje. Los mayores porcentajes de ocupación se detectaron en Chancoyan durante el año 2017 con un 83% (n=24 habitáculos) y en el sector Santa Clara durante el año 2018 con un 90,9% de ocupación (n=22 habitáculos), ambos resultados realizados durante las campañas del mes de agosto.

Caso contrario ocurrió durante el año 2016, donde en las campañas realizadas el mes de agosto en los sectores San Luis y Chancoyan se registraron los menores porcentajes de ocupación, 52,6% (n=38 habitáculos) y 62,2% (n=37 habitáculos), respectivamente (Fig. 4.2.4.4).

Durante las campañas de septiembre del año 2018, se recolectó el mayor porcentaje de camarones en el sector Santa Clara con un 87,0% de ocupación (n=23 habitáculos). Durante el mismo año los menores porcentajes se encontraron en el sector Chancoyán cuya proporción de ocupación fue de un 69,0 % (n=29 habitáculos). Similar situación ocurrió en el mismo sector durante el año 2019, donde solo el 18,8% de las madrigueras estaban ocupadas (Fig. 4.2.4.4).

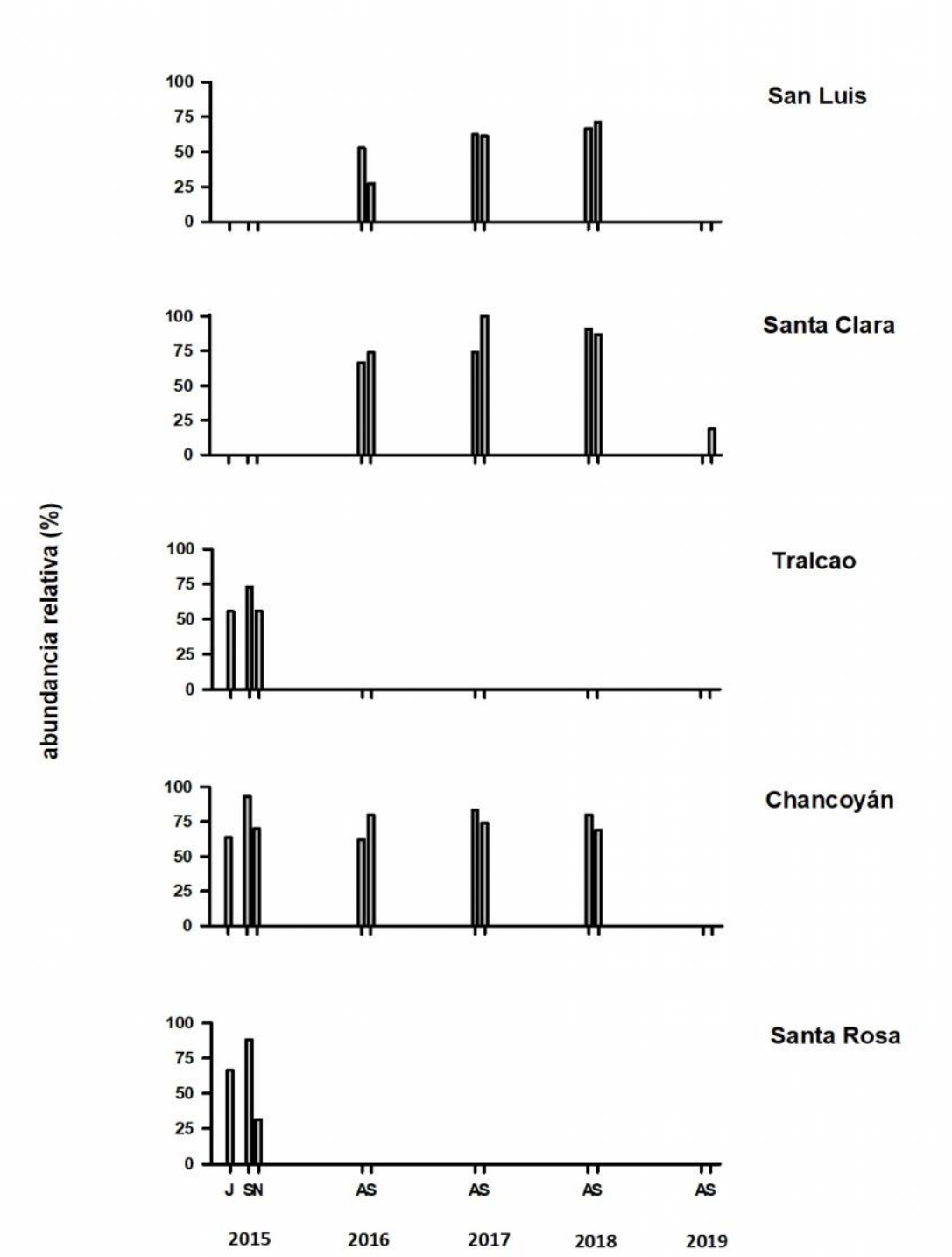


Figura 4.2.4.4. Abundancia relativa de la especie *P. nicoleti* en el área de estudio durante junio, septiembre y noviembre del año 2015 (J, S y N, respectivamente), agosto y septiembre del año 2016, 2017, 2018 y 2019 (A y S, respectivamente). Los valores se refieren al número de habitáculos ocupados en relación al número total de habitáculos examinados expresado en porcentaje.

Número de especímenes de *Parastacus nicoleti* por habitáculo

En la Figura 4.2.4.5 a, muestra el número de individuos *P. nicoleti* recolectados por habitáculo durante los meses de junio, septiembre y noviembre del año 2015, en donde las ocupaciones más altas de camarones por madriguera se detectaron en el sector Santa Rosa (7, 8 y 5 especímenes, respectivamente)

En la Fig. 4.2.4.5 b, muestra las situaciones más comunes de los sectores San Luis, Santa Clara y Chancoyán durante los meses de agosto y septiembre entre los años 2016 al 2018. El sector Santa Clara, presentó las mayores ocupaciones con 20 y 21 individuos encontrados en 2 habitáculos (septiembre 2017), el mismo sector junto al sector Chancoyán presentaron situaciones más frecuentes de 1 y 2 individuos por madriguera en el año 2017. En Santa Clara, el mayor número de habitáculos ocupados por 2 especímenes fueron 7 y el máximo de camarones encontrados en 1 habitáculo fueron 13, en el sector Chancoyán se determinó que hubo 10 habitáculos con 1 espécimen de *P. nicoleti,* evidenciándose un máximo de 9 camarones de vega en 1 habitáculo (agosto 2018).

El sector San Luis, presentó las mayores ocupaciones con 1 individuo en 18 habitáculos durante agosto del 2016, siendo 13 el número máximo de camarones encontrados en 1 habitáculo (agosto 2017).

Finalmente, en el sector Chancoyán se observaron 14 habitáculos ocupados por 1 camarón y el número máximo de *P. nicoleti* fueron 9 individuos encontrados en 1 habitáculo durante agosto 2018 (Fig. 4.2.4.5 b).

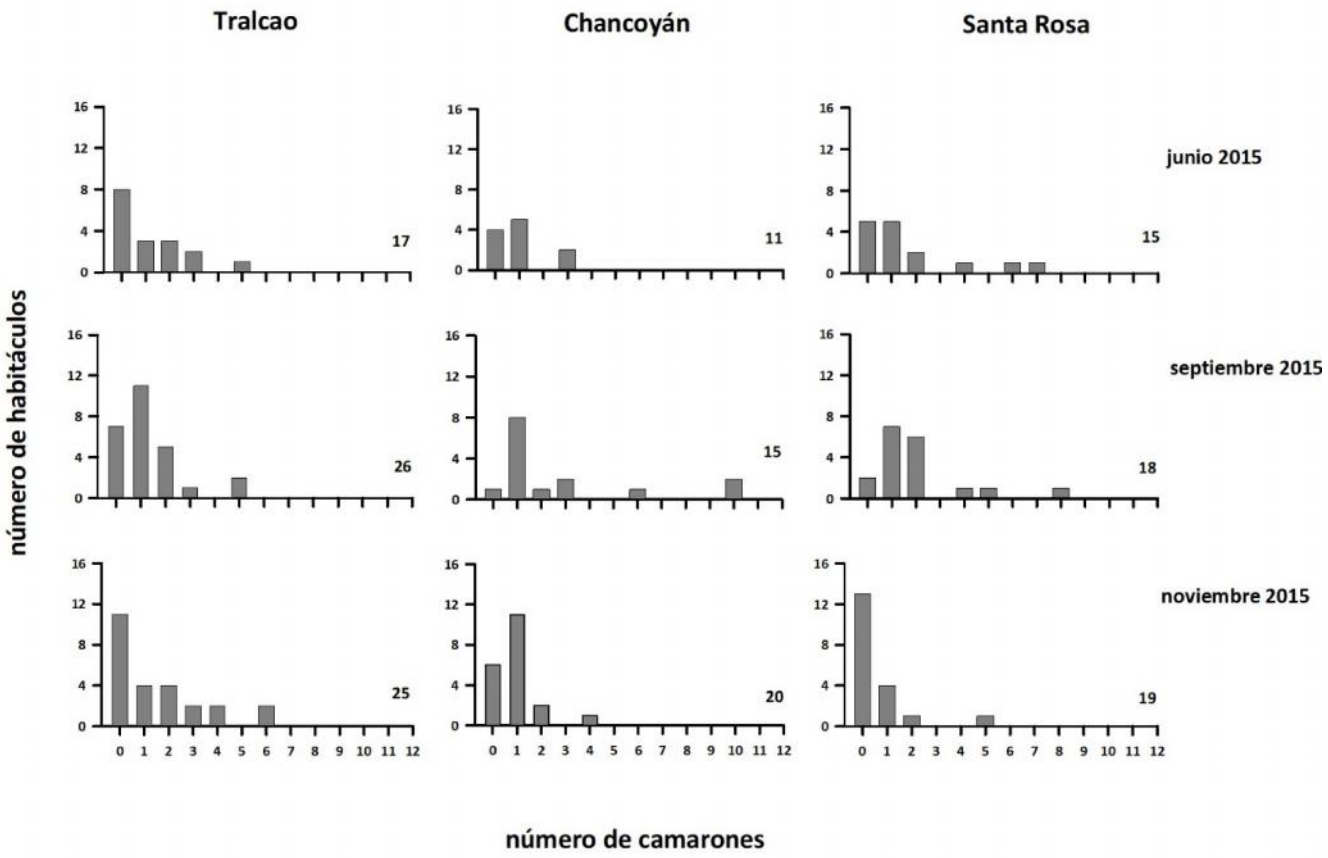


Figura 4.2.4.5 a. Número de individuos de *Parastacus nicoleti* recolectados por habitáculo durante junio, septiembre y noviembre del año 2015. Los ceros en el eje X de cada gráfico, indican ausencia de camarones en habitáculos. Los números a la derecha de cada gráfico indican el total de habitáculos examinados por sector.

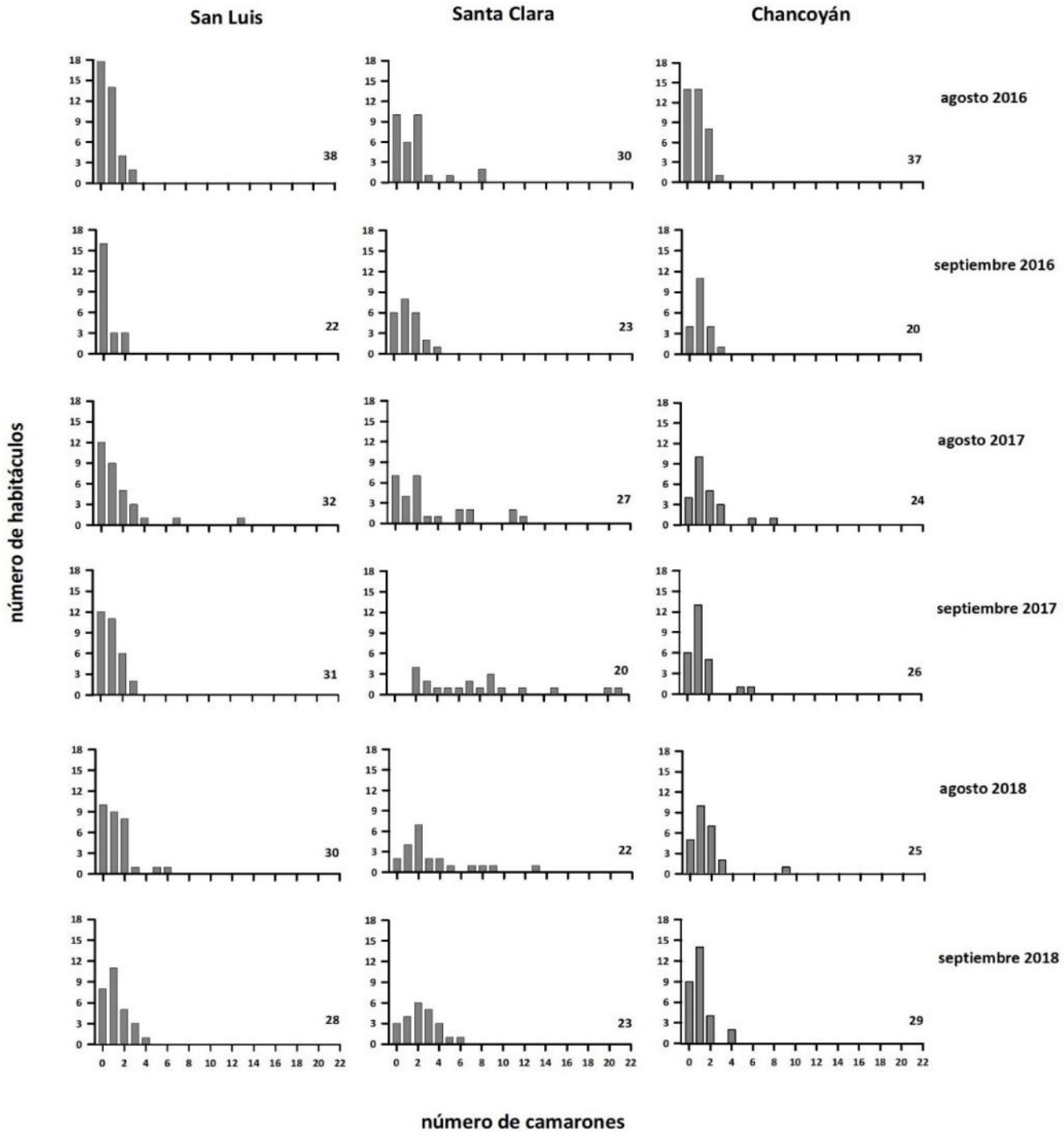


Figura 4.2.4.5 b. Número de individuos de *Parastacus nicoleti* recolectados por habitáculo durante agosto y septiembre de los años 2016, 2017, 2018. Los ceros en el eje X de cada gráfico, indican ausencia de camarones en habitáculos. Los números a la derecha de cada gráfico indican el total de habitáculos examinados por sector.

Tallas corporales

La Tabla 4.2.4.2. muestra la distribución de tallas corporales de *Samastacus spinifrons* entre los años de estudio 2015 – 2019. En la mayoría de los sectores, excepto el río Calle Calle, se evidencia una disminución del número de camarones recolectados, pero solo los sectores Ciruelos y Pichoy presentan significancia estadística (p=0,011; p=0,002, respectivamente) (Fig. 4.2.4.6 y 4.2.4.7).

En el sector Ciruelos las mayores distribuciones de tallas se detectaron entre los años 2015 y 2017 (otoño y primavera). En el año 2019, durante la campaña de otoño se recolectaron 4 camarones cuyo tamaño corporal varió entre 1,1 y 2,4 cm (longitud cefalotorácica < 3 cm). En la campaña primaveral se recolectaron 6 camarones cuyo tamaño corporal fue muy similar a la campaña de otoño (media 1,8 cm) (Tabla 4.2.4.2 y Fig. 4.2.4.6). En el sector Rucaco las mayores distribuciones de tallas se encontraron entre los años 2016 y 2018, especificicamente durante las campañas de otoño (n=79; n=80, respectivamente). Durante el año 2019 se observa una significativa disminución del número recolectado de *S. spinifrons* (n=2), pero presentan un aumento en el tamaño corporal (longitud cefalotorácica > 2 cm) (Tabla 4.2.4.2 y Fig. 4.2.4.7). En Punucapa las mayores distribuciones de tallas se detectaron entre los años 2015 y 2018, específicamente en otoño 2016 (n=46), cuyos tamaños fluctuaron entre 0,6- 5,1 cm (longitud cefalotorácica > 4 cm). Durante el año 2019 sólo se recolectaron camarones en la campaña de primavera (n=13) cuya distribución varió entre 0,2 y 2,3 cm (Tabla 4.2.4.2 y Fig. 4.2.4.8). En el sector río Pichoy las mayores distribuciones de tallas de *S. spinifrons* se encontraron entre los años 2015 y 2017 (otoño n=42), cuyos tamaños corporales variaron entre 0,2 y 4,4 cm (longitud cefalotorácica < 2 cm). En el año 2019 durante la campaña de otoño se recolectaron 2 camarones cuyos tamaños fueron de 2,2 y 3,3 cm. Durante la campaña primaveral el tamaño corporal de los especímenes fluctuó entre 1,4 y 2,0 cm correspondiendo a 5 camarones recolectados (media=1,6 cm) (Tabla 4.2.4.2 y Fig. 4.2.4.9). Calle Calle fue el sector donde se recolectó el mayor número de camarones, particularmente durante las campañas otoñales de los años 2016 y 2017 (n=196 y 138, respectivamente). Los tamaños corporales variaron en 0,5 y 4,9

cm. En el año 2019 durante la campaña de otoño se recolectaron 37 especímenes cuyos tamaños corporales fluctuaron ente 0,9 y 4,8 cm (longitud cefalotorácica > 4 cm) (media=2,7). En la campaña de primavera se recolectaron 34 camarones cuyos tamaños corporales variaron entre 0,6 y 4,0 cm (media=2,0) (Tabla 4.2.4.2 y Fig. 4.2.4.10).

Tabla 4.2.4.2. Fecha de captura, número de camarones recolectados, media, moda y rangos de tallas corporales (valores en cm) de *Samastacus spinifrons*. Datos correspondientes a las campañas de otoño y primavera de los años 2014-2019. n= número de especímenes recolectados. SD= sin datos.

estaciones	campañas	N	media	moda	rango
Eje central río del río Cruces (área límnica)	otoño 2014	68	2,2	2,5	1,2 - 3,0
	primavera 2014	69	2,0	1,9	0,8 - 3,4
sector Ciruelos	otoño 2015	106	1,8	1,5	0,9 - 3,7
	primavera 2015	54	2,2	1,7	1,1 - 3,6
	otoño 2016	91	2,0	1,4	1,1 - 3,9
	primavera 2016	8	1,9	1,6	1,6 - 3,1
	otoño 2017	63	2,3	2,5	1,0 - 3,7
	primavera 2017	53	2,4	1,9	1,0 - 4,0
	otoño 2018	67	1,6	1,0	0,3 - 3,5
	primavera 2018	3	1,6	0,0	1,5 - 2,0
	otoño 2019	4	1,8	0,0	1,1 - 2,4
	primavera 2019	6	1,8	0,0	1,1 - 2,6
sector Rucaco	otoño 2014	32	2,2	2,1	1,3 - 4,2
	primavera 2014	51	2,2	1,6	1,4 - 3,9
	otoño 2015	37	2,7	1,6	1,2 - 4,2
	primavera 2015	32	2,4	1,8	1,4 - 3,7
	otoño 2016	79	2,4	1,9	1,2 - 4,4
	primavera 2016	0	0,0	0,0	0,0 - 0,0
	otoño 2017	27	3,3	3,4	2,0 - 4,4
	primavera 2017	11	2,9	2,4	1,7 - 4,4
	otoño 2018	80	1,6	1,0	0,2 - 3,6
	primavera 2018	0	0,0	0,0	0,0 - 0,0
	otoño 2019	0	0,0	0,0	0,0 - 0,0
	primavera 2019	2	2,1	0,0	2,1 - 2,2
Eje central del río Cruces (área estuarial)	otoño 2014	26	2,2	1,5	1,1 - 3,7
	primavera 2014	119	2,1	1,7	0,8 - 5,1
sector Punucapa	otoño 2015	34	1,9	1,3	1,1 - 3,3
	primavera 2015	33	2,6	3	1,6 - 4,0
	otoño 2016	46	2,4	1,4	1,2 - 5,0

	primavera 2016	12	2,5	1,6	1,6 - 4,0
	otoño 2017	51	2,1	1,5	1,0 - 4,6
	primavera 2017	30	2,1	0,7	0,6 - 3,6
	otoño 2018	27	1,9	1,0	0,7 - 3,7
	primavera 2018	SD	SD	SD	SD
	otoño 2019	SD	SD	SD	SD
	primavera 2019	13	1,6	2,0	0,2 - 2,3

Continuación **Tabla 4.2.4.2**

estaciones	**campañas**	**N**	**media**	**moda**	**rango**
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial) sector río Pichoy	otoño 2014	63	2,7	2,5	1,2 - 4,3
	primavera 2014	50	2,5	2,7	0,8 - 3,6
	otoño 2015	21	2,7	2,6	1,2 - 4,2
	primavera 2015	34	2,5	2,6	0,9 - 4,3
	otoño 2016	34	2,3	1,5	1,1 - 4,1
	primavera 2016	8	2,7	0,0	1,2 - 4,4
	otoño 2017	42	2,6	2,6	0,8 - 4,4
	primavera 2017	35	2,2	2,6	0,2 - 3,8
	otoño 2018	9	1,9	0,0	0,7 - 2,9
	primavera 2018	2	2,6	0,0	1,5 - 3,7
	otoño 2019	2	2,7	0,0	2,2 - 3,3
	primavera 2019	5	1,6	1,4	1,4 - 2,0
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	27	2,9	3,1	1,2 - 4,6
	primavera 2014	65	2,2	1,7	1,1 - 3,9
	otoño 2015	16	3,5	2,9	1,8 - 4,9
	primavera 2015	42	2,1	1,8	1,0 - 4,3
	otoño 2016	196	1,9	1,4	0,5 - 4,5
	primavera 2016	6	1,9	0,0	1,0 - 2,4
	otoño 2017	138	1,9	1,3	0,6 - 4,7
	primavera 2017	47	2,5	2,5	0,5 - 4,3
	otoño 2018	82	2,2	0,9	0,8 - 4,7
	primavera 2018	17	2,0	1,3	0,8 - 4,6
	otoño 2019	37	2,7	1,1	0,9 - 4,8
	primavera 2019	34	2,0	1,4	0,6 - 4,0

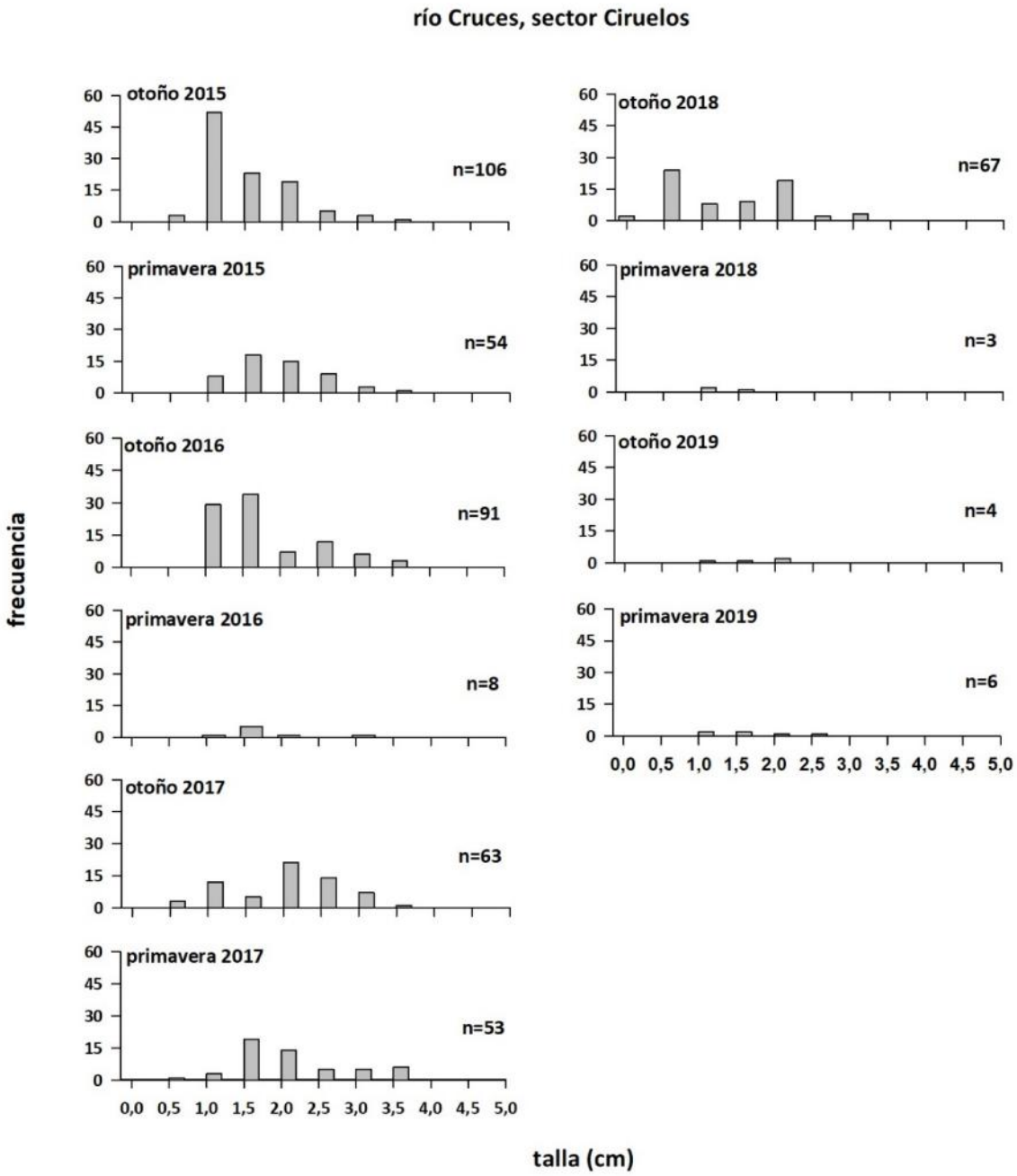


Figura 4.2.4.6. Distribución de tallas corporales de *Samastacus spinifrons* en el sector Ciruelos durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015-2019.

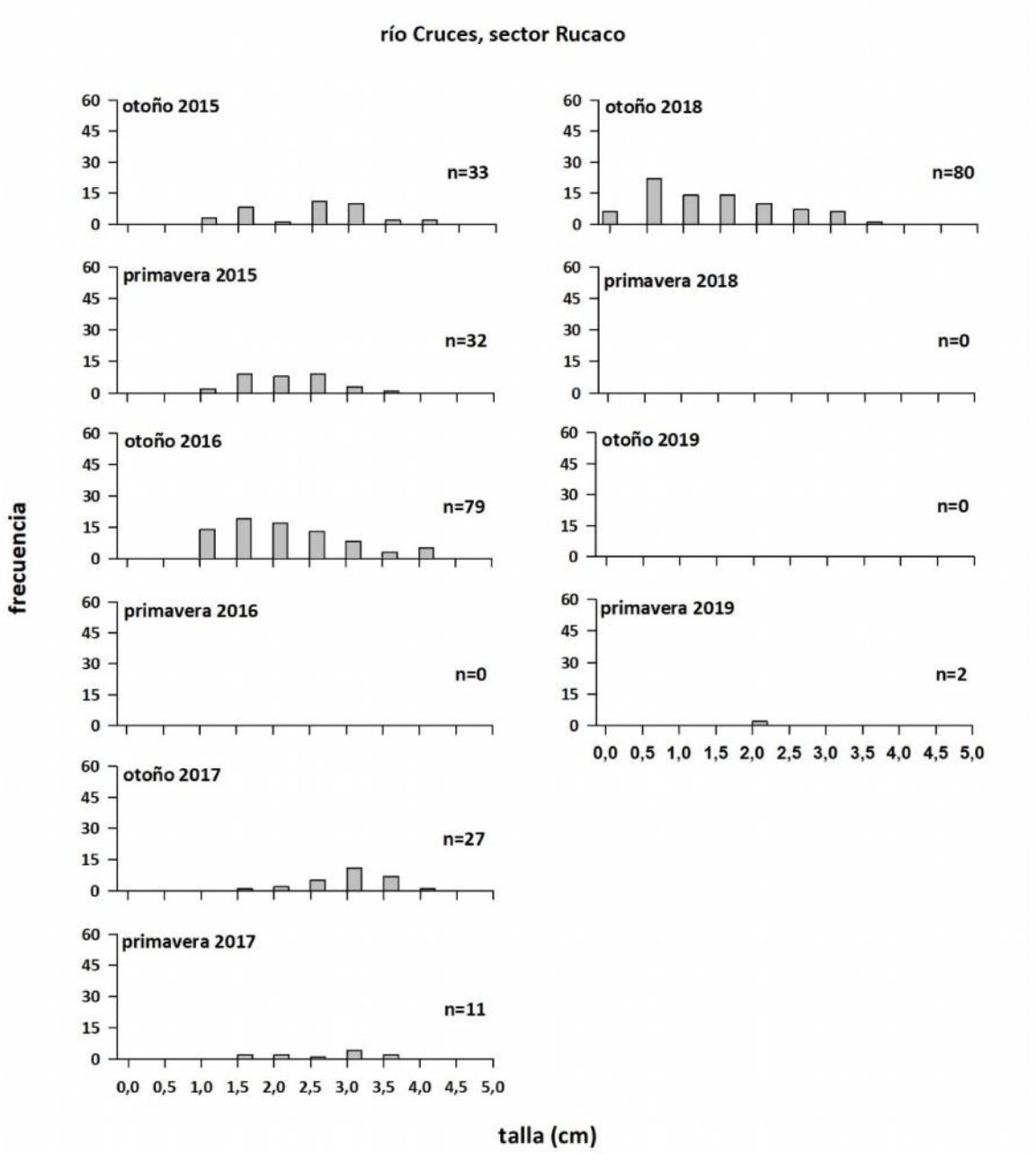


Figura 4.2.4.7. Distribución de tallas corporales de *Samastacus spinifrons* en el sector Rucaco durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019.

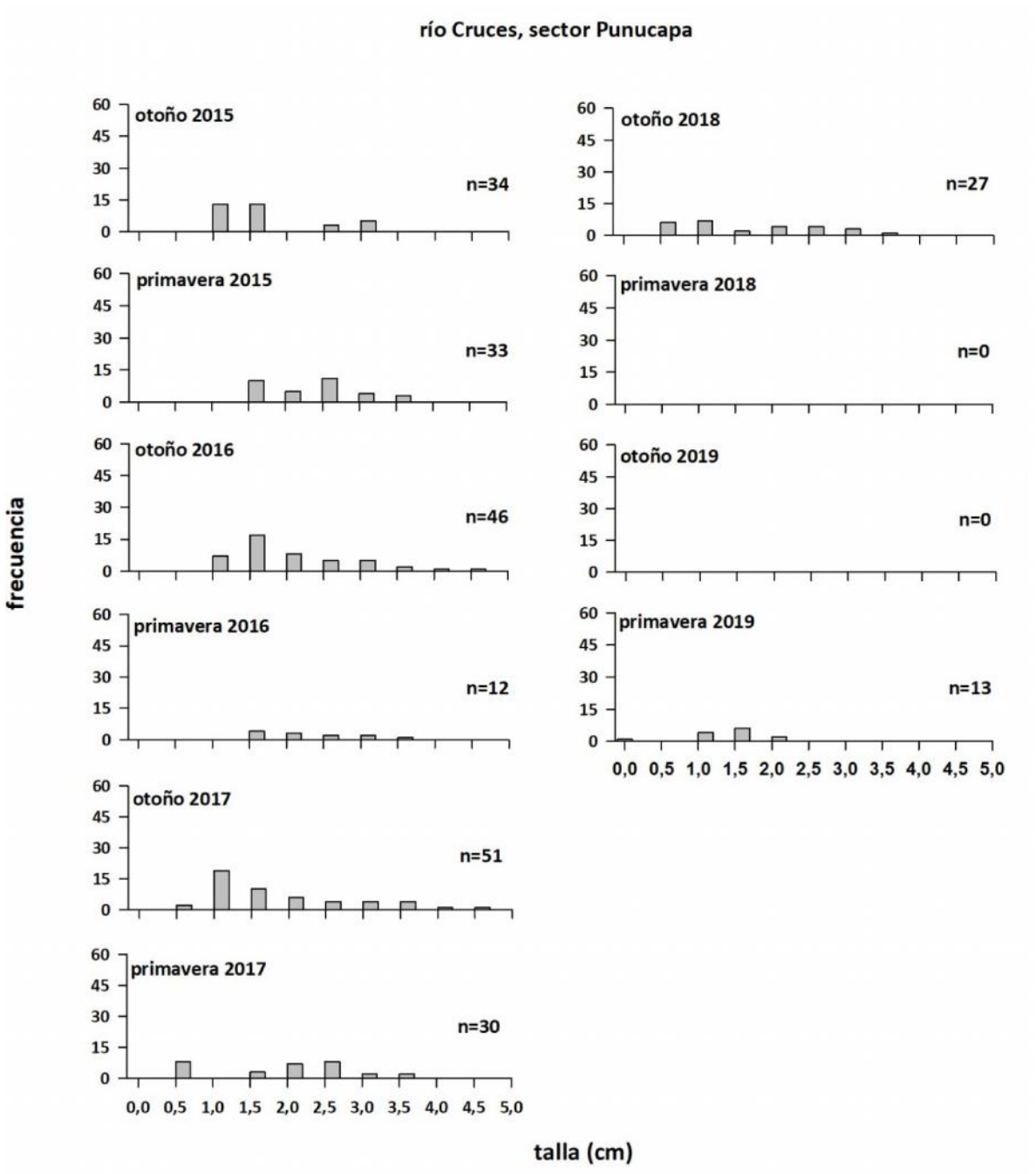


Figura 4.2.4.8. Distribución de tallas corporales de *Samastacus spinifrons* en el sector Punucapa durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019.

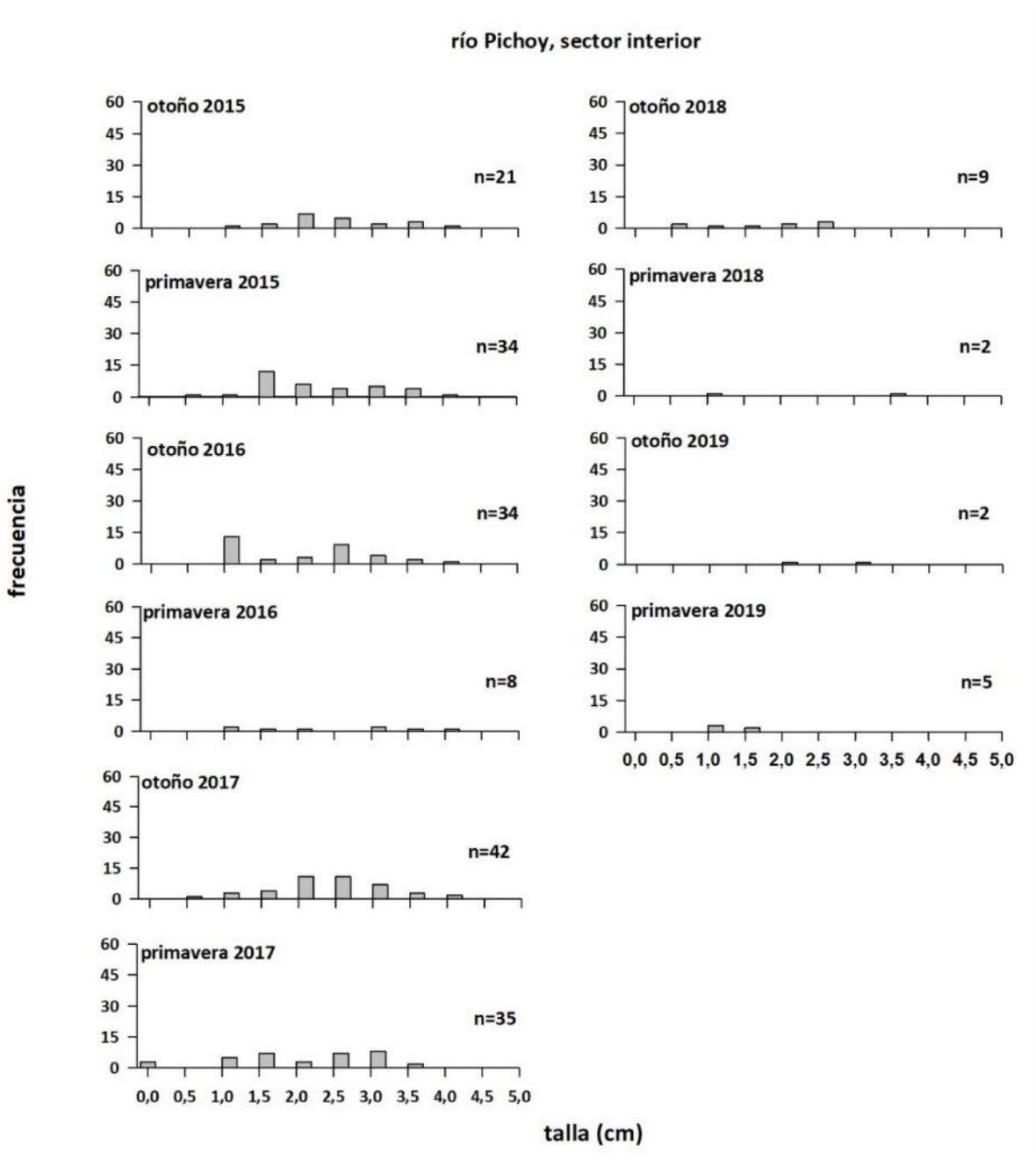


Figura 4.2.4.9. Distribución de tallas corporales de *Samastacus spinifrons* en el sector río Pichoy durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019.

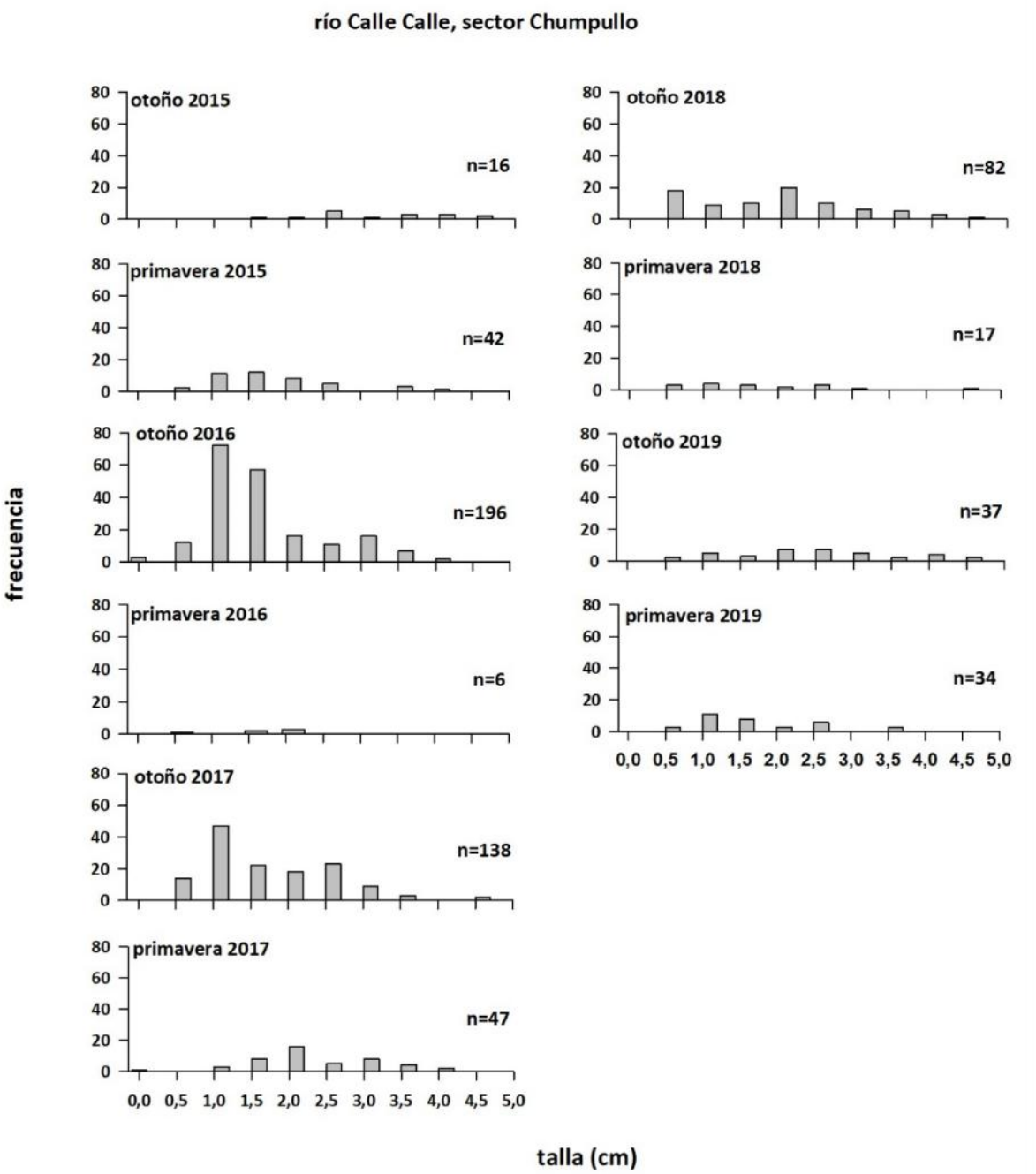


Figura 4.2.4.10. Distribución de tallas corporales de *Samastacus spinifrons* en el sector río Calle Calle durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016, 2017,2018 y 2019.

Parastacus nicoleti

Durante las campañas de otoño y primavera de los años 2014 y 2015, en los sectores río Pichoy, Tralcao y Fundo Santa Rosa, la talla media de los camarónes de vega fue de 1,7 ± 3,0 cm de longitud cefalotorácica, cuyos rangos fluctuaron entre 0,8 y 4,4 cm (Tabla 4.2.4.3).

En el sector San Luis durante las campañas otoño y primavera, entre los años 2016 y 2019, el tamaño promedio de los camarones de vega fue de 2,2 ± 3,2 cm de longitud cefalotorácica, cuyos rangos fluctuaron entre 0,3 y 4,3 cm (Tabla 4.2.4.3).

En el Sector Santa Clara durante ambas campañas otoño y primavera, entre los años 2016 y 2019, el tamaño promedio de los camarones de vega fue de 1,5 ± 2,8 cm de longitud cefalotorácica, cuyos rangos fluctuaron entre 0,4 y 4,9 cm (Tabla 4.2.4.3).

En el Sector Chancoyán durante las campañas otoño y primavera, entre los años 2014 y 2019, la talla promedio de los camarones de vega varió entre 1,9 ± 3,4 cm de longitud cefalotorácica, cuyos rangos fluctuaron entre los 0,7 y 4,6 cm (Tabla 4.2.4.3).

Tabla 4.2.4.3. Fecha de captura, número de camarones recolectados, media, moda y rango de tallas corporales (valores en cm) de *Parastacus nicoleti* durante los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019.

estaciones	campañas	N	media	moda	rango
Eje central río del río Cruces	otoño 2016	28	3,2	3,5	0,9 - 4,2
(área estuarial)	primavera 2016	9	3,2	2,6	1,6 - 4,2
sector San Luis	otoño 2017	52	2,2	0,9	0,5 - 4,3
	primavera 2017	29	3,3	3,6	1,3 - 4,3
	otoño 2018	39	2,5	3,4	0,3 - 4,0
	primavera 2018	SD	SD	SD	SD
	otoño 2019	0	0,0	0,0	0,0 - 0,0
	primavera 2019	0	0,0	0,0	0,0 - 0,0
sector Santa Clara	otoño 2016	50	2,7	1,6	1,2 - 4,4
	primavera 2016	30	2,8	3,0	1,0 - 4,2
	otoño 2017	78	1,8	0,9	0,6 - 4,4
	primavera 2017	156	1,5	0,9	0,5 - 4,6
	otoño 2018	74	1,8	1,0	0,5 - 4,1
	primavera 2018	54	1,9	1,0	0,4 - 4,0
	otoño 2019	0	0,0	0,0	0,0 - 0,0
	primavera 2019	17	2,1	1,1	0,6 - 4,9
Ríos tributarios del río Cruces	otoño 2014	22	2,7	3,7	0,8 - 3,9
(área estuarial)	primavera 2014	21	1,7	1,6	1,0 - 4,3
río Pichoy, sector Tralcao	otoño 2015	34	2,7	3,7	0,9 - 4,1
	primavera 2015	19	2,6	3,7	0,8 - 4,0
río Cayumapu, sector Chancoyán	otoño 2014	22	3,4	4,0	1,1 - 4,4
	primavera 2014	48	2,4	1,2	0,8 - 4,1
	otoño 2015	42	2,0	1,3	0,7 - 4,3
	primavera 2015	35	1,9	1,4	0,9 - 4,1
	otoño 2016	33	3,2	3,9	1,5 - 4,3
	primavera 2016	23	3,1	3,2	1,0 - 4,4
	otoño 2017	43	2,6	0,9	0,8 - 4,2
	primavera 2017	34	3,1	3,3	1,1 - 4,6
	otoño 2018	39	2,9	2,1	1,0 - 4,5
	primavera 2018	SD	SD	SD	SD
	otoño 2019	0	0,0	0,0	0,0 - 0,0
	primavera 2019	0	0,0	0,0	0,0 - 0,0
Fuera del humedal del río Cruces					
Fundo Santa Rosa	otoño 2014	19	3,0	3,9	1,7 - 4,4
	primavera 2014	36	2,3	2,0	1,1 - 3,5

otoño 2015	36	2,1	2,2	0,7 - 4,0
primavera 2015	11	2,4	2,0	0,8 - 4,0

Proporción sexual de *Samastacus spinifrons*

La Tabla 4.2.4.4 resume la proporción de hembras y machos de *S. spinifrons* capturados durante los muestreos realizados durante los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019.

La proporción machos / hembras fue bastante variable a través de los años y sin mayores tendencias espaciales.

Durante la campaña de otoño del año 2019, la mayor proporción de hembras se registró en los sectores Ciruelos y Pichoy (75,0 y 100,0 %, respectivamente) en comparación con los machos (M), cuyos mayor valor fue detectado en el río Calle Calle (45,9 %) (Tabla 4.2.4.4).

Durante la campaña de primavera, se observa que en el sector Ciruelos las hembras presentan mayor porcentaje (66,7%) que los machos (33,3%) (Tabla 4.2.4.4). Por el contrario el sector Punucapa presento una mayor proporción de machos por sobre las hembras (69,2% y 15,4%, respectivamente). Finalmente, en el río Calle Calle, las proporciones sexuales fueron bastante equilibradas, siendo la relación hembras: machos, solo un 10% mayor a favor de las hembras.

Tabla 4.2.4.4. Proporción sexual de los ejemplares de *Samastacus spinifrons* recolectados en el área de estudio durante el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. M: machos, H: hembras.

estaciones	campaña	N° total	M (%)	H (%)	M/H
Eje central río del río Cruces	otoño 2015	106	57,1	42,9	1,3
(área límnica)	primavera 2015	54	50,0	50,0	1,0
sector Ciruelos	otoño 2016	91	61,5	38,5	1,6
	primavera 2016	8	62,5	37,5	1,7
	otoño 2017	63	47,6	52,4	0,9
	primavera 2017	53	11,3	39,6	0,3
	otoño 2018	67	35,8	58,2	0,6
	primavera 2018	3	33,3	66,7	0,5
	otoño 2019	4	25,0	75,0	0,3
	primavera 2019	6	33,3	66,7	0,5
sector Rucaco	otoño 2015	37	50,0	50,0	1,0
	primavera 2015	32	31,3	68,7	0,5
	otoño 2016	79	45,6	51,9	0,9
	primavera 2016	0	0	0	0
	otoño 2017	27	44,4	55,6	0,8
	primavera 2017	11	27,3	72,7	0,4
	otoño 2018	80	40,5	55,0	0,7
	primavera 2018	SD	SD	SD	SD
	otoño 2019	0	0,0	0,0	0,0
	primavera 2019	2	0,0	100,0	0,0
Eje central del río Cruces	otoño 2015	34	52,9	47,1	1,1
(área estuarial)	primavera 2015	33	45,5	54,5	0,8
sector Punucapa	otoño 2016	46	58,7	41,3	1,4
	primavera 2016	12	58,3	41,7	1,4
	otoño 2017	51	62,7	37,3	1,7
	primavera 2017	30	16,7	56,7	0,3
	otoño 2018	27	70,4	29,6	2,4
	primavera 2018	SD	SD	SD	SD
	otoño 2019	SD	SD	SD	SD
	primavera 2019	13	69,2	15,4	4,5

estaciones	campaña	N° total	M (%)	H (%)	M/H
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)	otoño 2015	21	52,4	47,6	1,1
	primavera 2015	34	41,2	58,8	0,7
sector río Pichoy	otoño 2016	34	41,2	58,8	0,7
	primavera 2016	8	25,0	75,0	0,3
	otoño 2017	42	61,9	38,1	1,6
	primavera 2017	35	45,7	45,7	1,0
	otoño 2018	9	88,9	11,1	8,0
	primavera 2018	2	50,0	50,0	1,0
	otoño 2019	2	0,0	100,0	0,0
	primavera 2019	5	60,0	40,0	1,5
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2015	22	68,2	31,8	2,1
	primavera 2015	41	43,9	56,1	0,8
	otoño 2016	196	42,3	51,0	0,8
	primavera 2016	6	66,7	16,7	4,0
	otoño 2017	138	42,0	56,5	0,7
	primavera 2017	47	57,4	40,4	1,4
	otoño 2018	82	51,2	48,8	1,1
	primavera 2018	17	58,8	41,2	1,4
	otoño 2019	37	45,9	45,9	1,0
	primavera 2019	34	44,1	55,9	0,8

Elementos y compuestos químicos en *Samastacus spinifrons*

Metales pesados

Comparaciones en base a muestreos otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 en los sectores Ciruelos, Rucaco y río Calle Calle)

Las Tablas 4.2.4.5 a 4.2.4.7 y la Figura 4.2.4.11, muestran las concentraciones de metales pesados en ejemplares completos de *S. spinifrons* recolectados en los sectores de Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014 (Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC), 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 (Programa de Monitoreo Ambiental del HRC).

Durante todas las campañas, los metales pesados más comunes (*i.e.*, mayores concentraciones) fueron Hierro, Aluminio y Manganeso, respectivamente (Tabla 4.2.4.5 y Fig. 4.2.4.11). En la mayoría de las muestras obtenidas en Ciruelos y Rucaco, las concentraciones de Cadmio estuvieron bajo el límite de detección del método utilizado (Tabla 4.2.4.7). A fecha no se ha detectado Arsénico en los camarones recolectados en los tres sectores de estudio (Tabla 4.2.4.7 y Fig. 4.2.4.11).

Tabla 4.2.4.5. Concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso en tejidos de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle durante las campañas otoñales de los años 2014-2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis y aproximados a un decimal.

estaciones	**campaña**	**Hierro (µg g-1)**	**Aluminio (µg g-1)**	**Manganeso (µg g-1)**
Eje central río Cruces (área límnica) sector Ciruelos	otoño 2014	418,6 (14,9)	354,3 (13,9)	283,5 (0,4)
	otoño 2015	526,3 (0,7)	441,1 (14,4)	214,5 (4,0)
	otoño 2016	485,4 (11,0)	172,2 (16,9)	234,0 (1,9)
	otoño 2017	764,0 (42,0)	293,1 (44,2)	273,4 (3,5)
	otoño 2018	334,6 (1,6)	222,4 (23,3)	222,4 (7,5)
	otoño 2019	1107,2 (38,2)	291,2 (10,8)	370,2 (3,0)
sector Rucaco	otoño 2014	599,4 (30,6)	431,6 (10,5)	378,5 (0,1)
	otoño 2015	334,0 (13,9)	410,6 (21,6)	148,9 (0,5)
	otoño 2016	327,0 (22,6)	361,1 (28,3)	174,2 (2,5)
	otoño 2017	426,8 (0,8)	437,1 (22,4)	179,5 (2,2)
	otoño 2018	465,1 (23,0)	468,9 (36,0)	351,0 (0,9)
	otoño 2019	294,8 (9,7)	208,0 (5,7)	260,2 (0,2)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial) río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	619,1 (15,4)	275,5 (3,1)	261,1 (20,9)
	otoño 2015	497,6 (3,9)	328,2 (11,5)	230,7 (1,5)
	otoño 2016	593,3 (20,3)	288,0 (7,8)	158,5 (0,4)
	otoño 2017	488,0 (7,9)	270,3 (28,5)	94,3 (0,7)
	otoño 2018	483,9 (3,6)	188,8 (14,5)	228,5 (0,2)
	otoño 2019	547,5 (0,3)	207,4 (5,5)	231,0 (1,7)

Tabla 4.2.4.6. Concentraciones de Cobre, Zinc y Plomo en tejidos de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle durante las campañas otoñales de los años 2014-2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	**campaña**	**Cobre (µg g-1)**	**Zinc (µg g-1)**	**Plomo (µg g-1)**
Eje central del río Cruces	otoño 2014	66,5 (1,5)	95,3 (2,0)	0,03 (0,0)
(área límnica)	otoño 2015	73,2 (0,4)	116,4 (1,6)	*
sector Ciruelos	otoño 2016	50,6 (2,9)	88,3 (5,0)	0,02 (0,0)
	otoño 2017	75,5 (2,7)	103,3 (1,3)	0,07 (0,0)
	otoño 2018	73,2 (5,7)	97,2 (8,2)	0,07 (0,0)
	otoño 2019	49,9 (1,8)	81,6 (3,0)	0,02 (0,0)
sector Rucaco	otoño 2014	54,8 (2,7)	90,9 (3,5)	0,06 (0,0)
	otoño 2015	85,0 (1,8)	152,2 (1,9)	0,03
	otoño 2016	62,7 (2,7)	108,4 (2,6)	0,10 (0,0)
	otoño 2017	63,1 (0,4)	108,7 (1,5)	0,12 (0,0)
	otoño 2018	96,7 (3,0)	145,3 (2,8)	1,42 (0,15)
	otoño 2019	57,1 (0,3)	91,9 (0,4)	*
Fuera del humedal del río	otoño 2014	128,8 (7,9)	115,0 (3,3)	0,20 (0,0)
Cruces y sus ríos tributarios	otoño 2015	180,5 (0,9)	133,1 (1,5)	0,25 (0,0)
(área estuarial)	otoño 2016	107,6 (4,1)	99,5 (3,5)	0,10 (0,0)
río Calle Calle, sector	otoño 2017	122,4 (10,6)	101,9 (13,1)	0,26 (0,0)
Chumpullo	otoño 2018	166,7 (10,1)	119,8 (5,9)	0,34 (0,0)
	otoño 2019	97,6 (0,4)	98,4 (0,5)	0,10 (0,0)

Tabla 4.2.4.7. Concentraciones de Cadmio, Arsénico y Mercurio en tejidos de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	**campañas**	**Cadmio (µg g-1)**	**Arsénico (µg g-1)**	**Mercurio (µg g-1)**
Eje central del río Cruces	otoño 2014	0,208 (0,0)	*	0,080 (0,0)
(área límnica)	otoño 2015	*	*	0,107 (0,0)
sector Ciruelos	otoño 2016	*	*	0,088 (0,0)
	otoño 2017	*	*	0,093 (0,0)
	otoño 2018	*	*	0,120 (0,0)
	otoño 2019	*	*	0,082 (0,0)
sector Rucaco	otoño 2014	*	*	0,083 (0,0)
	otoño 2015	*	*	0,113 (0,0)
	otoño 2016	*	*	0,102 (0,0)
	otoño 2017	0,420 (0,0)	*	0,113 (0,0)
	otoño 2018	*	*	0,124 (0,0)
	otoño 2019	*	*	0,064 (0,0)
Fuera del humedal del río	otoño 2014	0,367 (0,0)	*	0,190 (0,0)
Cruces y sus ríos tributarios	otoño 2015	0,353 (0,0)	*	0,165 (0,0)
(área estuarial)	otoño 2016	*	*	0,132 (0,0)
río Calle Calle, sector	otoño 2017	*	*	0,096 (0,0)
Chumpullo	otoño 2018	*	*	0,150 (0,0)
	otoño 2019	*	*	0,131 (0,0)

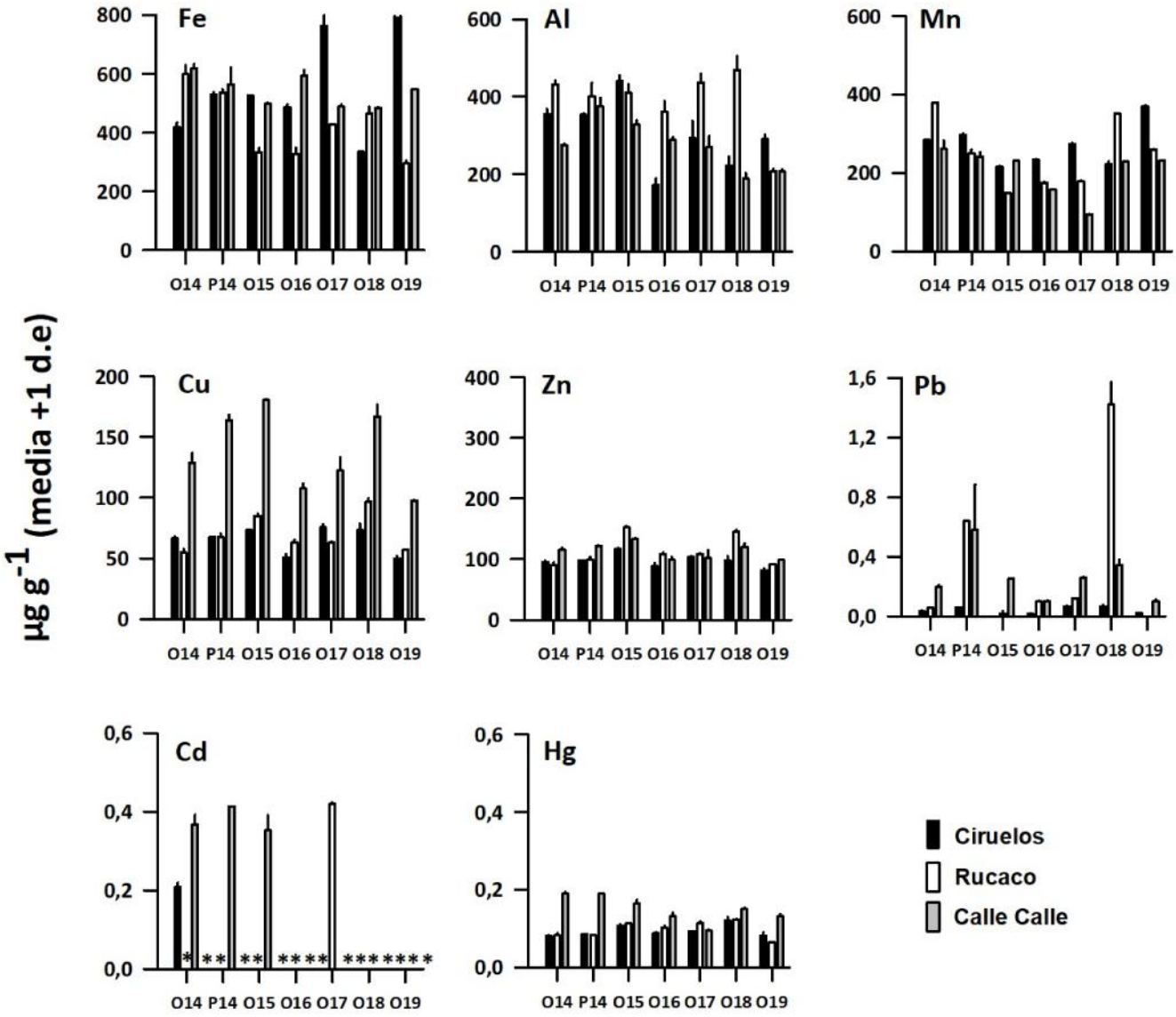


Figura 4.2.4.11. Concentración de metales pesados en especímenes de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con una desviación estándar. * = No detectado, *i.e*., bajo el límite de detección del método utilizado.

Análisis estadísticos

Los resultados de los análisis de ANDEVA factorial y test a posteriori de Tukey, llevados a cabo para comparar el efecto de los factores Año y Sector, en las concentraciones de metales pesados presentes en los tejidos de *Samastacus spinifrons*, se muestran en la Tabla 4.2.4.8. No se incluyó al Cadmio en estos análisis debido a que no ha sido detectado (*i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado).

Las concentraciones de Hierro, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en los camarones analizados durante los años 2017 y 2019 (Tabla 4.2.4.8). Por otra parte, las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en camarones recolectados en Ciruelos y Calle Calle que en camarones capturados en Rucaco (Tabla 4.2.4.8 y Fig. 4.2.4.11).

Las concentraciones de Aluminio, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en camarones analizados durante los años 2015, 2014 y 2017 y más bajas durante la campaña de otoño del año 2019 (Tabla 4.2.4.8). A su vez las concentraciones de este metal detectadas en camarones de Ciruelos, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las detectadas en los camarones de Rucaco y Calle Calle (Tabla 4.2.4.8 y Fig. 4.2.4.11).

Las concentraciones de Manganeso, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en camarones analizados durante el año 2019 que, en camarones estudiados durante los años anteriores (Tabla 4.2.4.8). Por otra parte, este metal presentó concentraciones significativamente más altas ($p<0,05$) en Ciruelos en relación a los camarones recolectados en los sectores Rucaco y Calle Calle (Tabla 4.2.4.8 y Fig. 4.2.4.11).

Las concentraciones de Cobre, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en camarones analizados durante los años 2015, 2017 y 2018 que, en camarones recolectados durante los años 2014, 2016 y 2019 (Tabla 4.2.4.8). Las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en camarones recolectados en Calle Calle que los individuos recolectadosen Ciruelos y Rucaco (Tabla 4.2.4.8 y Fig. 4.2.4.11).

Las concentraciones de Zinc, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en camarones analizados durante los años 2015 y 2018, que en camarones recolectados durante los otros años de muestreo (Tabla 4.2.4.8). En relación a las concentraciones de este metal por sectores, estas fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en camarones recolectados en el sector Calle Calle que en los camarones capturados en Ciruelos y Rucaco (Tabla 4.2.4.8 y Fig. 4.2.4.11).

Las concentraciones de Plomo, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2018 en comparación con los otros años de estudio. A si mismo las concentraciones de este metal, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en el el río Calle Calle versus los sectores de Ciruelos y Rucaco (Tabla 4.2.4.8 y Fig. 4.2.4.11).

Y finalmente las concentraciones de Mercurio, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en camarones analizados durante los años 2018 y 2015, que en camarones recolectados durante los años 2014, 2016 y 2017 y 2019 (Tabla 4.2.4.8), particularmente altas ($p<0,05$) en camarones recolectados en el río Calle Calleque en Ciruelos y Rucaco (Tabla 4.2.4.8 y Fig. 4.2.4.11).

Tabla 4.2.4.8. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de metales pesados registrados en ejemplares completos de *Samastacus spinifrons*. Los factores son Año de muestreo (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019) y Sector (Ciruelos o Ci, Rucaco o Ru y Calle Calle o CC). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba. Las comparaciones *a posteriori* deben interpretarse con cautela cuando la interacción AxS es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Fe (**)	Año (A)	5	208256,3	41651,2	114,0	**<0,001**	2019 > 2017 = 2014 >2016 = 2015=2018
	Sector (S)	2	243455,6	121727,8	333,3	**<0,001**	Ci > Ru > CC
	A × S	10	767046,6	76704,6	210,0	**<0,001**	
	Error	18	6572,0	365,113			
	Total	35	1225330,6	35009,4			
Al (**)	Año (A)	5	98759,6	19751,9	45,7	**<0,001**	2015 >2014 = 2017 >2018 = 2016>2019
	Sector (S)	2	101969,7	50984,8	118,1	**<0,001**	Ci > Ru= CC
	A × S	10	107902,8	10790,2	25,0	**<0,001**	
	Error	18	7766,4	431,4			
	Total	35	316398,7	9039,9			
Mn (***)	Año (A)	5	91393,9	18278,7	593,7	**<0,001**	2019>2014>2018 >2015 >2016=2017
	Sector (S)	2	27728,8	13864,4	450,3	**<0,001**	Ci > Ru> CC
	A × S	10	76391,4	7639,1	248,1	**<0,001**	
	Error	18	554,0	30,783			
	Total	35	196068,3	5601,9			
Cu (***)	Año (A)	5	26702,7	5340,5	18,2	**<0,001**	2015 = 2018= 2017>2016=2019 > 2014
	Sector (S)	2	37311,3	18655,6	63,6	**<0,001**	CC > Ru = Ci
	A × S	10	3957,0	395,7	1,34	**0,279**	
	Error	18	5279,7	293,3			
	Total	35	73250,9	2092,8			
Zn (**)	Año (A)	5	7744,1	1548,8	74,7	**<0,001**	2015 > 2018 >2017 = 2016= 2014=2019
	Sector (S)	2	2384,4	1192,2	57,5	**<0,001**	CC > Ci > Ru
	A × S	10	2611,0	261,1	12,5	**<0,001**	
	Error	18	373,0	20,7			
	Total	35	13112,7	374,6			
Pb (***)	Año (A)	5	5,816	1,163	64,27	**<0,001**	2018 >2014>2017>2015 > 2016 > 2019
	Sector (S)	2	4,619	2,310	127,6	**<0,001**	CC > Ci >Ru
	A × S	10	3,823	0,382	21,1	**<0,001**	
	Error	18	0,326	0,018			
	Total	35	14,584	0,417			

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Hg (**)	Año (A)	5	0,0070	0,00142	50,3	**<0,001**	2018 =2015 > 2014 > 2016 = 2017=2019
	Sector (S)	2	0,0173	0,00866	307,9	**<0,001**	CC > Ci >Ru
	A × S	10	0,0106	0,00106	37,6	**<0,001**	
	Error	18	0,0005	0,00002			
	Total	35	0,0355	0,00101			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a $\log_{10}$. (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

Compuestos orgánicos

Ácidos grasos, Ácidos resínicos y AOX

Comparaciones en base a muestreos otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 en los sectores Ciruelos, Rucaco y río Calle Calle.

La Tabla 4.2.4.13 y la Figura 4.2.4.13, muestran las concentraciones de Ácidos grasos y compuestos halogenados adsorbibles (AOX) en los especímenes de *S. spinifrons* recolectados en el área de estudio, durante las campañas otoñales de los años 2014 (Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC), 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 (Programa de Monitoreo Ambiental del HRC). A fecha no se han Ácidos resínicos en camarones recolectados del área de estudio. (Tabla 4.2.4.13).

Tabla 4.2.4.13. Concentraciones de Ácidos Grasos, Ácidos Resínicos y AOX en tejidos de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, para las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	**campañas**	**Ácidos grasos ($\mu g\ g^{-1}$)**	**Ácidos resínicos ($\mu g\ g^{-1}$)**	**AOX ($\mu g\ g^{-1}$)**
Eje central del río Cruces	otoño 2014	1393,3 (171,1)	*	170,1 (16,8)
(área límnica)	otoño 2015	2140,9 (150,6)	*	139,0 (21,7)
sector Ciruelos	otoño 2016	1426,3 (55,0)	*	126,7 (13,0)
	otoño 2017	965,8 (86,5)	*	136,9 (23,0)
	otoño 2018	674,7 (62,7)	*	150,8 (8,8)
	otoño 2019	418,6 (62,7)	*	208,6 (21,8)
sector Rucaco	otoño 2014	1785,6 (40,0)	*	154,7 (5,2)
	otoño 2015	2150,6 (75,3)	*	123,1 (14,9)
	otoño 2016	1506,2 (65,6)	*	107,8 (17,5)
	otoño 2017	1054,9 (127,0)	*	129,8 (9,1)
	otoño 2018	880,8 (340,5)	*	138,2 (11,5)
	otoño 2019	720,2 (215,0)	*	127,0 (8,7)
Fuera del humedal del río	otoño 2014	1035,8 (67,2)	*	234,0 (23,7)
Cruces y sus ríos	otoño 2015	2220,5 (74,8)	*	123,6 (10,5)
tributarios	otoño 2016	1398,6 (190,5)	*	215,8 (1,2)
(área estuarial)	otoño 2017	1359,9 (60,2)	*	142,4 (12,1)
río Calle Calle, sector	otoño 2018	692,2 (64,3)	*	168,2 (21,9)
Chumpullo	otoño 2019	1363,0 (121,2)	*	176,7 (15,5)

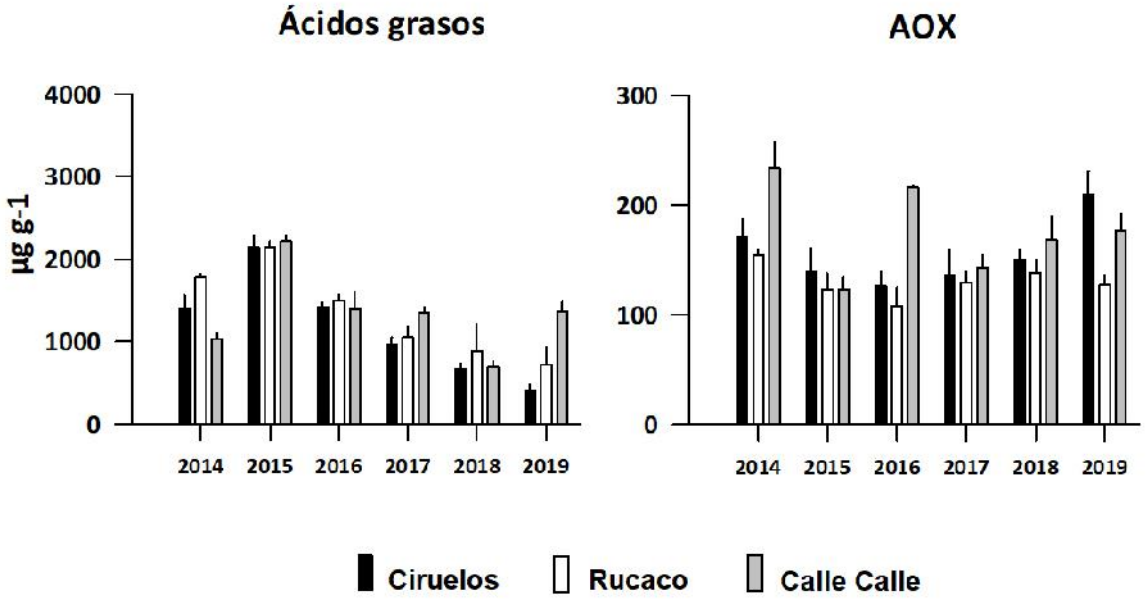


Figura 4.2.4.13. Concentración de Ácidos grasos y compuestos halogenados adsorbibles (AOX) en especímenes de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con una desviación estándar.

Análisis estadísticos

Los resultados de los análisis de ANDEVA factorial y test *a posteriori* de Tukey, llevados a cabo para comparar el efecto de los factores Año y Sector, indican que las concentraciones de Ácidos grasos presentes en los tejidos de *Samastacus spinifrons*, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2015 (Tabla 4.2.4.14). A su vez, estos analisis muestran que las concentraciones de este compuesto registrados en camarones del río Calle Calle fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las detectadas en camarones de los sectores de Ciruelos y Rucaco (Tabla 4.2.4.14 y Fig. 4.2.4.13).

Por otra parte las concentraciones de AOX, muestran que estas fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en camarones recolectados durante los años 2014, 2016 y 2019 en comparación con aquellas de los años 2015, 2017, y 2018 (Tabla 4.2.4.14 y Fig. 4.2.4.13). A si mismo las concentraciones de AOX registradas en *Samastacus spinifrons*

del sector Ciruelos fueron significativamente más altas (p<0,05) que las detectadas en los sectores Rucaco y Calle calle, (Tabla 4.2.4.14 y Fig. 4.2.4.13)

Tabla 4.2.4.14. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de Ácidos grasos y AOX registrados en ejemplares completos de *Samastacus spinifrons*. Los factores son Año de muestreo (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019) y Sector (Ciruelos o Ci, Rucaco o Ru y Calle Calle o CC). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba. Las comparaciones *a posteriori* deben interpretarse con cautela cuando la interacción AxS es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Ácidos Grasos (**)	Año (A)	5	8036383,8	1607276,7	87,839	**<0,001**	2015 >2016 =2014 >2017>2019=2019
	Sector (S)	2	251927,3	125963,6	6,884	0,006	CC > Ru > Ci
	A x S	10	1484621,8	148462,1	8,114	**<0,001**	
	Error	18	329364,4	18298,0			
	Total	35	10102297,4	288637,0			
AOX (**)	Año (A)	4	13792,5	2758,5	11,321	**<0,001**	2014 =2019=2016 >2018 =2017=2015
	Sector (S)	2	13121,1	6560,5	26,926	**<0,001**	Ci > CC > Ru
	A x S	10	15429,1	1542,9	6,332	**<0,001**	
	Error	18	4385,7	243,6			
	Total	35	46728,6	1335,1			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = Razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a $\log_{10}$. (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***). No cumple supuestos de ANDEVA.

Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos

Comparaciones en base a muestreos otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 en los sectores Ciruelos, Rucaco y río Calle Calle.

La Tabla 4.2.4.17 y la Figura 4.2.4.15 muestran las concentraciones de Dioxinas, Furanos y sus Equivalentes Tóxicos (EQTs) en especímenes de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle durante las campañas otoñales de los años 204, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019.

En términos generales, durante el año 2019 las Dioxinas detectadas en camarones recolectados en Ciruelos, disminuyeron su concentracion, caso contrario ocurrio en el río

Calle Calle, donde estas aumentaron. Las concentraciones de Furanos disminuyeron en el sector Ciruelos, pero aumentaron en los sectores Rucaco y Calle Calle. Por otra parte los Equivalentes Tóxicos (EQTs) disminuyeron en el sector Ciruelos y aumentaron en el sector Calle Calle, Rucaco no presento variabilidad en las concentraciones de este compuesto (Tabla 4.2.4.17 y la Figura 4.2.4.15).

Tabla 4.2.4.17. Concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs en tejidos de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	campañas	Dioxinas (ng g^{-1})	Furanos (ng g^{-1})	EQTs (ng g^{-1})
Eje central del río Cruces (área límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	0,00050 (0,0001414)	0,00020 (0,0001414)	0,000007 (0,0000070)
	otoño 2015	0,00035 (0,0000707)	0,00045 (0,0002121)	0,000094 (0,0000685)
	otoño 2016	0,00385 (0,0024750)	0,00105 (0,0003534)	0,000318 (0,0000309)
	otoño 2017	0,00089 (0,0001366)	0,00021 (0,0001530)	0,000021 (0,0000133)
	otoño 2018	0,00137 (0,0000947)	0,00039 (0,0000975)	0,000042 (0,0000027)
	otoño 2019	0,00081 (0,0000924)	0,00007 (0,0000077)	0,000010 (0,0000000)
sector Rucaco	otoño 2014	0,00075 (0,0002121)	0,00055 (0,0006364)	0,000052 (0,0000545)
	otoño 2015	0,00085 (0,0004950)	0,00130 (0,0001414)	0,000097 (0,0000234)
	otoño 2016	0,90505 (1,2793683)	0,00300 (0,0011314)	0,090314 (0,1276738)
	otoño 2017	0,00021 (0,0000680)	0,00014 (0,0000204)	0,000015 (0,0000023)
	otoño 2018	0,00101 (0,0001061)	0,00022 (0,0000179)	0,000030 (0,0000058)
	otoño 2019	0,00088 (0,0000006)	0,00078 (0,0000005)	0,000031 (0,0000000)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	0,15015 (0,2119199)	0,15015 (0,2119199)	0,018786 (0,0265468)
	otoño 2015	0,00025 (0,0000707)	0,00090 (0,0001414)	0,000068 (0,0000113)
	otoño 2016	0,00020 (0,0000000)	0,00125 (0,0007778)	0,000041 (0,0000050)
	otoño 2017	0,00067 (0,0000091)	0,00043 (0,0000395)	0,000052 (0,0000037)
	otoño 2018	0,00047 (0,0000698)	0,00038 (0,0000341)	0,000097 (0,0000069)
	otoño 2019	0,00324 (0,0002388)	0,00204 (0,0010432)	0,000259 (0,0001825)

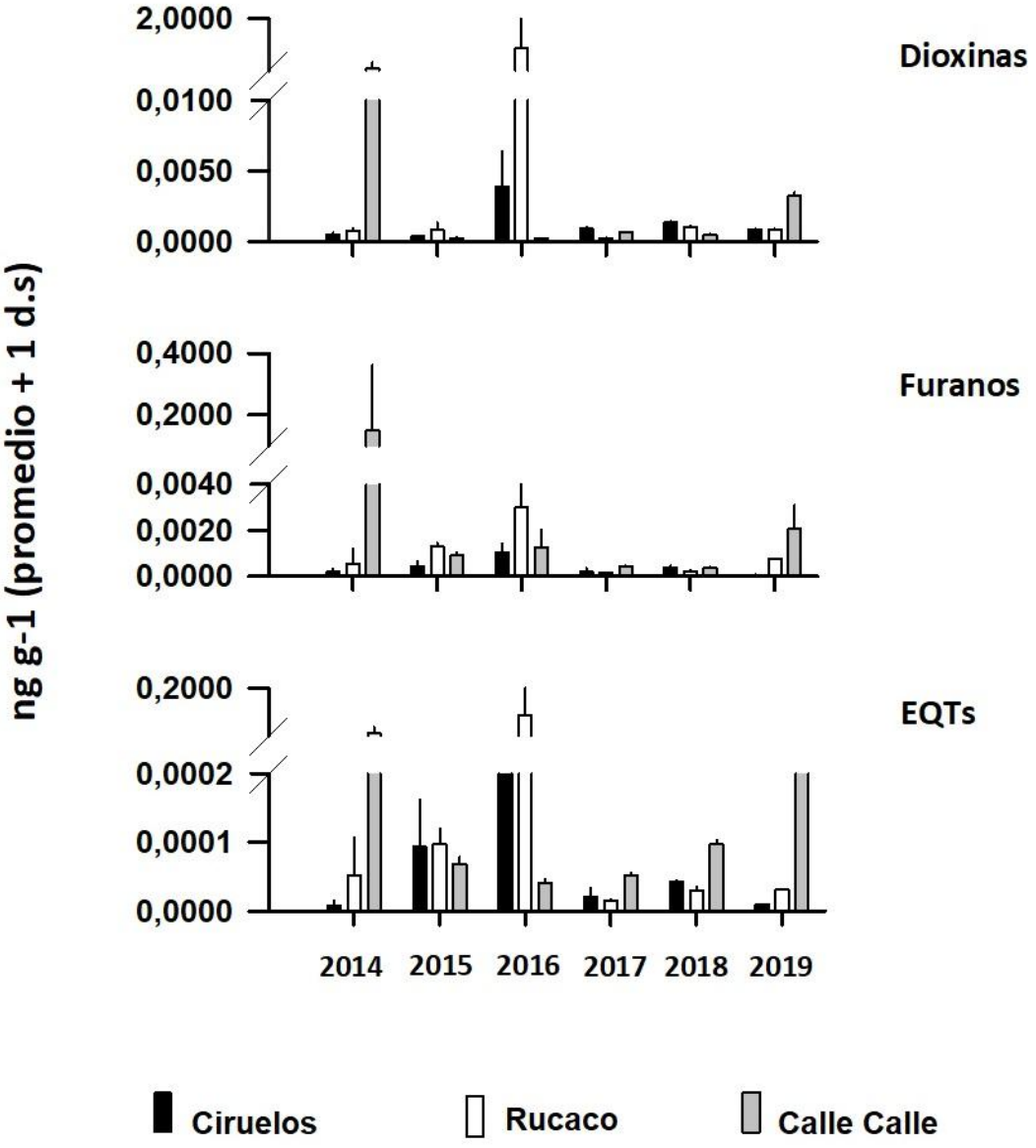


Figura 4.2.4.15. Concentración de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos (ETQs) en especímnes de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con una desviación estándar.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.2.4.18, muestra los resultados del ANDEVA factorial utilizado para evaluar el efecto de los factores Año y Sector en las concentraciones de Dioxinas, Furanos y equivalentes tóxicos (EQTs) en los tejidos de *Samastacus spinifrons.* No se detectaron diferencias significativas (p>0,05) en las concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs entre años y sectores (Tabla 4.2.4.18).

Tabla 4.2.4.18. Resumen de ANDEVA Factorial para evaluar diferencias en las concentraciones de Dioxinas, Furanos y registradas en ejemplares completos de *Samastacus spinifrons*. Los factores son Año de muestreo (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019) y Sector (Ciruelos o Ci, Rucaco o Ru y Calle Calle o CC). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P
Dioxinas (***)	Año (A)	5	0,439	0,0877	0,939	0,479
	Sector (S)	2	0,156	0,0779	0,833	0,451
	A × S	10	0,961	0,0961	1,029	0,459
	Error	18	1,682	0,0934		
	Total	35	3,238	0,0925		
Furanos (***)	Año (A)	5	0,0122	0,0024	0,981	0,456
	Sector (S)	2	0,0050	0,0025	1,015	0,382
	A × S	10	0,0249	0,0024	0,996	0,481
	Error	18	0,0449	0,0025		
	Total	35	0,0871	0,0024		
EQTs (***)	Año (A)	5	0,00437	0,0008	0,924	0,488
	Sector (S)	2	0,00150	0,0007	0,796	0,466
	A x S	10	0,00980	0,0009	1,037	0,453
	Error	18	0,0170	0,0009		
	Total	35	0,0327	0,0009		

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados $\log_{10}$ o raíz cuadrada; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PCDD

Comparaciones en base a muestreos otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 en los sectores Ciruelos, Rucaco y río Calle Calle.

La Tabla 4.2.4.21 y Figura 4.2.4.17 muestran las concentraciones de las Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PCDD en los tejidos de *Samastacus spinifrons.* Ambas dioxinas sólo se detectaron en los sectores de Ciruelos y Rucaco durante las campañas otoñales de los años 2015 y 2016. Sin embargo, en los años 2018 y 2019 se observa la presencia de Dioxina 2.3.7.8-TCDD en el río Calle Calle. Debido a la escasez de datos en relación a años y sectores, no se realizaron análisis estadísticos.

Tabla 4.2.4.21. Concentración de Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PCDD en especímenes de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con una desviación estándar. ***** = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	**campañas**	**2.3.7.8-TCDD (ng g^{-1})**	**1.2.3.7.8-PCDD (ng g^{-1})**
Eje central del río Cruces (área límnico)			
sector Ciruelos	otoño 2014	*	*
	otoño 2015	*	0,00005 (0,0)
	otoño 2016	0,00010 (0,0)	0,00010 (0,0)
	otoño 2017	*	*
	otoño 2018	*	*
	otoño 2019	*	*
sector Rucaco	otoño 2014	*	*
	otoño 2015	*	*
	otoño 2016	0,00005 (0,0)	0,00010 (0,0)
	otoño 2017	*	*
	otoño 2018	*	*
	otoño 2019	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)			
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	*	*
	otoño 2015	*	*
	otoño 2016	*	*
	otoño 2017	*	*
	otoño 2018	0,00006 (0,0)	*
	otoño 2019	0,00010 (0,0)	*

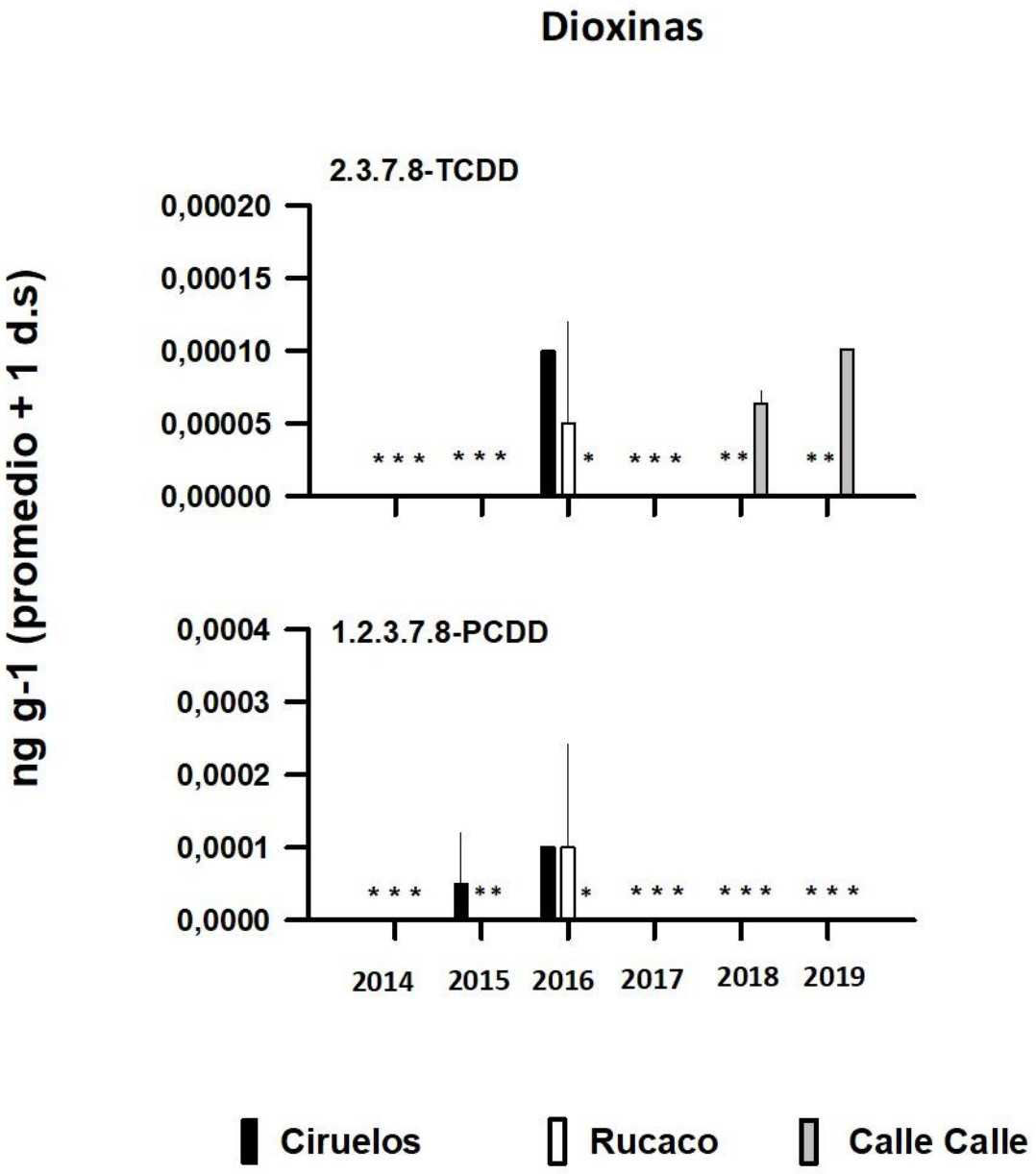


Figura 4.2.4.17. Concentración de Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PCDD en especímenes de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores son promedios con una desviación estándar. ***** = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

4.2.4.5. Conclusiones

- La comparación de los datos interanuales (2014-2019), muestran que la abundancia de *Samastacus spinifrons* ha disminuido en los sectores de Ciruelo, Rucaco y Pichoy, pero solo los sectores Ciruelos y Pichoy muestran significancia estadística (p=0,011; p=0,002, respectivamente) tendencia debido probablemente a modificaciones de las riberas para construcción de caminos o una afectación por esfuerzo pesquero, lo que nos demuestra que esta especie no es un buen indicador para un seguimiento a largo plazo . El sector de río Calle Calle muestra abundancias variables, tanto entre las campañas de otoño y primavera. En este mismo sector el año 2019, la campaña de otoño disminuyó y en primavera se observa un aumento de la abundancia.
- La abundancia de *Parastacus nicoleti*, no muestra mayor variabilidad interanual (2015-2019) en los sectores de San Luis, Santa Clara y Chancoyán.
- La proporción machos / hembras en *Samastacus spinifrons* ha sido bastante variable a través de los años y sin mayores tendencias espaciales. Durante el año 2019 se obtuvo 100% de hembras en los sectores Rucaco y Pichoy, pero el numero de camarones recolectados fue bajo (n=2).
- Los metales pesados más abundantes detectados a la fecha en tejidos de *Samastacus spinifrons* han sido Hierro, Aluminio y Manganeso.
- No se ha detectado Arsénico en los camarones recolectados en el área de estudio. En términos generales, no se han detectado tendencias espaciales en cuando a concentraciones de estos elementos.
- Las concentraciones de AOX, muestran que estas fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante los años 2014, 2016 y 2019 en comparación con aquellas de los años 2015, 2017 y 2018. Se determinó que las concentraciones de AOX en *Samastacus spinifrons* del sector Ciruelos fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las de los camarones recolectados en los sectores de Rucaco y Calle calle.
- No se han detectado Ácidos resínicos en los camarones recolectados en todos los sectores y fechas de muestreo.

- Las concentraciones de Dioxinas, Furanos y equivalentes tóxicos (EQTs) en los tejidos de *Samastacus spinifrons*, no han diferido significativamente (p>0,05), entre los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 ni entre los sectores Ciruelos, Rucaco y río Calle Calle.
- Antecentes anteriores señalan que ambas concentraciones de Dioxinas (2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PCDD) sólo se detectaron en los sectores de Ciruelos y Rucaco durante las campañas otoñales de los años 2015 y 2016. Sin embargo, en el año 2018 y 2019 se observó la presencia de concentración de Dioxina 2.3.7.8-TCDD en el río Calle Calle, sector Chumpullo.

4.2.4.6. Referencias

Corales, E.S., R.A. Figueroa. 1999. Observaciones sobre la dieta del huairavo (Nycticorax nycticorax) en el sur de Chile. IV Congreso Nacional de Ornitología y VI Encuentro Nacional de Ornitólogos. Antofagasta.

Dalannais, R. 1984. Contribución al conocimiento de la biología y ecología del camarón de vega Parastacus pugnax (Poeppig) (Crustacea, Parastacidae) en la zona de Talcahuano. Seminario de título, Pontificia Universidad Católica de Chile, Sede Talcahuano, 37 pp.

Figueroa, R., E. Corales. 1997. Dieta de la garza grande (Casmerodius albus) durante el período de crianza en agroecosistemas del sur de Chile. III Congreso Chileno de Ornitología. Santiago.

Franco, M., G. Guevara, L. Correa, M. Soto-Gamboa. 2013. Trophic interactions of the endangered Southern river otter (Lontra provocax) in a Chilean Ramsar wetland inferred from prey sampling, fecal analysis, and stable isotopes. Naturwissenschaften 100: 299-310.

Medina, G. 1997. A comparison of the diet and distribution of southern river otter (Lutra provocax) and mink (Mustela vison) in southern Chile. Journal of Zoology 242:291-297.

Rudolph, E. 1984. Perspectivas del cultivo de camarones de agua dulce en Chile. Memorias de la Asociación Latinoamericana Acuicultura 5: 769-773.

Rudolph, E.H. 2002. New records of intersexuality in the freshwater crayfish Samastacus spinifrons (Decapoda, Parastacidae). Journal of Crustacean Biology 22: 377-389.

Rudolph, E. 2010. Sobre la distribución geográfica de las especies chilenas de Parastacidae (Crustacea: Decapoda: Astacidea). Boletín de Biodiversidad de Chile 3: 32-46.

Sharma, M.P., S. Sharma, V. Goel, P. Sharma, A. Kumar. 2006. Water quality assessment of Behta River using benthic macroinvertebrates. Life Science Journal 3: 68-74.

Suárez-Serrano, A., C. Alcaraz, C. Ibañez, R. Trobajo, C. Barata. 2010. Procambarus clarkii as a bioindicator of heavy metal pollution sources in the lower Ebro River and Delta. Ecotoxicology and Environmental Safety 73: 280-286.

Webb, D. 2011. Freshwater shrimp (Palaemonetes australis) as a potential bioindicator of crustacean health. Environmental Monitoring and Assessment 178:537-544.

4.2.5. ICTIOFAUNA

4.2.5.1. Antecedentes

La ictiofauna chilena se caracteriza por estar constituida de una riqueza moderada de especies en relación a otras áreas de Sudamérica y por un alto grado de endemismo (Vila *et al.,* 1999; Dyer, 2000; Habit *et al*., 2006), mostrando los peces de aguas continentales un claro patrón de incremento en el número de especies presentes desde los extremos norte y sur hacia la zona centro sur (Vila *et al*., 1999). De acuerdo a la fauna de peces de agua dulce que habita en Chile, Dyer (2000) definió tres provincias biogeográficas: Atacameña, Chilena y Patagónica, siendo la segunda la que contiene mayor diversidad, de manera que las cuencas hidrográficas con mayor número de especies nativas son aquellas ubicadas entre los ríos Itata (Región del Bio Bío) y Bueno (Región de los Ríos), tramo en el que se ubica el área de estudio incluida en este Programa de Monitoreo Ambiental.

El humedal del río Cruces (HRC) y sus ríos tributarios, posee un número importante de especies de peces nativas e introducidas (Arismendi & Penaluna, 2009; Habit *et al.,* 2006; http://ceachile.cl/Cruces/Fauna.htm#peces). Estas especies requieren de hábitats como los presentes en este humedal para su desarrollo temprano, dado que allí encuentran abundante material orgánico particulado el cual es arrastrado por el río y termina por depositarse en los fondos del mismo. Los juveniles de esas especies encuentran en ese material, el alimento imprescindible para su desarrollo pues éste contiene proteínas, grasas, minerales, hidratos de carbono y otras sustancias básicas para la nutrición, crecimiento y desarrollo de los mismos. Alguno de estos peces son habitantes permanentes del HRC, mientras que otros son transitorios; debido a lo mismo, estos vertebrados acuáticos constituyen bioindicadores apropiados para evaluar el estado ambiental de este tipo de ambiente acuático, ya que interactúan con todos los elementos abióticos y bióticos del ecosistema.

Los peces han sido utilizados como indicadores de la calidad del agua en diversos países (Aguilar, 2005; Velázquez-Velázquez & Vega-Candejas, 2004) y han sido considerados

como un vector de comunicación útil para sensibilizar al público y a las autoridades sobre la necesidad de preservar la calidad de ríos y lagos (Cowx & Collares Pereira, 2002). Debido a lo anterior, la caracterización de la ictiofauna de cualquier cuerpo acuático es importante, porque la misma es una buena herramienta de ayuda para la toma de decisiones en materia ambiental (Boulton, 1999) y puede ser utilizada en la confección de índices de la calidad del medio acuático (*e.g.*, Soto Galera *et al.*, 1998; Kestemont *et al.*, 2000; McDowall & Taylor, 2000; Oberdorff *et al.*, 2002), para identificar diversos niveles de degradación ambiental (Faush *et al.*, 1990; Scott & Hall, 1997; Wichert & Rapport, 1998), así como para definir el éxito de restauración de los ecosistemas acuáticos (Paller *et al.*, 2000).

La ventaja de utilizar a los peces para evaluar la calidad ambiental de un cuerpo acuático, radica en el hecho de que estos vertebrados acuáticos son organismos relativamente fáciles de identificar y manipular (Aguilar, 2005); más aún, la respuesta societaria a conceptos como integridad biótica o estado ambiental de un ecosistema, es más rápida o fluida cuando se mencionan los peces como sujetos de estudio que cuando se utilizan por ejemplo, organismos del plancton o invertebrados acuáticos (Davis, 1995).

Una forma de evaluar cómo los cambios en la calidad de agua, afectan la estructura comunitaria de la ictiofanua, es a través de estudios de índices que entregan información sobre la riqueza de especies, diversidad y abundancias poblacionales de la misma. Esto permite conocer el comportamiento de una comunidad íctica (qué especies están presentes y en qué abundancias) y la "calidad" de un hábitat; asimismo, el efecto de diversos fenómenos ambientales (*e.g.,* sequías, inundaciones) pueden explicarse a través de la evaluación de la presencia o ausencia de especies indicadoras de peces (Chediack, 2009). Por consiguiente, un monitoreo espacio - temporal de la ictiofauna es una aproximación adecuada para analizar la dinámica de los ecosistemas, ya que, por ejemplo, el efecto de las fluctuaciones de los componentes abióticos de los mismos, resulta en disminución en las abundancias de especies sensibles a cambios en calidad de agua (Wang *et al.,* 2000; Vila-Gispert *et al.*, 2002).

Por otra parte, los cambios en la calidad del agua pueden resultar en consecuencias significativas para el estado sanitario de la ictiofauna; consecuentemente, el análisis de la salud de la misma es de importancia relevante, ya que permite evaluar la eventual presencia de agentes patógenos asociados a cambios en la estructura macro y microscópica de órganos y tejidos de los peces. Esto último permite establecer el estado de salud o enfermedad en las poblaciones naturales, como también deformaciones y trastornos de la reproducción. Del mismo modo, los cambios microscópicos de los tejidos pueden asociarse a la presencia de sustancias tóxicas, resultantes de productos exógenos introducidos en la columna de agua. Adicionalmente, estos productos impactan la capacidad de los peces para responder defensivamente a los patógenos, por lo que la medición de la respuesta defensiva, se constituye en una herramienta para determinar su estado de salud.

Algunos productos exógenos pueden ser transportados a grandes distancias por las corrientes atmosféricas y el agua, afectando la calidad de los ambientes acuáticos impactados. Tales productos tienden a acumularse en los tejidos grasos de los animales, ya que por lo general son sustancias lipofílicas (Spacie *et al*., 1979). Esto resulta particularmente importante en los organismos bentónicos de los ecosistemas acuáticos, los que pueden absorber las partículas en suspensión de la columna del agua, bioacumulando ese tipo de productos. Posteriormente, depredadores como peces bentófagos podrían biomagnificar las concentraciones de estos compuestos. Tal es así, que los análisis de concentraciones de metales en especies de peces especialmente seleccionadas, compuestos orgánicos persistentes y evaluación de la eventual presencia de Dioxinas y Furanos, son relevantes, ya que permiten evaluar la eventual biomagnificación de tales elementos y compuestos en los mismos.

Con el objetivo de analizar la variabilidad espacio temporal de la ictiofauna de las riberas del HRC y sus ríos tributarios, se realizaron muestreos durante el otoño y la primavera del año 2019; este Informe corresponde al quinto año del Programa de Monitoreo Ambiental HRC (abril 2019 - marzo 2020). Esta información se comparó con los resultados de estudios realizados durante el primer, segundo, tercer y cuarto año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2015 - marzo 2016, abril 2016 - marzo

2017, abril 2017- marzo 2018, abril 2018 - marzo 2019, respectivamente) y del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (abril 2014 - marzo 2015). Se analizaron además las concentraciones de elementos, compuestos químicos seleccionados y el estado sanitario de *Galaxias maculatus* (Puye), el pez más común o representativo de las riberas del HRC. Los resultados de tales análisis también se comparan con resultados de estudios anteriores realizados en el mismo humedal.

4.2.5.2. Objetivos

- Estimar la diversidad y abundancia de los peces de las riberas del HRC
- Analizar los tamaños corporales del Puye.
- Analizar las concentraciones de metales pesados (Hierro, Aluminio, Manganeso, Cobre, Zinc, Plomo, Cadmio, Arsénico y Mercurio) en tejidos corporales de Puye obtenidos durante el período de otoño.
- Evaluar las concentraciones de compuestos orgánicos persistentes, incluyendo Ácidos grasos, Ácidos resínicos, AOX, Dioxinas y Furanos en tejidos corporales de Puye obtenidos durante el período de otoño.
- Evaluar la presencia de eventuales enfermedades infecto-contagiosas (de origen bacteriano, viral, parasitario o micótico) y de agentes patógenos y/o potencialmente patógenos en Puye.
- Obtener preparaciones histológicas de tejidos de Puyes para estudios histopatológicos en diferentes órganos de esta especie.
- Comparar los resultados obtenidos durante los cuatro primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (otoño y primavera de los años 2015 al 2019), con los del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (otoño y primavera 2014).

4.2.5.3. Material y métodos

Obtención de las muestras en las riberas de los sitios de estudio

Durante abril y mayo se procedió a realizar muestreos correspondientes a la campaña de otoño del año 2019, a la vez que durante noviembre y diciembre del mismo año se realizó la campaña de primavera. Durante ambas estaciones se realizaron campañas de pesca en seis sitios de muestreo: Ciruelos, Rucaco y Punucapa en el eje central del río Cruces, ríos Pichoy y Cayumapu (sector interior) y río Calle Calle (sector Chumpullo) ver Fig. 4.2.5.1. Durante la campaña de primavera del año 2018, no se obtivieron muestras en los sectores de Punucapa y río Cayumapu debido a problemas técnicos con el equipo de pesca eléctrica.

Para realizar esta actividad se utilizó un equipo de pesca electrica EFKO-Elektrofischfanggeräte GMBH, Typ FEG 1500, con el cual se recorrio a lo largo de cuatro secciones de aproximadamente 15 m y ubicadas aleatoriamente en las riberas de cada sitio de muestreo (durante el año 2014 el número de secciones estudiadas fueron tres). El tiempo de trabajo en cada sección fue de aproximadamente 10 minutos, a la vez que la profundidad de captura no excedió el metro de profundidad. Los peces recolectados se guardaron en bolsas Ziploc©, para luego realizar su identificación taxonómica y recuento de especímenes en el laboratorio.

Análisis taxonómicos

La identificación taxonómica de los peces capturados se realizó en base a su morfología externa, considerando los estudios de Arratia (1981, 1987), Campos (1982, 1984), Campos & Gavilán (1996), Campos *et al*., (1993), Dyer (1997), Pequeño (1981), Ruiz & Marchant (2004) y Arismedi & Penaluna (2009).

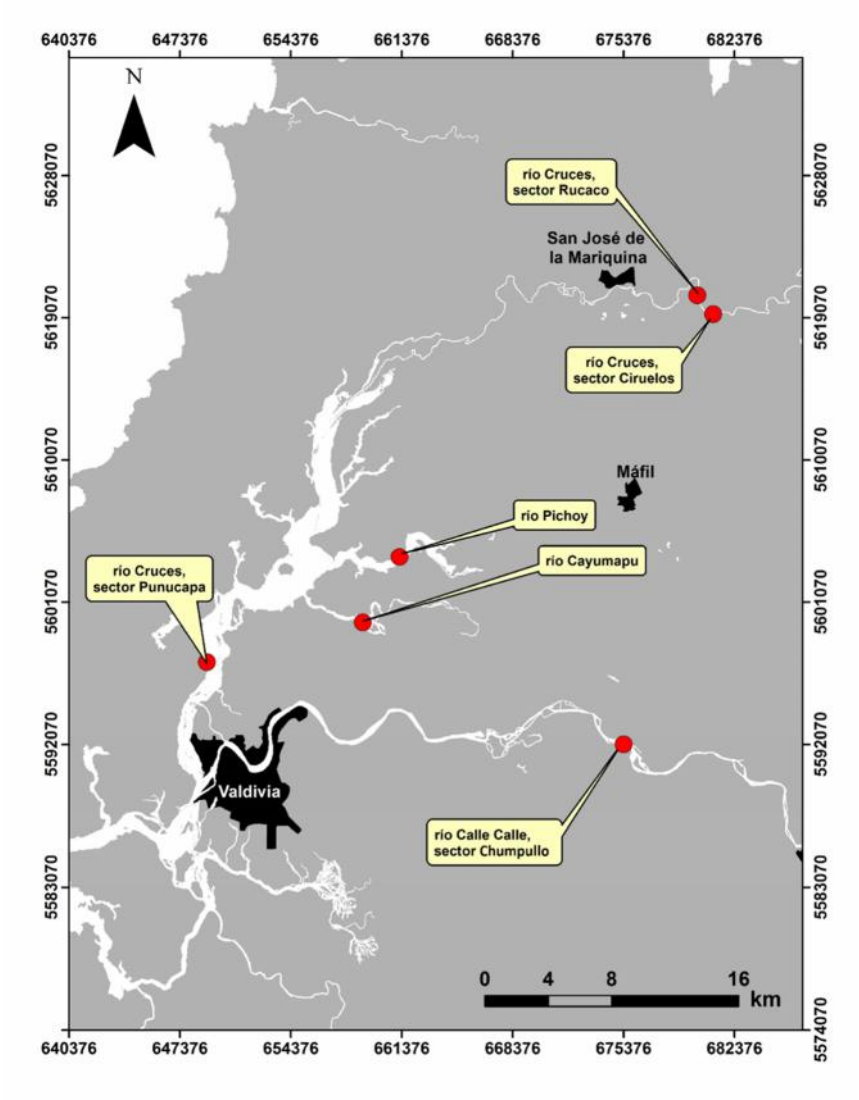


Figura 4.2.5.1. Ubicación de los sitios de muestreo seleccionados para los estudios de la ictiofauna ribereña del área de estudio.

Abundancias e índices comunitarios de la ictiofauna

Los datos de abundancia fueron promediados para realizar análisis de estructura comunitaria de la ictiofauna. Se estimaron, además, las abundancias de las dos especies más representativas de las riberas del área de estudio: el Puye y la Gambusia (ver resultados del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC).

De igual manera los datos de abundancia se utilizaron para efectuar cálculos de índices de diversidad mediante el uso del paquete estadístico PRIMER 6.0 (Clarke & Gorley, 2001). En particular, se efectuaron los siguientes cálculos utilizándose el menú DIVERSE de este "software":

- Índice de diversidad de Shannon-Wiener: H' = - Σipi (log pi), en donde pi es la proporción del número total de individuos que aparece representada en la especie i. El índice permite obtener un indicador (H') de la relación entre el número de especies y sus respectivas abundancias numéricas dentro de la comunidad (Magurran & Magurran, 1988). Para todos los cálculos efectuados en este estudio, se utilizó Log en base 10.
- Índice de uniformidad de Pielou: J = H' (observado) / H' (máxima), en donde H' (máxima) es la diversidad máxima posible, que se podría obtener si todas las especies tuvieran los mismos valores de abundancia. El índice representa la uniformidad (equitatividad) en la distribución numérica entre las diferentes especies del conjunto estudiado en cada período de muestreo.

Estimaciones de tamaño corporal del Puye (*Galaxias maculatus*)

Se análizaron especímenes de la especie numéricamente dominante *Galaxias maculatus*, donde se les midió la longitud total (distancia entre el extremo del hocico y el extremo distal de la aleta caudal) ver Fig. 4.2.5.2.

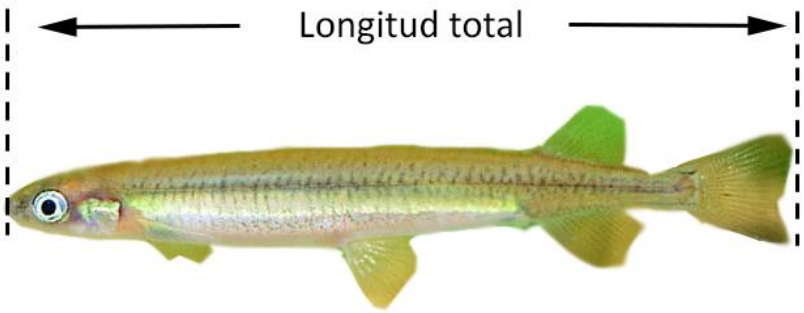


Figura 4.2.5.2. Mediciones de longitud total realizadas en los especímenes de peces recolectados en este estudio. Estas se indican sobre el esquema del Puye (*Galaxias maculatus*).

Análisis de metales pesados y compuestos orgánicos

Debido a la necesidad de contar con una biomasa adecuada para realizar los análisis químicos, se trabajó con ejemplares completos de Puye. Los tejidos obtenidos se lavaron con abundante agua desionizada, se sonicaron para eliminar los restos de sedimento que pudieran haber quedado adheridos a los mismos y luego se secaron por liofilización; posteriormente, se pulverizaron los tejidos así tratados.

Las muestras así preparadas para análisis de metales pesados, se atacaron mediante digestión ácida en microonda para posteriormente ser analizadas por Espectroscopía de Absorción Atómica de Llama. Debido a la conocida baja concentración de Plomo en esta matriz, los análisis para cuantificar la concentración de este elemento en particular, se realizaron con ICP-MS y/o Espectroscopía de Absorción Atómica con horno de grafito. Las muestras para análisis de AOX se analizaron mediante titulación microcoulombimétrica (Norma Europea EN ISO 9562 y EN 1485, respectivamente), luego de la adsorción de los compuestos halogenados en carbón activado y extracción con un solvente, respectivamente.

Las muestras para análisis de Dioxinas y Furanos durante los años 2014 y 2015 fueron analizadas en los laboratorios Marschwood Scientific Service (Inglaterra), mediante Cromatografía Gaseosa de Alta Resolución-Espectrometría de Masa de Alta Resolución (HRGC-HRMS), de acuerdo al método EPA 1613. A partir del año 2016 las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Oceanografia Quimica (LOQ) de la Universidad de Concepción.

Evaluación del estado sanitario

Los puyes capturados durante la campaña de otoño se estudiaron en el Laboratorio de Biotecnología y Patología Acuática, Laboratorio de Anatomía Patológica y Laboratorio de Parasitología del Instituto de Patología Animal de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Austral de Chile.

A cada grupo de peces muestreado e ingresado al Laboratorio, se le asignó un n° de caso, con fecha de ingreso, identificación de la especie y número de especímenes recolectados. Se realizó un examen clínico y necropsia de cada pez, con determinación del peso húmedo y longitud, condición gonádica y toma de muestras de tejidos para análisis de laboratorio (bacteriología, virología y parasitología) por grupo de muestreo y tomando nota de toda anormalidad clínica en una ficha de necropsia. Aparte de lo anterior, se obtuvieron muestras de tejidos para análisis histopatológicos. Todos los procedimientos e instructivos están normalizados y forman parte del SOP (“Standard Operational Procedures”) del Laboratorio de Biotecnología y Patología Acuática del Instituto de Patología Animal y están basados en el Manual of “Diagnostic Tests for Aquatic Animals” de la OIE (Organización Mundial de Salud Animal (OIE 2012). Más detalles se encuentran en el Informe Final del Programa de Diagnóstico Ambiental del humedal del HRC y sus ríos tributarios.

Análisis histopatológicos

Los exámenes histológicos se realizaron en peces completos, posterior a la fijación de los especímenes en formalina al 10%. Las muestras se procesaron en el Laboratorio de Anatomía Patológica del Instituto de Patología Animal de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Austral de Chile, donde se les asignó un número de laboratorio. Los puyes completos fueron introducidos en casetes plásticos, los que se procesaron de acuerdo a lo descrito por Luna (1968), en un equipo con frascos conteniendo alcoholes graduados en forma ascendente, pasando por solventes y terminando en parafina líquida, con el fin de deshidratar e impregnar en parafina los tejidos. Finalmente, los Puyes se incluyeron en parafina sólida, para luego ser cortados mediante micrótomo a cinco micras de grosor, obteniéndose láminas muy delgadas. Estas se montaron en portaobjetos para ser teñidas con hematoxilina eosina y ser cubiertas con un cubreobjetos, para posteriormente ser analizadas mediante el uso de microscopio óptico.

Mediante la observación microscópica y en base a Ferguson (2006), Roberts (2012) y Bruno *et al*. (2013), se evaluaron las características histopatológicas del sistema nervioso central (SNC), hígado, riñón, páncreas, corazón, branquias, estómago, intestino, gónadas y piel. Dado el grosor de las láminas cortadas y el pequeño tamaño de los peces estudiados, no siempre se obtuvieron muestras de todos los tejidos.

Este examen permite evaluar las características microscópicas de los tejidos, estableciéndose evidencias de normalidad o alteraciones patológicas (*e.g.,* inflamaciones, degeneraciones, alteraciones circulatorias, necrosis, malformaciones o neoplasias). Por otra parte, en peces tan pequeños como los Puyes, la histopatología es una forma apropiada para observar la presencia de parásitos en los tejidos (Gardiner & Poynton, 1999), metodología utilizada en este estudio para identificar los parásitos presentes en los peces analizados.

4.2.5.4. Resultados

4.2.5.4.1. Estudios comunitarios y poblacionales

Composición taxonómica de la ictiofauna de las riberas

La Tabla 4.2.5.1 muestra el número de especies de peces recolectadosdurante las campañas de otoño y primavera de los años 2014 al 2019) correspondiente a los Programas de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC. Las diferencias en cuanto al número de especies no pueden ser atribuibles, por ejemplo, a diferencias en esfuerzo de muestreo (3 *vs* 4), ya que los valores más altos en la riqueza de especies han ocurrido durante la misma estación del año (otoño).

En terminos generales la mayor diversidad de especies fue recolectada durante las campañas de otoño (9 ± 1,2 especies) en relación a las campañas de primavera (8 ± 1,8 especies), donde el mayor número fue detectado durante las campañas de otoño de los años 2015 y 2016 (n = 10) y el menor durante la campaña de primavera del año 2018 (n = 7).

Aunque los datos recolectados indiquen que a la fecha se observa una disminución en el número de especies recolectadas, particularmente durante las campañas de otoño, estos no tienen inferencia estadística (p = 0,144).

Tabla 4.2.5.1. Nombre científico, nombre común y origen (**N** = especie nativa; **I** = especie introducida) de las especies recolectadas en las riberas de los sitios de muestreo, durante las campañas de otoño y primavera del período 2014-2019. O = otoño, P = primavera. X = presencia.

nombre científico	nombre común	origen	campañas											
			O14	P14	O15	P15	O16	P16	O17	P17	O18	P18	O19	P19
Galaxias maculatus (Jenyns, 1842)	Puye, Puye chico	**N**	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Gambusia affinis (Baird & Girard, 1853)	Gambusia, Pez mosquito	**I**	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Percichthys trucha (Valenciennes, 1833)	Perca trucha	**N**		X	X		X	X	X	X		X	X	X
Percilia gillissi (Girard, 1855)	Carmelita, Carmelia común, Coloradita	**N**		X	X	X	X	X	X	X	X		X	X
Cheirodon sp.	Pocha, Pocha del sur	**N**	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Geotria australis (Gray, 1851)	Lamprea de bolsa, Anguila blanca, Lamprea de agua dulce	**N**	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Trichomycterus areolatus (Valenciennes, 1833)	Bagre de agua dulce	**N**	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Oncorhynchus mykiss (Walbaum, 1792)	Trucha arcoíris	**I**	X		X		X			X	X	X	X	X
Basilichthys australis (Eigenmann, 1928)	Pejerrey, Pejerrey Chileno	**N**	X		X		X		X	X			X	
Tinca sp	Tenca	**I**			X									
Salmo trutta	Trucha café	**I**				X		X	X	X	X			X
Cyprinus carpio	Carpa	**I**					X							

Abundancia de la ictiofauna de las riberas

La Tabla 4.2.5.2 y Figura 4.2.5.3 muestran la abundancia total de especies de peces recolectados en las riberas del río Cruces (sectores Ciruelos, Rucaco, y Punucapa), ríos tributarios del humedal (Pichoy y Cayumapu) y río Calle Calle (sector Chumpullo) (*cf.* Fig. 4.2.5.1), durante las campañas de otoño y primavera de los años 2014 al2019. Ademas se presentan las abundancias de los dos peces más comunes en las riberas del área de estudio: el Puye (*Galaxias maculatus*) y la Gambusia (*Gambusia affinis*). Antes de cualquier comparación, se hace hincapié en la gran variabilidad en los valores de abundancia intra sitio *i.e.,* entre muestras o secciones.

Dentro de los seis sectores analizados Tabla 4.2.5.2. la mayor abundancia promedio en general fue registradaen Ciruelos (45 ± 21 individuos) particularmente durante la campaña de otoño del año 2016 (n = 76), a su vez la menor abundancia promedio fue detectada en el río Calle Calle (12 ± 6 individuos) durante las campañas de otoño y primavera de los años 2017 y 2018, respectivamente (n = 3) (Fig. 4.2.5.3).

Al comparar la abundancia promedio estacionalmente, esta fue mayor durante las campañas de otoño en todas las estaciones del área de estudio, particularmente durante el año 2018 (44 ± 27 individuos), por el contrario, la menor abundancia fue registrada durante la campaña primaveral del año 2017 (16 ± 6 individuos). En terminos generales los datos indican que la abundancia íctica en el área de estudio presenta una estabilidad en el tiempo, pero con una marcada estacionalidad.

Durante el año 2019, se observó una alta abundancia durante la campaña otoñal (promedio= 68,3) en el sector Ciruelos, similar situación fue registrada en el mismo lugar el año 2016, a su vez, durante la campaña de primavera, se registro la mayor abundancia (promedio= 37,5) en el sector Pichoy. (Tabla 4.2.5.2 y Figura 4.2.5.3).

Abundancias de *Galaxias maculatus*

La Tabla 4.2.5.2 y Figura 4.2.5.4, muestran la abundancia promedio total del puye en las riberas del río Cruces (sectores Ciruelos, Rucaco, y Punucapa), ríos tributarios del humedal (Pichoy y Cayumapu) y río Calle Calle (sector Chumpullo) (*cf.* Fig. 4.2.5.1), durante las campañas de otoño y primavera de los años 2014 al 2019.

La mayor abundancia de Puyes fue registrada en Ciruelos (35 ± 21 individuos) particularmente durante la campaña de otoño del año 2016 (n = 64), por el contrario el menor número de puyes fue detectado en los ríos Pichoy y Cayumapu, tributarios del HRC (8 ± 6 individuos en ambos ríos) y en el río Calle Calle (9 ± 7 individuos).

Al analizar la abundancia de puyes estacionalmente, los datos indican que estas fueron mayores durante el periodo otoñal en cuatro de las seis estaciones de estudio, siendo los ríos tributarios del HRC Pichoy y Cayumapu los que presentaron abundancias mayores de Puyes durante las campañas de primavera. Si bien la abundancia de Puyes se mantiene estable en el tiempo y con una marcada estacionalidad en todas las estaciones, solo el río Cayumapu presento una variabilidad con significancia estadística (p=0,043), lo que indica que las abundancias de Puyes en este río estarían aumentando.

En el año 2019, en comparación con años anteriores, se observó una alta abundancia durante la campaña otoñal (promedio= 57,8) en el sector Ciruelos situación similar a lo ocurrido durante la campaña de primavera del año 2014 y otoño del 2016, en el mismo lugar. A su vez, durante la campaña de primavera se recolectó el mayor número de Puyes (Promedio = 26) en Rucaco, en comparación con campañas primaverales de años anteriores.

Abundancias de *Gambusia affinis*

Las abundancias temporales de *Gambusia affinis,* mostraron tendencias disímiles acorde a los sitios de muestreo: en Ciruelos y Rucaco, sólo se detectó esta especie durante los muestreos de otoño del año 2014 y primavera del año 2017 (Tabla 4.2.5.2). En el sector de Punucapa y río Calle Calle, se encontró en más de un muestreo, pero en abundancias bajas (Tabla 4.2.5.2). Por el contrario, en los ríos Pichoy y Cayumapu, se detectó *G. affinis* en prácticamente todos los muestreos y en mayores abundancias a las del Puye.

En las campañas del año 2019, se detectó *Gambusia affinis* en los sectores de Cayumapu y Pichoy (Tabla 4.2.5.2).

Tabla 4.2.5.2. Abundancia total de la ictiofauna, abundancia de *Galaxias maculatus* y *Gambusia affinis* en el área de estudio, durante las campañas del período 204-2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. SD= sin datos (ver Material y Métodos).

río Cruces	fecha	abundancia total	*G. maculatus*	*G. affinis*
Eje central del río Cruces	otoño 2014	22,3 (12,7)	9,7 (4,9)	7,7 (0,6)
(sector límnico)	primavera 2014	71,0 (56,2)	61,3 (50,5)	0,0 (0,0)
sector Ciruelos	otoño 2015	55,5 (27,1)	48,5 (21,0)	0,0 (0,0)
	primavera 2015	28,3 (14,1)	22,0 (15,2)	0,0 (0,0)
	otoño 2016	75,8 (21,8)	63,8 (22,2)	0,0 (0,0)
	primavera 2016	29,8 (19,4)	21,3 (16,4)	0,0 (0,0)
	otoño 2017	42,5 (17,2)	30,3 (20,4)	0,0 (0,0)
	primavera 2017	19,5 (5,2)	12,5 (7,8)	0,0 (0,0)
	otoño 2018	67,0 (46,8)	55,3 (41,7)	0,0 (0,0)
	primavera 2018	29,3 (16,6)	14,5 (12,0)	0,0 (0,0)
	otoño 2019	68,3 (54,1)	57,8 (54,6)	0,0 (0,0)
	primavera 2019	35,5 (30,9)	24,5 (27,2)	0,0 (0,0)
sector Rucaco	otoño 2014	18,0 (8,9)	14,3 (8,1)	2,7 (0,6)
	primavera 2014	10,0 (4,4)	9,0 (4,4)	0,0 (0,0)
	otoño 2015	24,3 (10,1)	17,3 (11,9)	0,0 (0,0)
	primavera 2015	28,0 (18,1)	19,3 (14,5)	0,0 (0,0)
	otoño 2016	45,5 (13,0)	32,5 (11,0)	0,0 (0,0)
	primavera 2016	19,8 (19,6)	16,5 (20,0)	0,0 (0,0)
	otoño 2017	31,0 (5,6)	16,0 (14,3)	0,0 (0,0)
	primavera 2017	21,5 (14,8)	13,3 (8,1)	1,8 (2,9)
	otoño 2018	77,8 (22,8)	62,3 (17,3)	0,0 (0,0)
	primavera 2018	33,3 (8,2)	16,5 (8,9)	0,0 (0,0)
	otoño 2019	51,8 (17,5)	27,8 (6,6)	0,0 (0,0)
	primavera 2019	33,5 (15,3)	26,0 (16,1)	0,0 (0,0)
Eje central del río Cruces	otoño 2014	21,7 (2,5)	20,7 (2,3)	0,3 (0,6)
(sector estuarial)	primavera 2014	21,7 (6,4)	17,0 (10,5)	2,0 (3,5)
sector Punucapa	otoño 2015	4,0 (3,6)	3,0 (2,4)	0,0 (0,0)
	primavera 2015	8,5 (6,0)	4,8 (3,9)	2,8 (4,9)
	otoño 2016	13,5 (10,5)	5,5 (3,3)	7,3 (11,4)
	primavera 2016	35,3 (40,9)	12,8 (5,0)	0,0 (0,0)
	otoño 2017	3,3 (3,3)	0,5 (0,6)	2,3 (3,3)
	primavera 2017	11,8 (5,6)	10,3 (4,5)	0,8 (1,5)
	otoño 2018	55,3 (31,4)	55,0(30,9)	0,3 (0,5)
	primavera 2018	SD	SD	SD
	otoño 2019	SD	SD	SD
	primavera 2019	7,0 (8,2)	5,0 (4,3)	0,0,(0,0)

Continuación **Tabla 4.2.5.2.**

río Cruces	**fecha**	**abundancia total**	***G. maculatus***	***G. affinis***
río Pichoy , sector interior	otoño 2014	31,0 (4,0)	11,3 (3,8)	19,0 (2,0)
	primavera 2014	10,0 (6,1)	10,0 (6,1)	0,0 (0,0)
	otoño 2015	28,3 (24,9)	5,8 (4,1)	17,8 (26,3)
	primavera 2015	11,8 (6,8)	2,5 (5,0)	2,0 (4,0)
	otoño 2016	32,5 (16,8)	3,5 (7,0)	24,8 (13,3)
	primavera 2016	13,8 (23,6)	0,0 (0,0)	2,5 (4,4)
	otoño 2017	43,5 (9,7)	7,3 (5,3)	33,5 (12,7)
	primavera 2017	18,8 (14,7)	4,0 (4,2)	8,0 (12,7)
	otoño 2018	22,3 (8,3)	4,0 (1,2)	14,0 (3,5)
	primavera 2018	18,8 (15,7)	7,5 (12,4)	4,0 (5,4)
	otoño 2019	17,5 (10,4)	6,8 (1,3)	10,3 (9,5)
	primavera 2019	37,5 (23,2)	24,3 (20,4)	3,5 (2,6)
río Cayumapu, sector interior	otoño 2014	44,3 (5,9)	10,0 (1,7)	34,3 (7,6)
	primavera 2014	4,3 (5,1)	1,7 (1,5)	1,3 (2,3)
	otoño 2015	9,3 (11,6)	1,8 (1,7)	7,0 (12,7)
	primavera 2015	22,5 (10,5)	5,3 (6,2)	13,8 (9,9)
	otoño 2016	44,0 (33,0)	6,0 (4,2)	37,0 (36,2)
	primavera 2016	23,5 (9,5)	4,5 (2,4)	10,8 (6,2)
	otoño 2017	53,3 (27,8)	0,3 (0,5)	52,8 (28,6)
	primavera 2017	19,8 (19,9)	15,0 (21,9)	4,8 (8,8)
	otoño 2018	26,0 (9,1)	10,5 (6,6)	8,5 (9,0)
	primavera 2018	SD	SD	SD
	otoño 2019	SD	SD	SD
	primavera 2019	21,5 (23,6)	20,0 (23,0)	1,3 (1,9)
Fuera del humedal del río	otoño 2014	7,0 (7,9)	4,7 (4,7)	0,3 (0,6)
y sus ríos tributarios	primavera 2014	22,0 (9,2)	22,0 (6,1)	0,0 (0,0)
rio Calle Calle, sector	otoño 2015	17,0 (9,8)	12,5 (7,6)	2,0 (3,4)
Chumpuyo	primavera 2015	8,3 (4,1)	7,5 (4,7)	0,0 (0,0)
	otoño 2016	19,0 (12,6)	13,8 (8,6)	0,0 (0,0)
	primavera 2016	15,8 (6,9)	9,5 (6,7)	0,0 (0,0)
	otoño 2017	3,3 (1,7)	1,3 (1,3)	0,8 (1,0)
	primavera 2017	6,5 (6,9)	2,8 (4,2)	0,0 (0,0)
	otoño 2018	13,0 (1,4)	10,0 (3,6)	0,0 (0,0)
	primavera 2018	2,5 (2,4)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
	otoño 2019	18,0 (11,4)	16,3 (11,5)	0,0 (0,0)
	primavera 2019	100 (4,7)	5,3 (4,8)	0,0 (0,0)

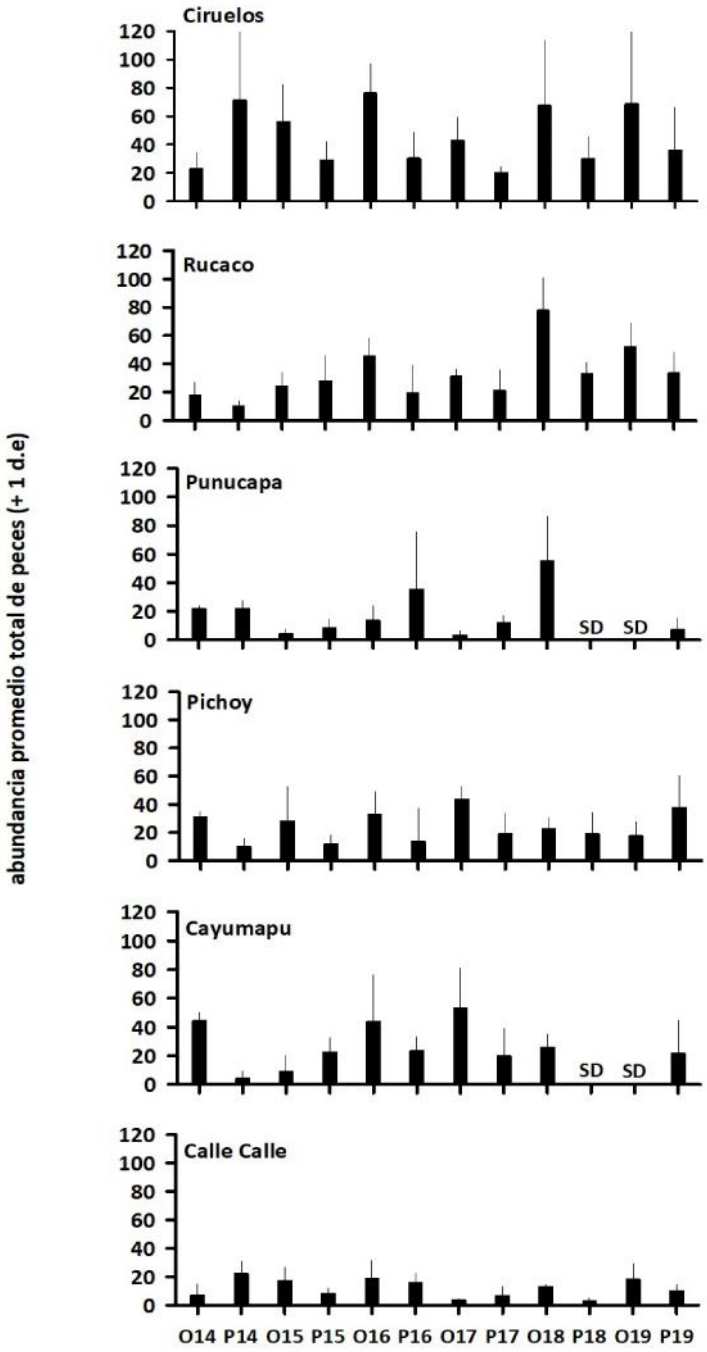


Figura 4.2.5.3. Abundancia promedio total de la ictiofauna durante las campañas del período 2014-2019, O = otoño, P = primavera. Las barras que acompañan al promedio corresponden a una desviación estándar. SD = sin datos (ver Material y Métodos).

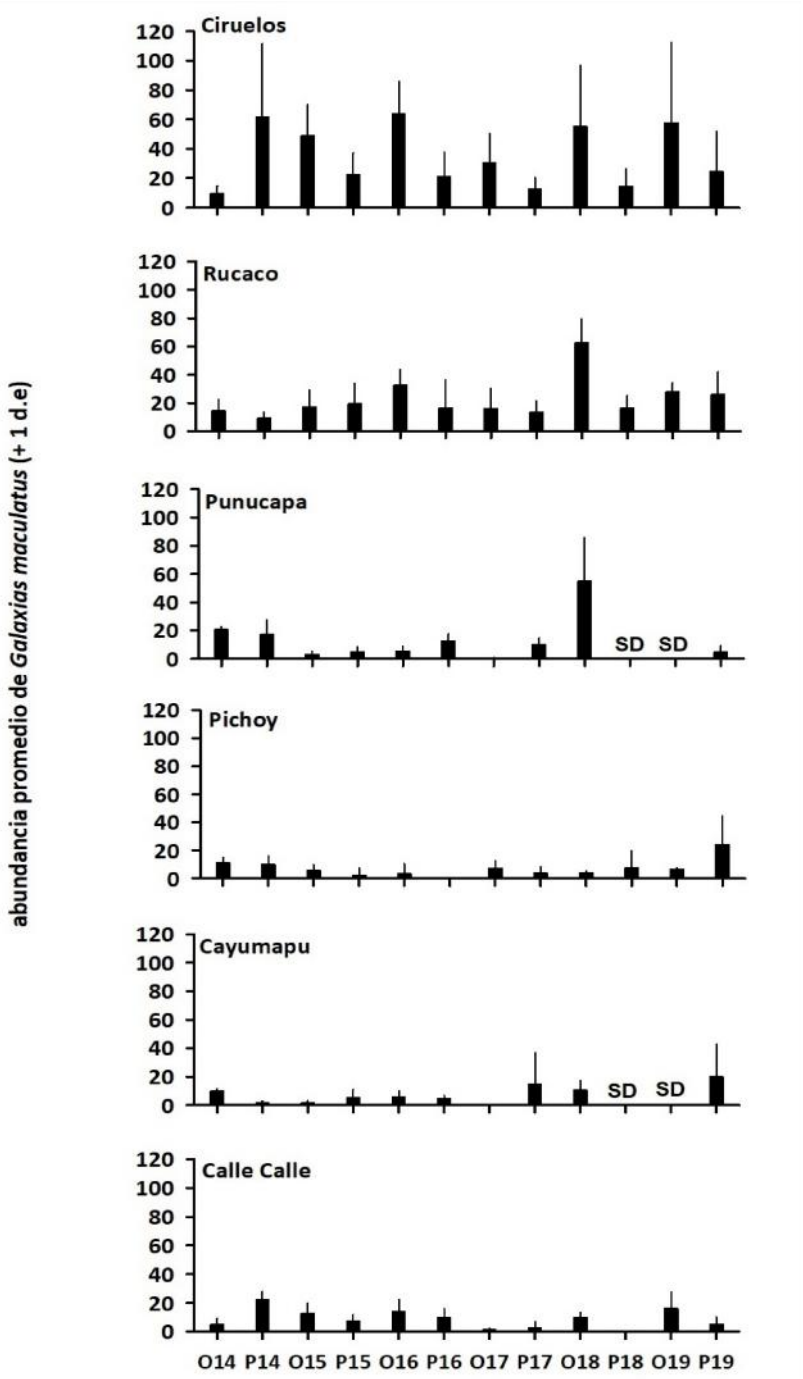


Figura 4.2.5.4, Abundancia promedio total del Puye durante las campañas del período 2014-2019, O = otoño, P = primavera. Las barras que acompañan al promedio corresponden a una desviación estándar. SD = sin datos (ver Material y Métodos).

Diversidad de la ictiofauna en las riberas

En la Tabla 4.2.5.3. se muestran los valores de los índices univariados estimados para evaluar la diversidad recolectada del área de estudio, y Figura 4.2.5.5. muestra la variabilidad espacio - temporal en la riqueza de especies de la ictiofauna de las riberas, durante las campañas de otoño y primavera de los años 2014 al 2019.

El mayor numero de especies (n) se presentó en los sectores Ciruelos y Rucaco entre los años 2014 al 2019, específicamente durante la campaña otoñal en Ciruelos el año 2014 (n= 5,0) y en la campaña primaveral en Rucaco (n= 4,0) el año 2017.

Durante las campañas de otoños el menor numero de especies fue registrado en Punucapa (n=1,3) el año 2018 (Tabla 4.2.5.3) y en Pichoy durante la primavera del año 2014 (n=1)

El año 2019, el mayor número de especies fue detectado durante la campaña otoñal en Rucaco (n= 3,8) y en la campaña primaveral en los sectores Ciruelo y Rucaco (n=3,5 ambos sitios). Mientras que el menor número de especie fue registrado durante la campaña de primavera (n=1,3) en el sector Punucapa (Tabla 4.2.5.3 y Fig. 4.2.5.5).

Si bien el número de especies se mantiene estable en el tiempo en la mayoría de las estaciones, en Punucapa este índice a disminuido en el tiempo, presentando una menor diversidad con inferencia estadistica significativa ($p>0,001$) hacia el último año de Monitoreo Ambiental.

Tabla 4.2.5.3. Valores promedio del número de especies (n) Índice de Shannon & Wiener y Uniformidad durante el período 2014-2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. n= número de especie, SD = sin datos (ver Material y Métodos).

río Cruces	fecha	n	Shannon & Winer	Uniformidad
Eje central del río Cruces	otoño 2014	5,0 (1,7)	0,50 (0,2)	0,71 (0,1)
(sector límnico)	primavera 2014	3,0 (0,5)	0,29 (0,1)	0,83 (0,1)
sector Ciruelos	otoño 2015	3,0 (1,7)	0,14 (0,2)	0,22 (0,2)
	primavera 2015	2,5 (0,6)	0,25 (0,2)	0,61 (0,3)
	otoño 2016	3,8 (0,5)	0,22 (0,1)	0,38 (0,1)
	primavera 2016	3,0 (0,8)	0,31 (0,1)	0,67 (0,2)
	otoño 2017	3,3 (0,5)	0,34 (0,0)	0,51 (0,1)
	primavera 2017	3,0 (0,8)	0,33 (0,2)	0,68 (0,2)
	otoño 2018	3,8 (1,0)	0,28 (0,1)	0,51 (0,2)
	primavera 2018	3,3 (1,5)	0,33 (0,0)	0,76 (0,2)
	otoño 2019	3,5 (0,6)	0,28 (0,1)	0,55 (0,3)
	primavera 2019	3,5 (1,3)	0,36 (0,1)	0,75 (0,2)
sector Rucaco	otoño 2014	4,0 (0,6)	0,29 (0,1)	0,48 (0,3)
	primavera 2014	2,0 (0,0)	0,25 (0,0)	0,82 (0,1)
	otoño 2015	4,0 (1,0)	0,29 (0,1)	0,55 (0,1)
	primavera 2015	3,5 (0,6)	0,49 (0,1)	0,65 (0,0)
	otoño 2016	4,3 (1,0)	0,35 (0,1)	0,55 (0,1)
	primavera 2016	2,8 (1,0)	0,29 (0,2)	0,67 (0,3)
	otoño 2017	3,3 (0,5)	0,35 (0,1)	0,69 (0,3)
	primavera 2017	4,0 (1,6)	0,42 (0,2)	0,70 (0,1)
	otoño 2018	4,3 (2,2)	0,26 (0,1)	0,47 (0,1)
	primavera 2018	3,5 (0,6)	0,44 (0,0)	0,82 (0,1)
	otoño 2019	3,8 (1,0)	0,42 (0,2)	0,74 (0,2)
	primavera 2019	3,5 (0,6)	0,32 (0,1)	0,60 (0,2)
Eje central del río Cruces	otoño 2014	3,0 (1,0)	0,09 (0,1)	0,20 (0,0)
(sector estuarial)	primavera 2014	3,0 (1,0)	0,23 (0,2)	0,58 (0,5)
sector Punucapa	otoño 2015	2,0 (0,6)	0,15 (0,2)	0,50 (0,6)
	primavera 2015	2,0 (0,8)	0,30 (0,3)	0,52 (0,4)
	otoño 2016	2,3 (1,0)	0,30 (0,2)	0,48 (0,3)
	primavera 2016	1,8 (0,5)	0,14 (0,1)	0,46 (0,4)
	otoño 2017	1,5 (0,6)	0,11 (0,1)	0,37 (0,4)
	primavera 2017	1,8 (0,5)	0,14 (0,1)	0,46 (0,3)
	otoño 2018	1,3 (0,5)	0,01 (0,0)	0,02 (0,0)
	primavera 2018	SD	SD	SD
	otoño 2019	SD	SD	SD
	primavera 2019	1,3 (0,5)	0,07 (0,1)	0,25 (0,5)

Continuación **Tabla 4.2.5.3.**

río Cruces	fecha	n	Shannon & Wiener	uniformidad
Río tributario del humedal	otoño 2014	3,0 (0,6)	0,32 (0,0)	0,68 (0,2)
(sector estuarial)	primavera 2014	1,0 (0,0)	0,00 (0,0)	0,00 (0,0)
río Pichoy, interior	otoño 2015	3,3 (0,5)	0,50 (0,2)	0,67 (0,2)
sector interior	primavera 2015	2,0 (0,8)	0,41 (0,3)	0,67 (0,5)
	otoño 2016	2,5 (0,6)	0,27 (0,1)	0,67 (0,2)
	primavera 2016	1,5 (1,3)	0,12 (0,1)	0,33 (0,4)
	otoño 2017	3,0 (0,8)	0,29 (0,2)	0,60 (0,2)
	primavera 2017	2,8 (0,5)	0,37 (0,1)	0,86 (0,1)
	otoño 2018	2,8 (0,5)	0,33 (0,1)	0,78 (0,1)
	primavera 2018	2,8 (1,0)	0,34 (0,1)	0,84 (0,2)
	otoño 2019	2,5 (0,6)	0,31 (0,1)	0,82 (0,1)
	primavera 2019	3,0 (0,0)	0,37 (0,1)	0,77 (0,1)
río Cayumapu,	otoño 2014	2,0 (1,5)	0,23 (0,0)	0,77 (0,1)
sector interior	primavera 2014	3,0 (1,5)	0,16 (0,3)	0,33 (0,6)
	otoño 2015	2,0 (1,0)	0,11 (0,2)	0,24 (0,5)
	primavera 2015	2,0 (0,8)	0,20 (0,2)	0,42 (0,5)
	otoño 2016	2,3 (0,5)	0,28 (0,2)	0,58 (0,4)
	primavera 2016	3,0 (0,0)	0,41 (0,0)	0,86 (0,1)
	otoño 2017	1,5 (0,6)	0,05 (0,1)	0,09 (0,2)
	primavera 2017	1,3 (0,5)	0,01 (0,0)	0,04 (0,1)
	otoño 2018	3,0 (0,0)	0,38 (0,0)	0,80 (0,0)
	primavera 2018	SD	SD	SD
	otoño 2019	SD	SD	SD
	primavera 2019	1,8 (0,5)	0,11 (0,1)	0,38 (0,4)
Fuera del humedal del río	otoño 2014	3,0 (0,6)	0,34 (0,2)	0,70 (0,1)
Cruces y sus ríos tributarios	primavera 2014	1,0 (0,0)	0,00 (0,0)	0,00 (0,0)
río Calle Calle, sector	otoño 2015	2,8 (1,0)	0,43 (0,1)	0,70 (0,1)
Chumpullo	primavera 2015	1,5 (0,6)	0,10 (0,1)	0,33 (0,4)
	otoño 2016	2,5 (0,6)	0,27 (0,1)	0,70 (0,1)
	primavera 2016	2,0 (0,8)	0,19 (0,1)	0,55 (0,4)
	otoño 2017	2,5 (1,3)	0,32 (0,3)	0,69 (0,5)
	primavera 2017	2,0 (0,8)	0,25 (0,2)	0,71 (0,5)
	otoño 2018	1,8 (0,5)	0,19 (0,1)	0,63 (0,5)
	primavera 2018	1,3 (0,5)	0,08 (0,2)	0,25 (0,5)
	otoño 2019	2,0 (0,0)	0,16 (0,1)	0,53 (0,3)
	primavera 2019	2,8 (0,5)	0,33 (0,1)	0,78 (0,2)

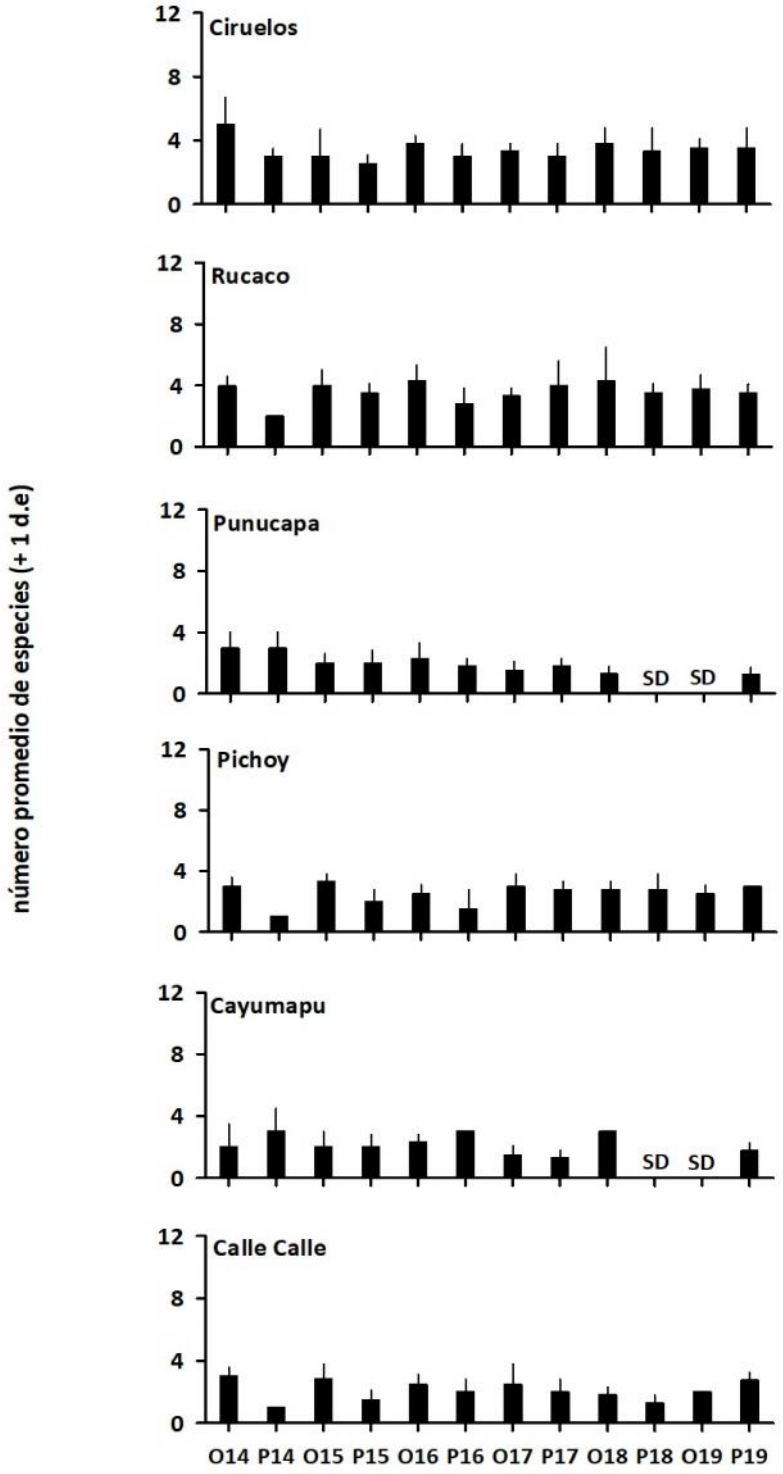


Figura 4.2.5.5. Valores promedio del número de especies durante las campañas del período 2014-2019, O = otoño, P = primavera. Las barras que acompañan al promedio corresponden a una desviación estándar. SD = sin datos (ver Material y Métodos).

Tamaño corporal del Puye

La Tabla 4.2.5.4. muestra el número de individuos (n), media, moda y rangos de tallas corporales (mínimos y máximos) de los puyes recolectados en las riberas del río Cruces (sectores Ciruelos, Rucaco, y Punucapa), ríos tributarios del humedal (ríos Pichoy y Cayumapu) y río Calle Calle (sector Chumpullo), durante las campañas de otoño y primavera de los años 2014 al 2019, (Fig. 4.2.5.6; 4.2.5.7; 4.2.5.8; 4.2.5.9; 4.2.5.10 y 4.2.5.11).

Los especímenes de *Galaxia maculatus* más grandes, se recolectaron durante la campaña otoñal del año 2016 en el sector Cayumapu (9,4 cm; media=5,9 cm) y en la campaña primaveral del año 2014 en el río Pichoy (12,5 cm; media=5,8) (Tabla 4.2.5.4; Fig. 4.2.5.10 y Fig. 4.2.5.9).

En el año 2019, durante la campaña de otoño, el tamaño corporal de *Galaxia maculatus* varió entre 2,0 y 8,9 cm (Ciruelos y Calle Calle, respectivamente); los especímenes más grandes (considerando la media, moda y rango de tamaños) se recolectaron en el río Calle Calle (Tabla 4.2.5.4 y Fig. 4.2.5.11). Los menores tamaños se recolectaron en Ciruelos (2,0) (Tabla 4.2.5.4; Fig. 4.2.5.6; 4.2.5.9 y 4.2.5.11).

Variabilidad interanual en la talla corporal

Los resultados presentados en las Figuras 4.2.5.6 y 4.2.5.7 de los sectores de Ciruelos y Rucaco muestran que los tamaños corporales y número de *Galaxias maculatus* recolectados, se vieron disminuidos desde la campaña de otoño a primavera al igual que en el sector Calle Calle (Fig. 4.2.5.11), lo que evidencia un ciclo de vida diadrómo en donde los Puyes adultos son más abundantes y desovan en otoño, retornando en etapa juvenil al estuario durante la temporada de primavera (Vega *et al.,* 2013).

En el río Pichoy durante la campaña de primavera del año 2019, se observó un aumento en el tamaño de especímenes recolectados en comparación con la campaña otoñal, Sin embargo, el rango de talla corporal no difiere con los recolectados durante la campaña primaveral del año 2018 (Tabla 4.2.5.4 y Fig. 4.2.5.9).

Tabla 4.2.5.4. Número de peces recolectados (n) media, moda y rangos de tallas corporales (valores en cm) de *Galaxias maculatus* durante el período 2014-2019. SD =sin datos (ver Material y Métodos).

sectores	campañas	n	media	moda	rango
Eje central río Cruces	otoño 2014	543	4,6	5,0	2,8 - 7,6
(sector límnico)	primavera 2014	184	5,4	4,5	3,8 - 8,1
sector Ciruelos	otoño 2015	380	4,6	4,8	2,9 - 8,1
	primavera 2015	88	5,3	5,3	2,2 - 7,6
	otoño 2016	337	4,5	4,3	3,1 - 7,0
	primavera 2016	85	5,4	5,2	2,2 - 7,5
	otoño 2017	338	4,8	4,0	3,0 - 7,4
	primavera 2017	154	5,5	5,5	2,1 - 8,1
	otoño 2018	221	4,3	4,3	2,2 - 8,2
	primavera 2018	58	4,6	4,8	3,0 - 6,3
	otoño 2019	231	3,5	3,5	2,0 - 7,3
	primavera 2019	98	5,0	5,0	4,0 - 6,7
sector Rucaco	otoño 2014	71	4,8	4,5	2,4 - 7,5
	primavera 2014	140	5,7	5,6	4,1 - 8,6
	otoño 2015	469	4,5	4,6	2,9 - 7,5
	primavera 2015	77	5,7	5,7	4,6 - 7,6
	otoño 2016	511	4,9	5,0	2,7 - 7,8
	primavera 2016	67	5,4	5,6	3,5 - 7,2
	otoño 2017	382	5,0	5,0	2,7 - 7,6
	primavera 2017	146	5,6	5,3	3,6 - 7,9
	otoño 2018	422	4,4	3,9	3,0 - 8,4
	primavera 2018	66	5,5	5,2	4,0 - 8,0
	otoño 2019	111	4,8	4,1	3,0 - 6,8
	primavera 2019	104	5,6	5,5	4,2 - 8,3
Eje central del río Cruces	otoño 2014	66	4,8	5,0	3,5 - 6,5
(sector estuarial)	primavera 2014	218	5,7	6,0	3,9 - 8,3
sector Punucapa	otoño 2015	32	5,1	4,9	4,0 - 7,6
	primavera 2015	19	5,8	5,6	4,5 - 7,1

otoño 2016	47	6,0	6,2	4,5 - 7,3
primavera 2016	51	5,8	6,0	1,6 - 7,6
otoño 2017	300	5,0	5,0	1,6 - 7,9
primavera 2017	111	4,5	3,5	2,5 - 8,5
otoño 2018	253	3,7	3,0	2,3 - 6,4
primavera 2018	SD	SD	SD	SD
otoño 2019	SD	SD	SD	SD
primavera 2019	20	5,3	4,5	4,2 - 7,0

Continuación **Tabla 4.2.5.4**

sectores	campañas	n	media	moda	rango
Ríos tributarios del río Cruces	otoño 2014	46	4,1	4,0	3,4 - 6,4
(sector estuarial)	primavera 2014	154	5,8	5,5	4,0 - 12,5
río Pichoy, sector interior	otoño 2015	49	5,4	5,0	3,9 - 8,6
	primavera 2015	10	6,7	6,2	5,8 - 7,8
	otoño 2016	14	5,0	5,0	3,9 - 5,8
	primavera 2016	0	0,0	0,0	0,0 - 0,0
	otoño 2017	183	5,3	4,8	2,5 - 8,4
	primavera 2017	39	4,1	1,8	1,4 - 7,6
	otoño 2018	27	4,5	4,4	3,1 - 7,0
	primavera 2018	30	5,7	5,6	4,5 - 8,3
	otoño 2019	27	4,0	2,9	2,5 - 6,9
	primavera 2019	97	5,4	5,5	4,3 - 8,4
río Cayumapu, sector interior	otoño 2014	30	4,7	4,5	3,3 - 6,6
	primavera 2014	158	5,5	5,0	4,2 - 7,6
	otoño 2015	28	5,9	5,5	4,2 - 8,5
	primavera 2015	21	5,8	5,6	5,3 - 6,5
	otoño 2016	48	5,9	4,6	3,9 - 9,4
	primavera 2016	18	6,4	6,0	5,7- 7,4
	otoño 2017	457	4,5	4,5	2,3 - 9,3
	primavera 2017	60	5,2	3,4	2,5 - 8,2
	otoño 2018	66	4,1	4,6	1,6 - 6,5
	primavera 2018	SD	SD	SD	SD
	otoño 2019	SD	SD	SD	SD
	primavera 2019	80	5,3	5,0	4,1 -7,8
sector río Calle Calle	otoño 2014	28	5,0	4,6	3,4 - 7,8
	primavera 2014	148	6,3	6,0	2,4 - 9,5
	otoño 2015	375	5,2	4,9	3,4 - 7,9
	primavera 2015	30	6,0	6,2	3,5 - 7,6
	otoño 2016	279	6,0	5,4	2,6 - 9,4
	primavera 2016	38	6,2	5,9	1,6 - 8,1
	otoño 2017	198	5,6	5,1	2,9 - 8,5
	primavera 2017	13	7,2	6,8	5,8 - 9,7
	otoño 2018	138	4,9	4,5	3,5 - 7,5
	primavera 2018	0	0,0	0,0	0,0 - 0,0
	otoño 2019	65	4,8	4,2	2,5 - 8,9

primavera 2019	21	5,2	4,8	4,0 - 8,5

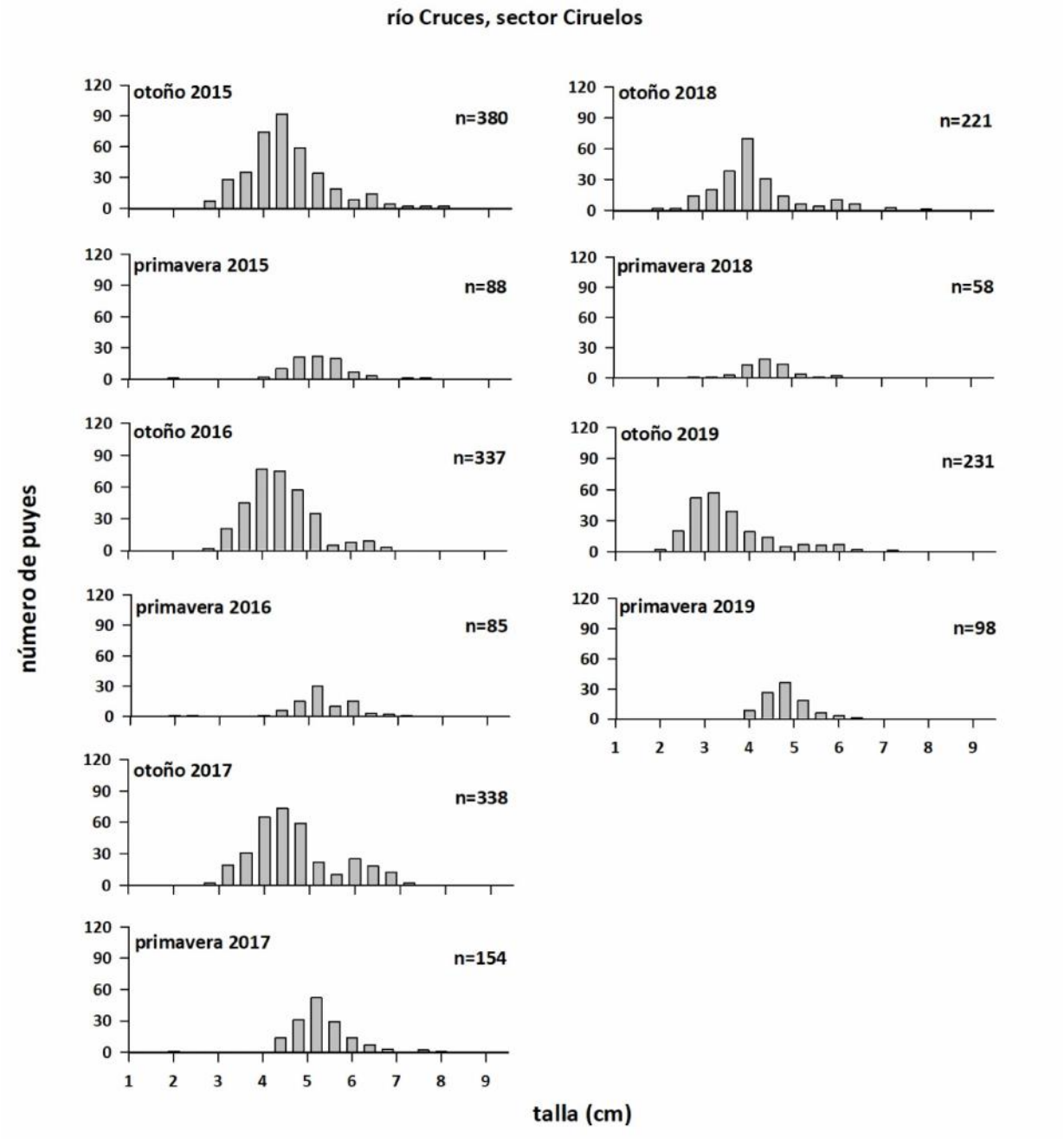


Figura 4.2.5.6. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Cruces, sector Ciruelos, durante el período 2014-2019.

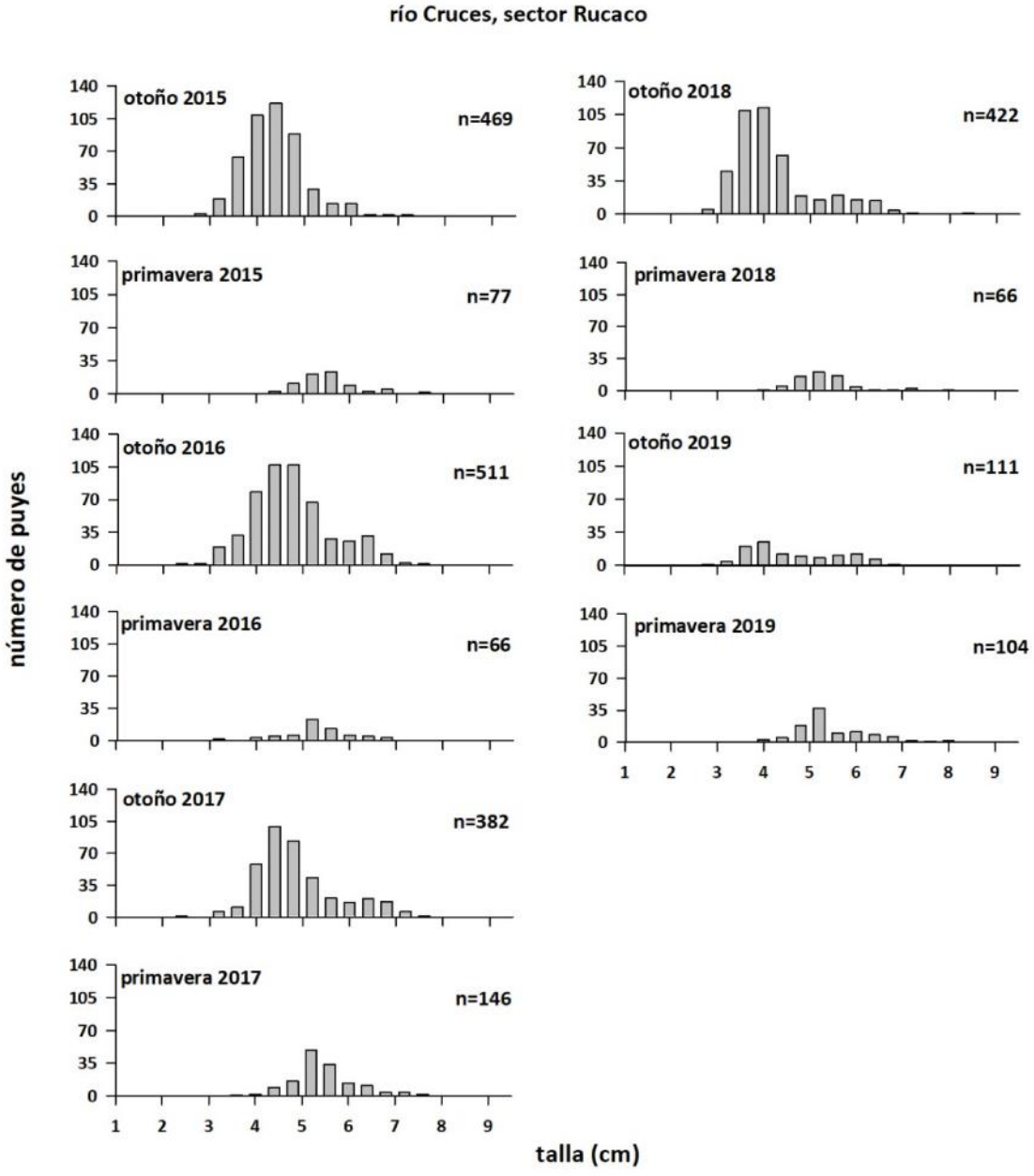


Figura 4.2.5.7. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Cruces, sector Rucaco, durante el período 2014-2019.

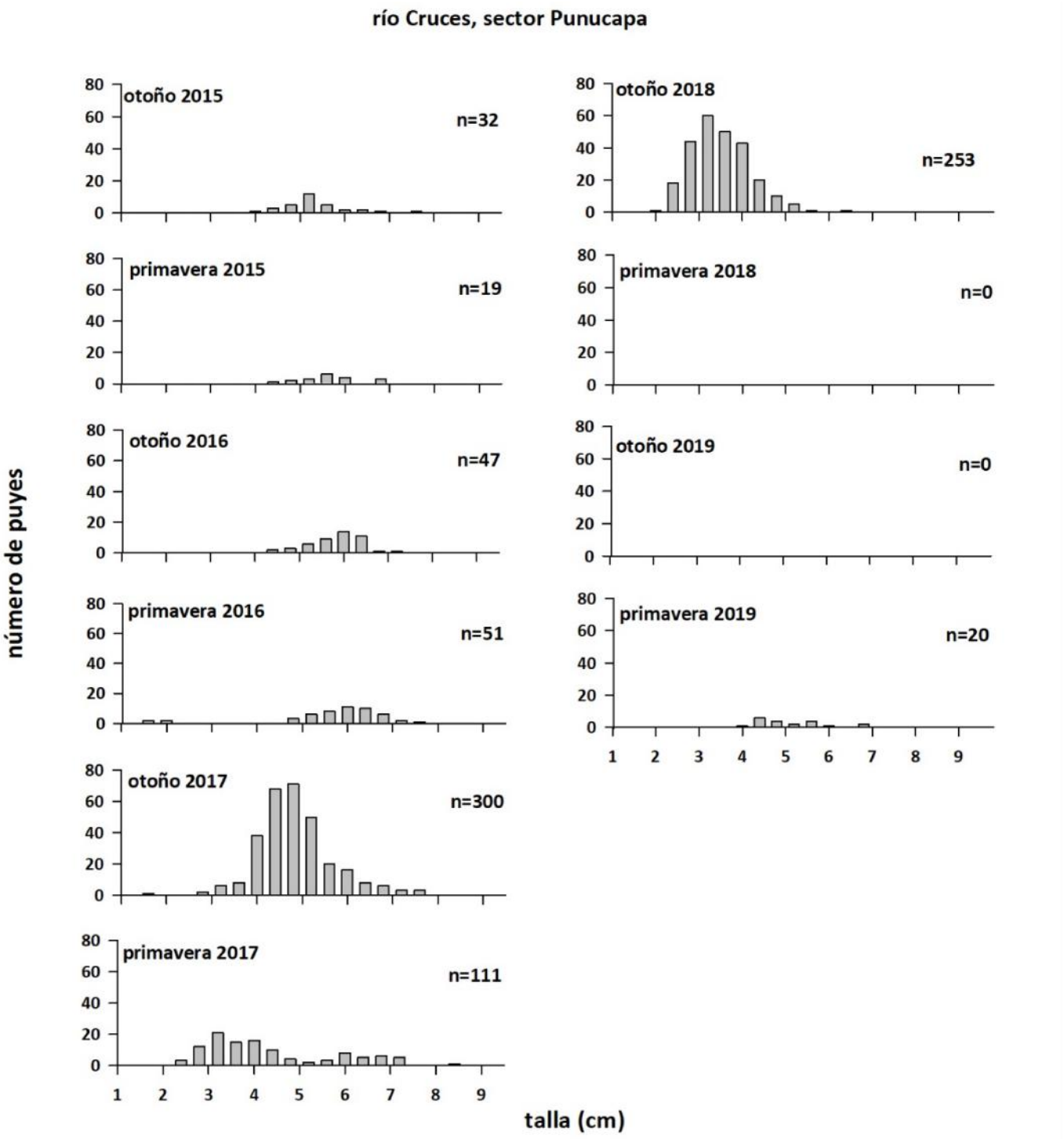


Figura 4.2.5.8. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Cruces, sector Punucapa, durante el período 2014-2019.

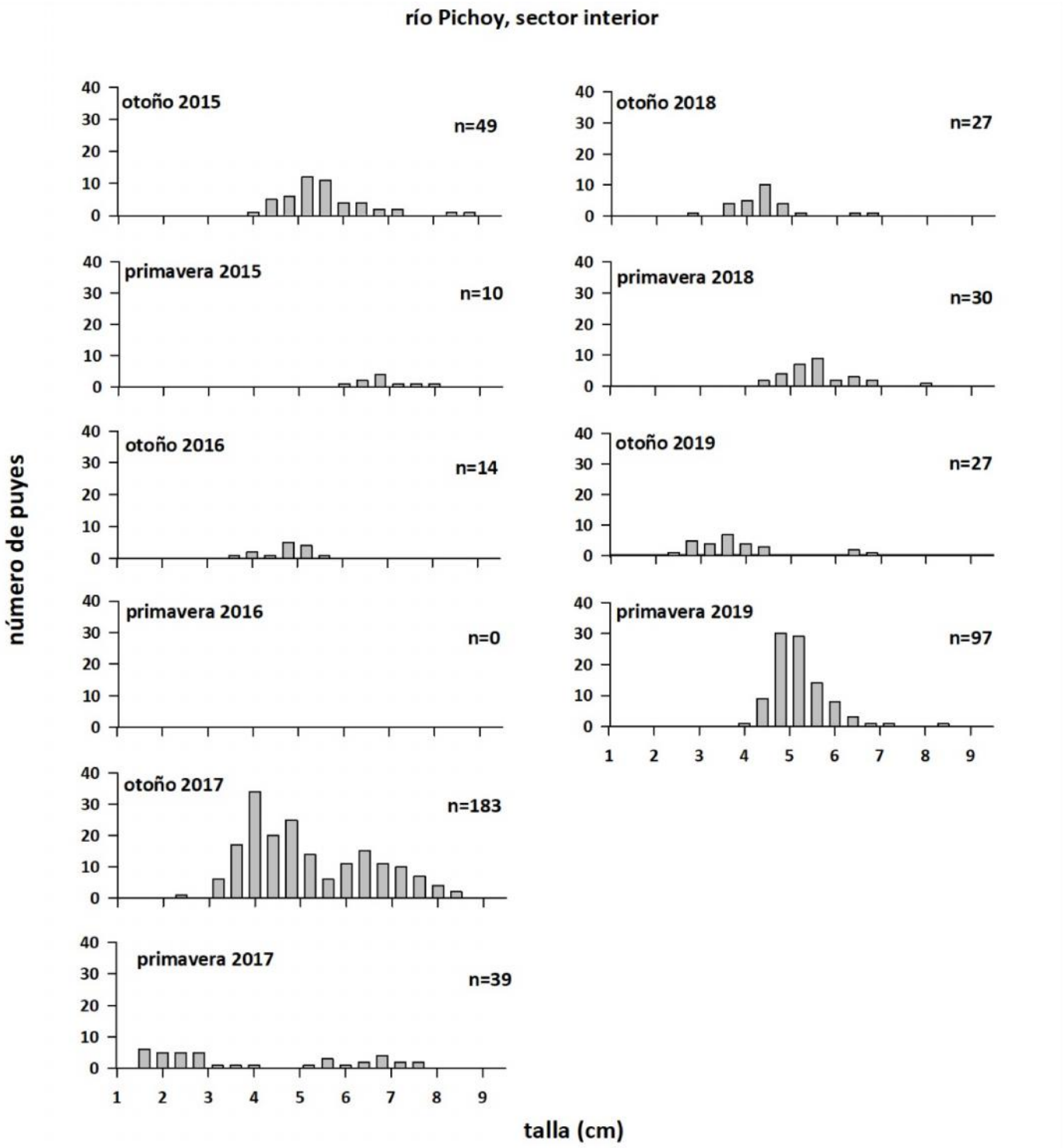


Figura 4.2.5.9. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Pichoy, durante el período 2014-2019.

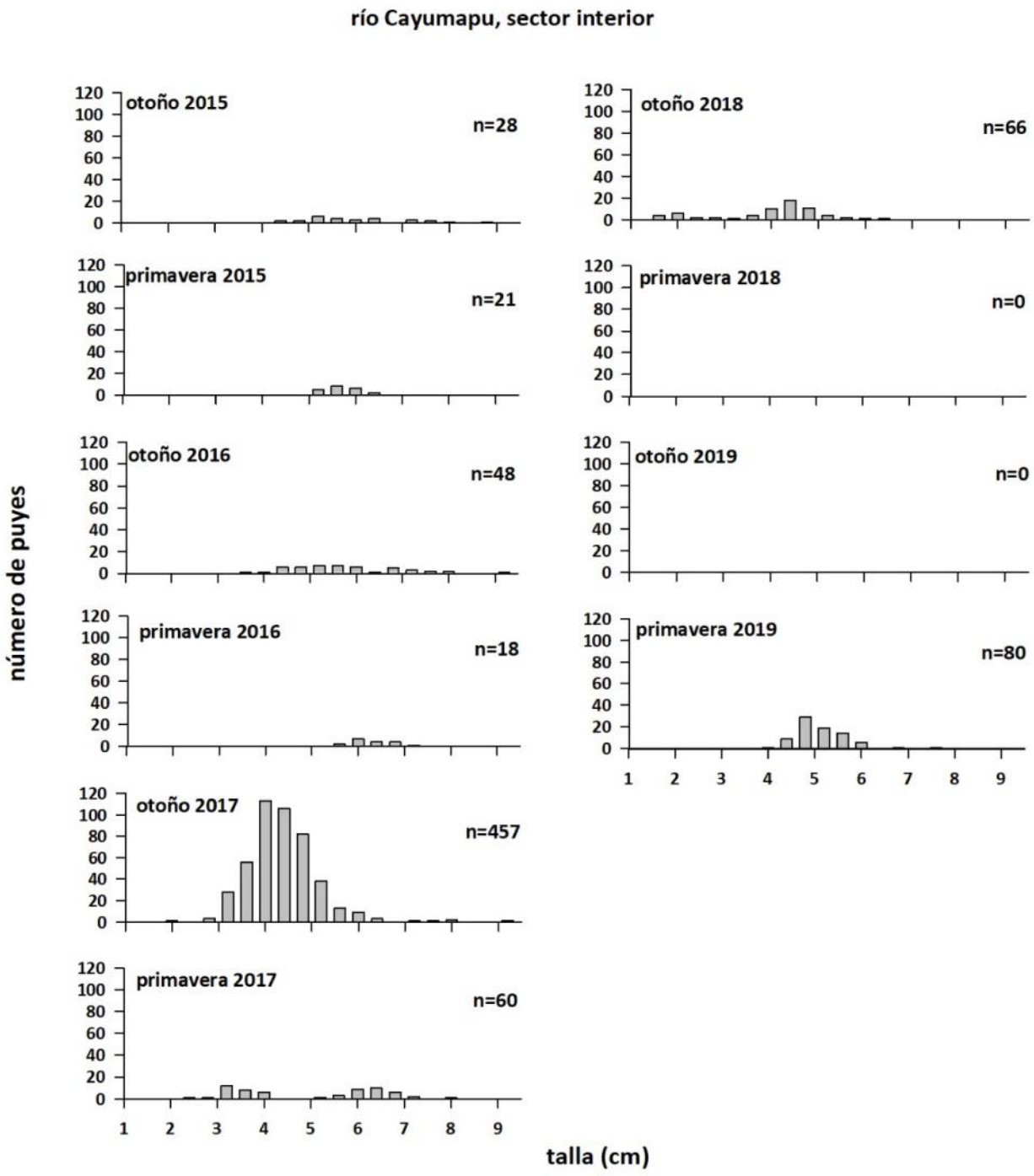


Figura 4.2.5.10. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Cayumapu, durante el período 2014-2019.

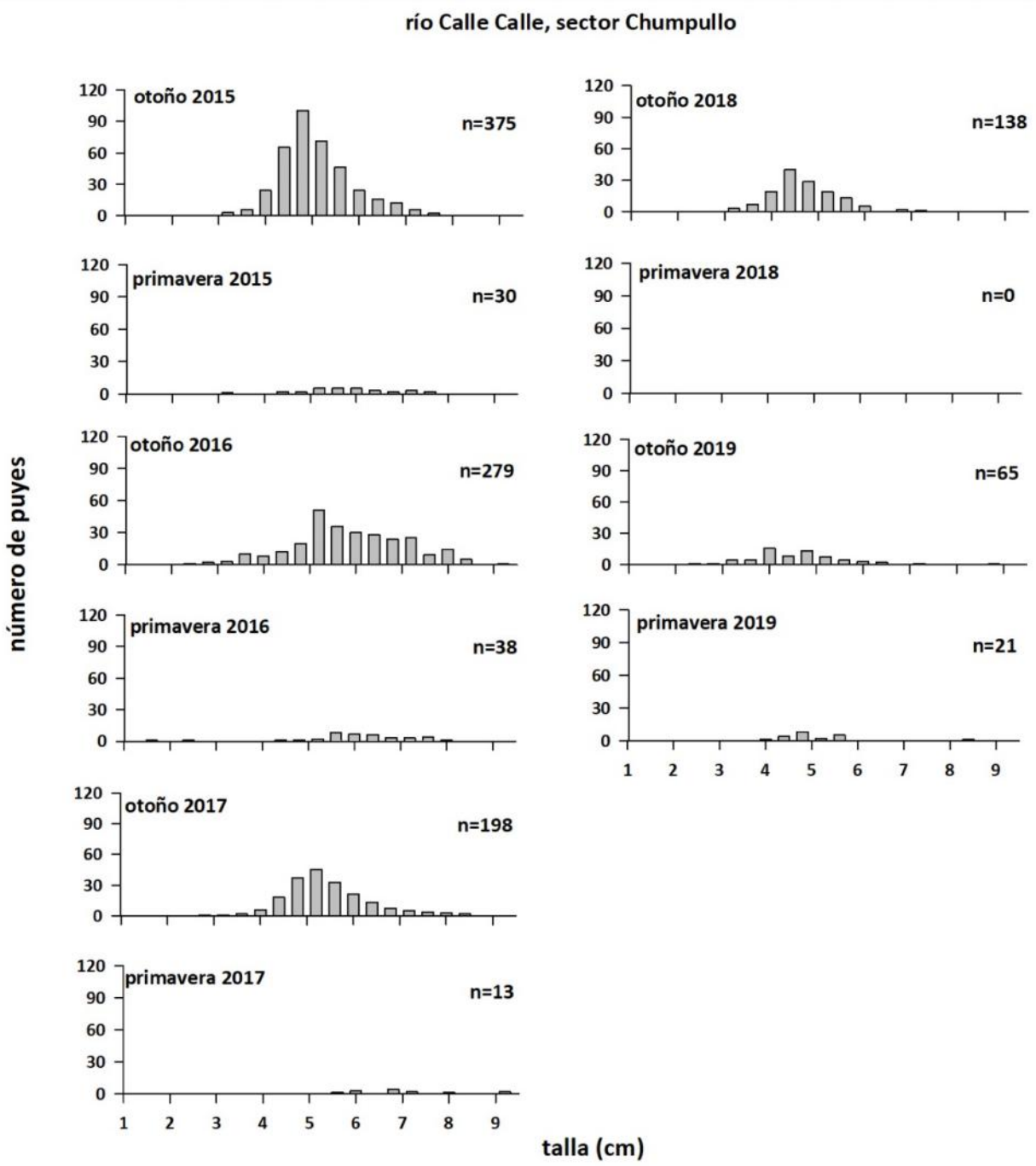


Figura 4.2.5.11. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Calle Calle, sector Chumpullo durante el período 2014-2019.

4.2.5.4.2. Elementos y compuestos químicos en *Galaxias maculatus*

Metales pesados

Comparaciones en base a muestreos otoñales del período 2014-2019 en los sectores Ciruelos, Rucaco y Calle Calle (Chumpullo).

Las Tablas 4.2.5.5 - 4.2.5.7 y la Figura 4.2.5.12, muestran las concentraciones de metales pesados en ejemplares completos de *Galaxias maculatus* recolectados en los sectores de Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales del período 2014-2019.

Durante todas las campañas, los metales pesados más representados (*i,e,*. mayores concentraciones) fueron Hierro, Aluminio y Zinc (Tablas 4.2.5.5 y 4.2.5.6 y Fig. 4.2.5.12). Le siguen el Zinc, que fue detectado en todas las campañas (Tabla 4.2.5.6. Fig. 4.2.5.12). Cobre, Plomo, y Mercurio fueron detectados en bajas concentraciones, a la vez que las concentraciones de Cadmio y Arsénico no fueron detectados en los puyes examinados (Tablas 4.2.5.6 y 4.4.5.7 y Fig. 4.2.5.12).

Tabla 4.2.5.5. Concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso en tejidos de *Galaxias maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle durante el período 2014-2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estación	campaña	Hierro ($\mu g\ g^{-1}$)	Aluminio ($\mu g\ g^{-1}$)	Manganeso ($\mu g\ g^{-1}$)
Eje central río Cruces	otoño 2014	266,1 (1,5)	186,8 (10,3)	89,9 (1,3)
(sector límnico)	primavera 2014	270,6 (5,6)	218,1 (7,5)	42,2 (0,4)
sector Ciruelos	otoño 2015	329,1 (5,5)	444,3 (25,4)	55,2 (0,2)
	otoño 2016	321,3 (2,8)	246,2 (0,9)	74,9 (2,2)
	otoño 2017	530,7 (12,2)	480,4 (4,8)	65,3 (0,4)
	otoño 2018	226,6 (7,1)	215,6 (7,5)	61,3 (2,1)
	otoño 2019	519,2 (-)	450,4 (-)	76,2 (-)
sector Rucaco	otoño 2014	410,8 (5,8)	383,5 (2,0)	57,2 (1,4)
	primavera 2014	409,7 (9,0)	414,6 (17,3)	50,8 (0,7)
	otoño 2015	215, 1 (3,9)	234,2 (2,3)	88,5 (0,4)
	otoño 2016	177,1 (14,5)	165,1 (14,6)	15,2 (1,0)
	otoño 2017	371,4 (12,6)	298,2 (28,8)	70,7 (0,8)
	otoño 2018	166,0 (3,0)	124,6 (8,3)	50,6 (0,9)
	otoño 2019	344,8 (0,9)	244,0 (16,9)	71,8 (0,6)
Fuera del humedal del río	otoño 2014	254,0 (20,5)	209,9 (6,1)	21,1 (0,5)
Cruces y sus ríos tributarios	primavera 2014	523,1 (9,7)	458,6 (0,3)	27,7 (0,2)
río Calle Calle, sector	otoño 2015	305,2 (30,7)	535,4 (10,6)	23,7 (0,8)
Chumpullo	otoño 2016	228,0 (11,0)	184,9 (19,4)	53,1 (0,4)
	otoño 2017	252,1 (8,8)	266,4 (9,1)	15,8 (0,1)
	otoño 2018	283,4 (23,2)	273,2 (11,5)	14,5 (0,2)
	otoño 2019	236,4 (0,5)	180,0 (22,1)	29,8 (0,0)

Tabla 4.2.5.6. Concentraciones de Cobre, Zinc y Plomo en tejidos de *Galaxias maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle durante el período 2014-2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis, * = no detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	campañas	Cobre ($\mu g\ g^{-1}$)	Zinc ($\mu g\ g^{-1}$)	Plomo ($\mu g\ g^{-1}$)
Eje central río Cruces	otoño 2014	*	254,16 (5,3)	0,05 (0,0)
(sector límnico)	otoño 2015	*	203,46 (0,4)	0,01 (0,0)
sector Ciruelos	otoño 2016	2,95 (0,1)	296,14 (3,1)	0,07 (0,0)
	otoño 2017	*	250,10 (4,0)	0,13 (0,0)
	otoño 2018	4,05 (0,0)	219,06 (2,7)	0,16 (0,0)
	otoño 2019	3,67 (-)	226,7 (-)	0,06 (-)
sector Rucaco	otoño 2014	*	225,99 (4,7)	0,06 (0,0)
	otoño 2015	*	339,90 (7,9)	0,07 (0,0)
	otoño 2016	2,60 (0,0)	138,14 (2,3)	0,09 (0,0)
	otoño 2017	*	284,80 (1,2)	0,12 (0,0)
	otoño 2018	*	232,84 (2,9)	0,04 (0,0)
	otoño 2019	3,16 (0,9)	222,3 (1,5)	0,03 (0,0)
Fuera del humedal del río	otoño 2014	3,54 (0,0)	140,69 (4,7)	0,11 (0,0)
Cruces y sus ríos tributarios	otoño 2015	*	168,35 (0,8)	0,17 (0,0)
río Calle Calle, sector	otoño 2016	2,77 (0,2)	270,94 (3,9)	0,06 (0,0)
Chumpullo	otoño 2017	3,40 (0,4)	134,60 (2,1)	0,35 (0,1)
	otoño 2018	3,81 (0,1)	126,76 (1,3)	0,43 (0,0)
	otoño 2019	5,10 (0,0)	165,9 (0,9)	0,27 (0,0)

Tabla 4.2.5.7. Concentraciones de Cadmio, Arsénico y Mercurio en tejidos de *Galaxias maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle durante el período 2014-2019. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis, * = no detectado, *i,e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	campañas	Cadmio ($\mu g\ g^{-1}$)	Arsénico ($\mu g\ g^{-1}$)	Mercurio ($\mu g\ g^{-1}$)
Eje central río Cruces	otoño 2014	*	*	0,27 (0,0)
(sector límnico)	otoño 2015	*	*	0,09 (0,0)
sector Ciruelos	otoño 2016	*	*	0,43 (0,0)
	otoño 2017	*	*	0,38 (0,0)
	otoño 2018	*	*	0,11 (0,0)
	otoño 2019	*	*	0,38 (-)
sector Rucaco	otoño 2014	*	*	0,23 (0,0)
	otoño 2015	*	*	0,14 (0,0)
	otoño 2016	*	*	0,29 (0,0)
	otoño 2017	*	*	0,35 (0,0)
	otoño 2018	*	*	0,41 (0,0)
	otoño 2019	*	*	0,34 (0,0)
Fuera del humedal del río	otoño 2014	*	*	0,20 (0,0)
Cruces y sus ríos tributarios	otoño 2015	*	*	0,22 (0,0)
río Calle Calle, sector	otoño 2016	*	*	0,39 (0,0)
chumpullo	otoño 2017	*	*	0,15 (0,0)
	otoño 2018	*	*	0,12 (0,0)
	otoño 2019	*	*	0,21 (0,0)

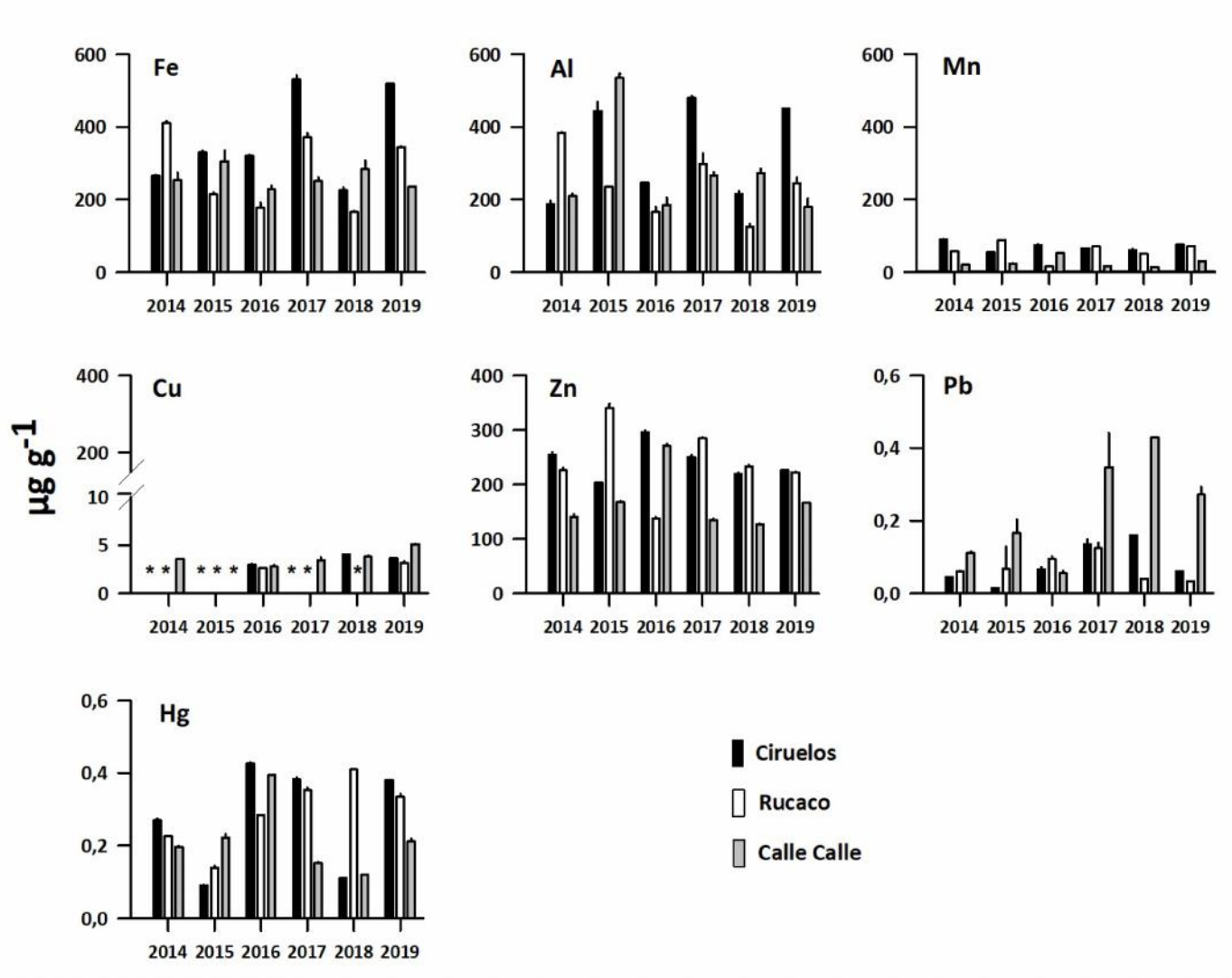


Figura 4.2.5.12. Concentración de metales pesados en especimenes de *Galaxias maculatus*, recolectados durante las campañas otoñales del período 2014-2019. Los valores son promedios con una desviación estándar. * = no detectado*, i,e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

Análisis estadísticos

Los resultados de los análisis de ANDEVA factorial y prueba *a posteriori* de Tukey, realizados con el fin de comparar el efecto de los factores Año y Sector, en las concentraciones de metales pesados presentes en los tejidos de *Galaxias maculatus,* se muestran en la Tabla 4.2.5.8, No se incluyeron el Cadmio y el Arsénico en los análisis, ya que estos metales no han

sido detectados (*i,e*,. bajo el límite de detección del método utilizado), Ademas, no se incluyó el Cobre, ya que sólo el año 2016 y 2019 fue detectado en los tres sectores de estudio,

Las concentraciones de Hierro fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en los tejidos de puyes analizados durante los años 2017 y 2019 y más bajas ($p<0,05$) durante los años 2016 y 2018 (Tabla 4.2.5.8). Las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes recolectados en el sector Ciruelos *versus* aquellos de los sectores Rucaco y río Calle Calle (Tabla 4.2.5.8). Las concentraciones de Aluminio fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes analizados durante los años año 2015 y 2017 *versus* los otros años de muestreo, Las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes recolectados en Ciruelos *versus* los capturados en Calle Calle y Rucaco (Tabla 4.2.5.8 y Fig. 4.2.5.12). Las concentraciones de Manganeso fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes analizados durante los años 2019 y 2014 y primariamente en los puyes recolectados en el sector Ciruelos (Tabla 4.2.5.8).

Las concentraciones de Zinc fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante los años 2015 y 2016 y en puyes analizados de los sectores de Ciruelos y Rucaco, cuyas concentraciones no difirieorn entre sí (Tabla 4.2.5.8). Las concentraciones de Plomo fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes analizados durante los años 2017 y 2018, y en peces del sector Calle Calle (Tabla 4.2.5.8). Las concentraciones de Mercurio fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes analizados durante el año 2016, en el sector de Ciruelos, (Tabla 4.2.5.8).

Tabla 4.2.5.8. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de metales pesados registrados en ejemplares completos de *Galaxias maculatus*. Los factores son Año de muestreo (2014 al 2019) y Sector (Ciruelos (Ci), Rucaco (Ru) y Calle Calle (CC)). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba, Las comparaciones *a posteriori* deben interpretarse con cautela cuando la interacción AxS es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Fe (**)	Año (A)	5	119032,3	23806,4	146,2	**< 0,001**	2017 =2019> 2014 >2015 >2016 =2018
	Sector (S)	2	67779,3	33889,6	208,1	**< 0,001**	Ci > Ru > CC
	A × S	10	154412,5	15441,2	94,8	**< 0,001**	
	Error	17	2767,5	162,7			
	Total	34	319478,1	9396,4			
Al (**)	Año (A)	5	197395,2	39479,0	193,4	**< 0,001**	2015 >2017 >2019> 2014 >2018 =2016
	Sector (S)	2	51577,6	25788,8	126,3	**< 0,001**	Ci >CC > Ru
	A × S	10	233391,9	23339,1	114,3	**< 0,001**	
	Error	17	3468,9	204,0			
	Total	34	477152,1	14033,8			
Mn (**)	Año (A)	5	1118,2	223,6	221,6	**< 0,001**	2019>2014 =2015 >2017 >2016 >2018
	Sector (S)	2	11977,7	5988,8	5933,8	**< 0,001**	Ci > Ru > CC
	A × S	10	8694,4	869,4	861,4	**< 0,001**	
	Error	17	17,1	1,009			
	Total	34	21909,6	644,4			
Zn (**)	Año (A)	5	9388,1	1877,6	151,7	**< 0,001**	2015 =2016 >2017 >2014=2019 >2018
	Sector (S)	2	41828,1	20914,0	1690,0	**< 0,001**	Ci= Ru > CC
	A × S	10	75327,4	7532,7	608,7	**< 0,001**	
	Error	17	210,3	12,3			
	Total	34	127993,9	3764,5			
Pb (**)	Año (A)	5	0,125	0,0250	27,7	**< 0,001**	2018 =2017 >2019=2014 =2016=2015
	Sector (S)	2	0,188	0,0941	104,7	**< 0,001**	CC > Ci= Ru
	A × S	10	0,127	0,0127	14,1	**< 0,001**	
	Error	17	0,015	0,0008			
	Total	34	0,455	0,0134			
Hg (**)	Año (A)	5	0,180	0,0360	1449,2	**< 0,001**	2016 >2019 >2017 >2014 >2018 >2015
	Sector (S)	2	0,0377	0,0188	759,3	**< 0,001**	Ci > Ru > CC
	A × S	10	0,210	0,0210	847,3	**< 0,001**	
	Error	17	0,0004	0,00002			
	Total	34	0,421	0,0124			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a $\log_{10}$, (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA.

Compuestos orgánicos

Ácidos grasos, Ácidos resínicos y AOX

Comparaciones en base a muestreos otoñales del período 2014-2019 en los sectores Ciruelos, Rucaco y Calle Calle (Chumpullo).

La Tabla 4.2.5.13 y la Figura 4.2.5.14. muestran las concentraciones de Ácidos Grasos y AOX, en los especímenes de *Galaxias maculatus,* recolectados en el área de estudio (Fig. 4.2.5.1), durante las campañas otoñales del período 2014-2019. No se detectaron Ácidos resínicos en puyes recolectados durante este estudio (Tabla 4.2.5.13).

Tabla 4.2.5.13, Concentración de Ácidos grasos, Ácidos resínicos y Compuestos Halogenados Adsorbibles (AOX) en tejidos de *Galaxias maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle durante el período 2014-2019. Los valores son promedios con una desviación estándar. * = no detectado, *i,e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	campañas	Ác, grasos (µg g^{-1})	Ác, Resínicos (µg g^{-1})	AOX (µg g^{-1})
Eje central del río Cruces	otoño 2014	2685,6 (347,3)	*	19,9 (2,6)
(área límnica)	otoño 2015	2330,9 (161,9)	*	12,1 (1,8)
sector Ciruelos	otoño 2016	1733,7 (218,8)	*	12,6 (0,8)
	otoño 2017	1165,5 (0,0)	*	19,7 (2,3)
	otoño 2018	907,8 (91,9)	*	30,7 (1,0)
	otoño 2019	1514,6 (-)	*	32,5 (-)
sector Rucaco	otoño 2014	4101,9 (115,1)	*	31,3 (4,2)
	otoño 2015	869,3 (163,7)	*	8,2 (0,3)
	otoño 2016	1763,8 (412,1)	*	13,2 (0,0)
	otoño 2017	1431,7 (197,6)	*	16,4 (1,8)
	otoño 2018	1098,4 (38,0)	*	30,5 (2,6)
	otoño 2019	1197,6 (204,4)	*	24,9 (1,0)
Fuera del humedal del río	otoño 2014	6692,6 (188,9)	*	22,7 (3,4)
Cruces y sus ríos tributarios	otoño 2015	2682,6 (18,7)	*	17,7 (3,6)
río Calle Calle, sector	otoño 2016	1757,5 (14,9)	*	13,5 (0,3)
Chumpullo	otoño 2017	2999,4 (113,7)	*	20,1 (0,1)
	otoño 2018	1181,4 (153,4)	*	34,7 (2,7)
	otoño 2019	1359,7 (175,2)	*	25,9 (0,1)

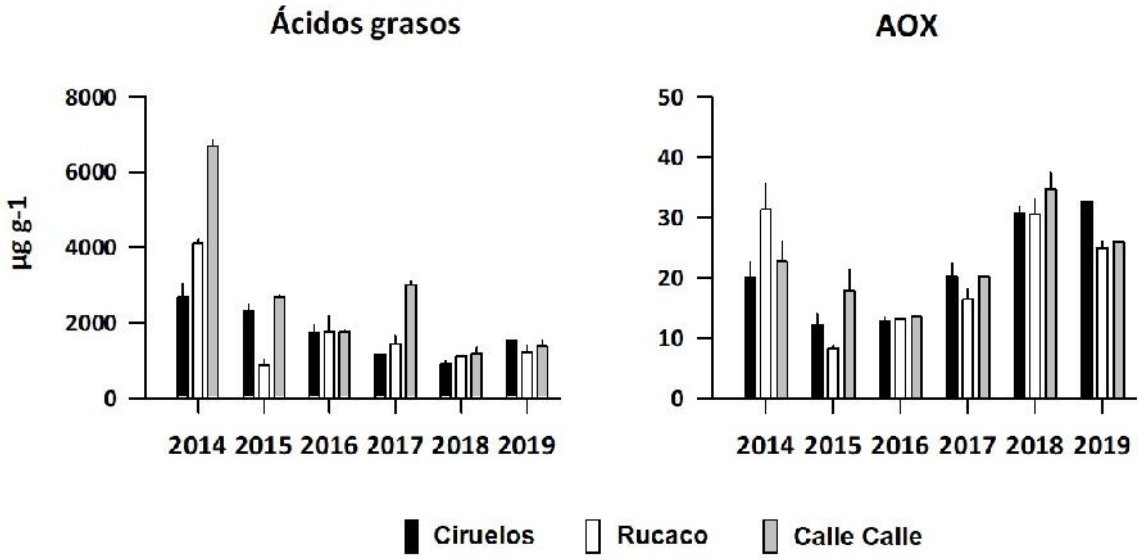


Figura 4.2.5.14. Concentración de Ácidos grasos y compuestos halogenados adsorbibles (AOX) en especímenes de *Galaxias maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante el período 2014-2019. Los valores son promedios con una desviación estándar.

Análisis estadísticos

Los resultados del análisis de ANDEVA factorial y prueba *a posteriori* de Tukey, efectuados para evaluar eventuales diferencias en las concentraciones de Ácidos grasos y AOX, entre los factores Año y Sector, indican que las concentraciones de Ácidos grasos presentes en tejidos de puyes, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2014 y en especímenes del río Calle Calle (Tabla 4.2.5.14). Por su parte, las concentraciones de AOX, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante los años 2018 y 2019, y en los sectores de Ciruelos y Calle Calle (Tabla 4.2.5.14).

Tabla 4.2.5.14. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de Ácidos grasos y AOX registrados en ejemplares completos de *Galaxias maculatus*. Los factores son Año de muestreo (2014 al 2019) y Sector (Ciruelos (Ci), Rucaco (R) y Calle Calle (CC)). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba, Las comparaciones *a posteriori* deben interpretarse con cautela cuando la interacción AxS es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Ácidos Grasos	Año (A)	5	1,207	0,241	90,60	**<0,001**	2014>2015=2016=2017=2019>2018
(*)(**)	Sector (S)	2	0,236	0,118	44,23	**<0,001**	CC > Ci =Ru
	A x S	10	0,389	0,0389	14,61	**<0,001**	
	Error	16	0,042	0,0026			
	Total	33	1,893	0,0574			
AOX	Año (A)	5	0,873	0,175	92,212	**<0,001**	2018=2019=2014>2017>2016=2015
(*)(**)	Sector (S)	2	0,0221	0,0111	5,842	0,012	Ci> CC> Ru
	A x S	10	0,152	0,0152	8,024	**<0,001**	
	Error	16	0,0322	0,00189			
	Total	34	1,072	0,0315			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados $\log_{10}$ o raíz cuadrada, (**) Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA.

Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos

Comparaciones en base a muestreos otoñales del período 2014-2019 en los sectores Ciruelos, Rucaco y Calle Calle (Chumpullo).

La Tabla 4.2.5.17 y la Figura 4.2.5.16 muestran las concentraciones de Dioxinas, Furanos y sus Equivalentes Tóxicos (EQTs), en especímenes de *G, maculatus* capturados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales del período 2014-2019.

Tabla 2.4.5.17. Concentración de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos (ETQs) en especímenes completos de puyes recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante el período 2014-2019. Los valores son promedios con una desviación estándar.

estaciones	Campañas	Dioxinas (ng g^{-1})	Furanos (ng g^{-1})	EQTs (ng g^{-1})
Eje central río Cruces	otoño 2014	0,00055 (0,00007)	0,00080 (0,00014)	0,00010 (0,00008)
(sector límnico)	otoño 2015	0,00080 (0,00000)	0,00240 (0,00014)	0,00010 (0,00001)
sector Ciruelos	otoño 2016	0,00060 (0,00014)	0,00040 (0,00014)	0,00009 (0,00005)
	otoño 2017	0,00095 (0,00002)	0,00026 (0,00004)	0,00011 (0,00007)
	otoño 2018	0,00071 (0,00007)	0,00026 (0,00001)	0,00006 (0,00002)
	otoño 2019	0,00117 (0,00047)	0,00099 (0,00124)	0,00010 (0,00012)
sector Rucaco	otoño 2014	0,00085 (0,00021)	0,00110 (0,00000)	0,00007 (0,00001)
	otoño 2015	0,00175 (0,00007)	0,00215 (0,00092)	0,00010 (0,00009)
	otoño 2016	0,00034 (0,00009)	0,00035 (0,00007)	0,00008 (0,00007)
	otoño 2017	0,00104 (0,00001)	0,00025 (0,00003)	0,00006 (0,00000)
	otoño 2018	0,00071 (0,00022)	0,00044 (0,00037)	0,00009 (0,00004)
	otoño 2019	0,00069 (0,00014)	0,00044 (0,00030)	0,00004 (0,00002)
Fuera del humedal del	otoño 2014	0,00155 (0,00035)	0,00165 (0,00007)	0,00016 (0,00013)
río Cruces y sus ríos	otoño 2015	0,00055 (0,00007)	0,00070 (0,00000)	0,00004 (0,00000)
Tributarios	otoño 2016	0,00035 (0,00007)	0,00055 (0,00021)	0,00004 (0,00003)
Río Calle Calle	otoño 2017	0,00948 (0,00018)	0,00218 (0,00001)	0,00094 (0,00002)
Sector Chumpullo	otoño 2018	0,00428 (0,00132)	0,00369 (0,00224)	0,00077 (0,00006)
	otoño 2019	0,00211 (0,00015)	0,00185 (0,00013)	0,00023 (0,00000)

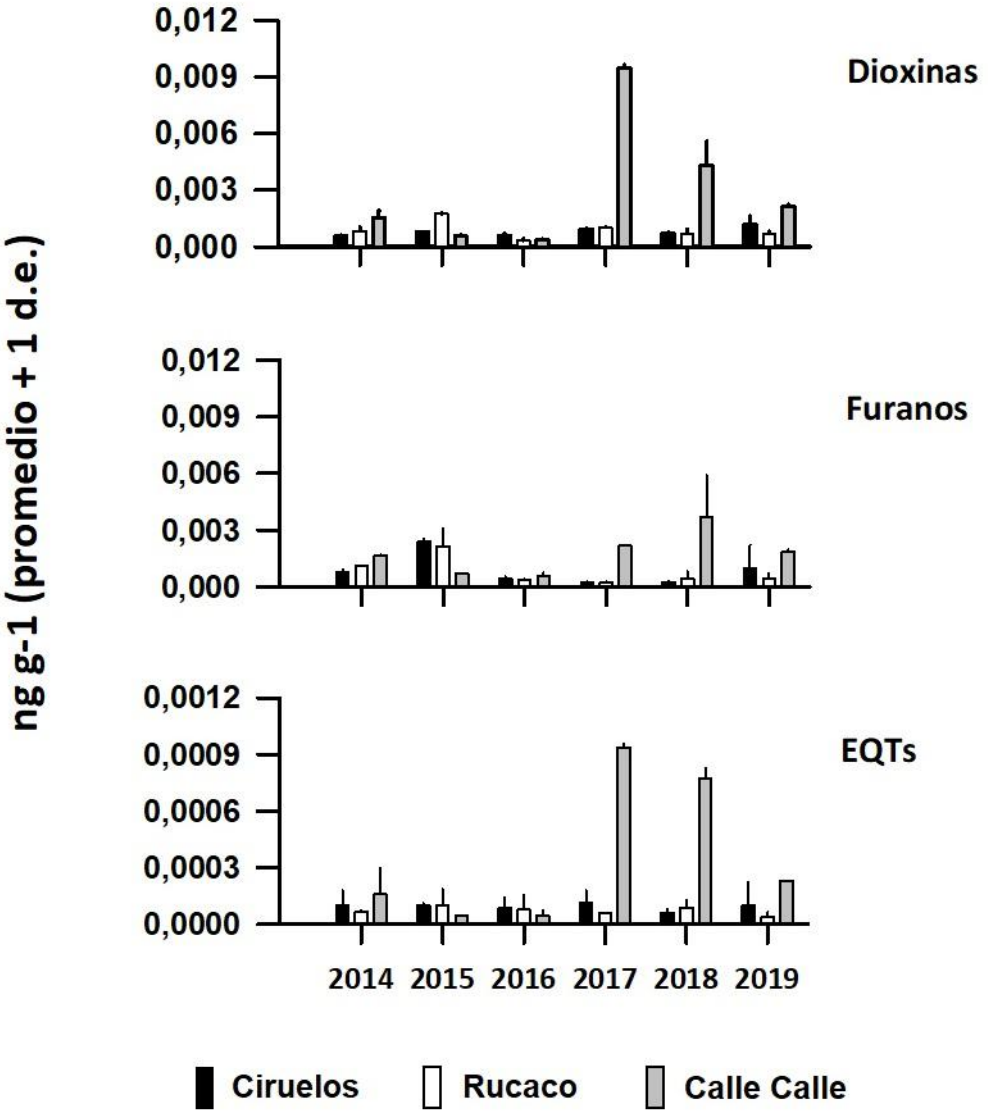


Figura 4.2.5.16. Concentración de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos (ETQs) en especímenes de *G, maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante el período 2014-2019. Los valores son promedios con una desviación estándar.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.2.5.18. muestra los resultados del ANDEVA factorial y prueba *a posteriori* de Tukey, utilizados para evaluar el efecto de los factores Año y Sector en las concentraciones de Dioxinas, Furanos y Equivalentes tóxicos (EQTs) en tejidos de puyes. Las Dioxinas fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2017, en puyes del río Calle Calle versus aquellos de los sectores Ciruelos y Rucaco los cuales no difirieron entre sí (tabla 4.2.5.18).

Las concentraciones de Furanos fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante los años 2015 y 2016, en ejemplares del río Calle Calle (Tabla 4.2.5.18), a la vez que las concentraciones de Equivalentes tóxicos (EQTs), fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en los puyes capturados durante las campañas de los años 2017 y 2018 y en el río Calle Calle (Tabla 4.2.5.18).

Tabla 4.2.5.18. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de Dioxinas, Furanos y Equivalentes tóxicos, registrados en ejemplares completos de *Galaxias maculatus*. Los factores son Año de muestreo (2014 al 2019) y Sector (Ciruelos, Rucaco y Calle Calle). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba. Las comparaciones a *posteriori* deben interpretarse con cautela cuando la interacción AxS es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Dioxinas	Año (A)	5	1,665	0,333	42,029	**<0,001**	2017 >2018 >2019>2014>2015>2016
(*)(**)	Sector (S)	2	0,934	0,467	58,972	**<0,001**	CC > Ci= Ru
	A × S	10	1,929	0,193	24,345	**<0,001**	
	Error	18	0,143	0,0079			
	Total	35	4,671	0,133			
Furanos	Año (A)	5	1,323	0,265	3,997	0,013	2015>2016 =2014=2019=2018=2017
(*)(**)	Sector (S)	2	1,419	0,710	10,717	**< 0,001**	CC> Ci >Ru
	A × S	10	2,254	0,225	3,404	0,012	
	Error	18	1,192	0,0662			
	Total	35	6,188	0,177			
EQTs	Año (A)	5	0,00000049	0,000000098	25,628	**<0,001**	2017=2018 >2019=2016=2015=2014
(**)	Sector (S)	2	0,00000063	0,000000317	82,405	**<0,001**	CC > Ci = Ru
	A × S	10	0,00000103	0,000000103	26,730	**< 0,001**	
	Error	18	0,00000006	0,000000003			
	Total	35	0,00000222	0,000000063			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados $\log_{10}$ o raíz cuadrada. (**) Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA.

Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PCDD

Comparaciones en base a muestreos otoñales del período 2014-2019 en los sectores Ciruelos, Rucaco y Calle Calle (Chumpullo).

La Tabla 4.2.5.21 y la Figura 4.2.5.18 muestran las concentraciones de las Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.3.7.8-PCDD en especímenes de *Galaxias maculatus,* recolectados durante las campañas otoñales del período 2014-2019.

Durante los años 2014, 2015, 2016 y 2019, no se detectó la Dioxina 2.3.7.8-TCDD, en los puyes capturados en los sectores de Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, a la vez que durante los años 2017 y 2018 si se la detectó en puyes de los tres sectores (Tabla 4.2.5.21 y Fig. 4.2.5.18).

La Dioxina 1.2.3.7.8-PCDD fue en general, detectada en puyes de los tres sectores (Ciruelos, Rucaco y Calle Calle) y aún no mostró tendencias anuales marcadas, no se la detectó en general durante los dos últimos años del período (2018 y 2019) (Tabla 4.2.5.21 y Fig. 4.2.5.18). No se realizaron análisis estadísticos para estos compuestos, ya que no fueron detectados en todas las campañas.

Tabla 4.2.5.21. Concentración de Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y Dioxinas 1.2.3.7.8-PCDD en especímenes completos de puyes recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales del período 2014-2019. Los valores son promedios con una desviación estándar.

estaciones	Campañas	2.3.7.8-TCDD (ng g^{-1})	1.2.3.7.8-PCDD (ng g^{-1})
Eje central del río Cruces	otoño 2014	*	0,00010
(sector límnico)	otoño 2015	*	*
sector Ciruelos	otoño 2016	*	0,00010
	otoño 2017	0,00003 (0,00000)	0,00008
	otoño 2018	0,00002 (0,00002)	*
	otoño 2019	*	*
sector Rucaco	otoño 2014	*	*
	otoño 2015	*	*
	otoño 2016	*	0,00005 (0,00007)
	otoño 2017	0,00003 (0,00000)	*
	otoño 2018	0,00005 (0,00001)	*
	otoño 2019	*	*
Fuera del humedal del río	otoño 2014	*	0,0001
Cruces y sus ríos tributarios	otoño 2015	*	*
río Calle Calle sector	otoño 2016	*	*
Chumpullo	otoño 2017	0,00016 (0,00001)	0,00039 (0,00002)
	otoño 2018	0,00025 (0,00000)	0,00017 (0,00003)
	otoño 2019	*	*

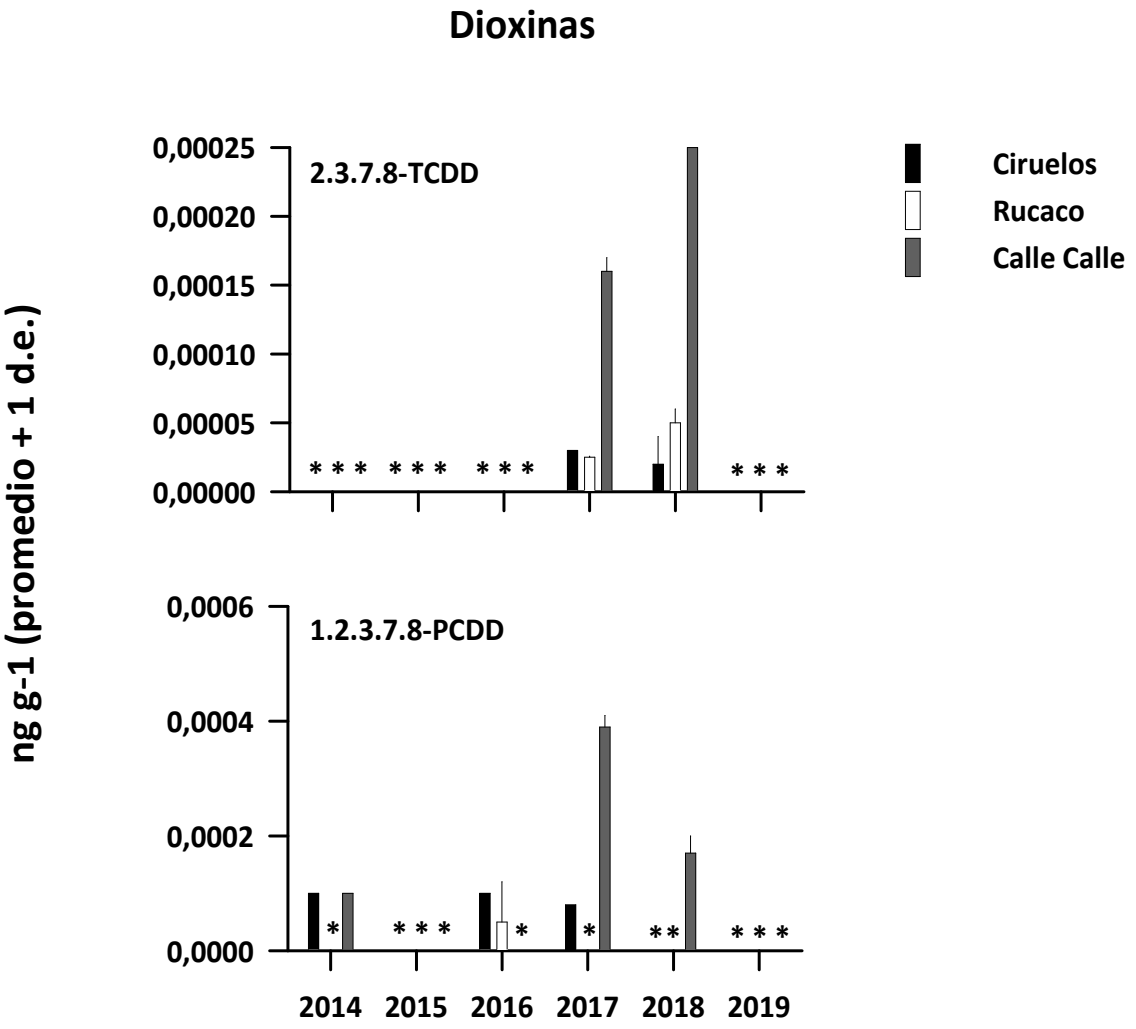


Figura 4.2.5.18. Concentracion de Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PCDD en especímenes de *Galaxias maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante el período 2014-2019. Los valores son promedio con una desviación estándar. * = No detectado, *i,e*., bajo el limite de detección del método utilizado.

4.2.5.4.3. Evaluación del estado sanitario y análisis histopatológicos

Estado sanitario

La Tabla 1 muestra las fechas de recolección de Puyes (*Galaxias maculatus*), durante la campaña realizada en el mes de mayo del año 2019; en la Tabla 2 se resumen los análisis bacteriológicos y virológicos efectuados en las muestras de Puyes analizadas y se describen los resultados de estos análisis según sector y fecha de muestreo.

Tabla 1. Fechas de recepción de los Puyes (*Galaxias maculatus*) analizados durante mayo de 2019. A cada fecha de ingreso le fue asignado el n° de caso y se indica la cantidad de peces recepcionada según el sector de muestreo.

sectores	n° caso	fecha	especie	n° peces
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
sector Ciruelos	02	02-Mayo-2019	*G. maculatus*	33
sector Rucaco	04	03-Mayo-2019	*G. maculatus*	24
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
sector Punucapa	06	14-Mayo-2019	*G. maculatus*	25
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
río Pichoy interior	03	02-Mayo-2019	*G. maculatus*	20
río Cayumapu interior	07	14-Mayo-2019	*G. maculatus*	20
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
río Calle Calle	05	09-Mayo-2019	*G. maculatus*	24

Tabla 2. Resumen de resultados de análisis sanitarios de *Galaxias maculatus* durante la campaña otoñal del año 2019, según sector, número de caso, fecha de muestreo y número de peces (*cf*. Fig. 4.2.5.1 para ubicación de los sectores, las que están representadas por números). TSA= agar de soya tripticasa; TYES= agar triptona, extracto de levadura y sales; n° = número de animales en la muestra analizada.

Sectores	n° caso	Fechas	Especie	n°	Bacteriología	Resultados	PCR IPNV	Resultados
Ciruelos	02	02-Mayo-19	*G. maculatus*	33	TSA: Riñón (1) Hígado (3) TYES: Riñón (1) Hígado (3)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: Corazón, riñón, Bazo (5)	negativo 1/1
Rucaco	04	03-Mayo-19	*G. maculatus*	24	TSA: Hígado (4) TYES: Hígado (4)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: Corazón, hígado, bazo (5)	negativo 1/1
Punucapa	06	14-Mayo-19	*G. maculatus*	25	TSA: Riñón (4) TYES: Riñón (4)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: Corazón, hígado, bazo (5)	negativo 1/1
río Pichoy	03	02-Mayo-19	*G. maculatus*	20	TSA: Hígado (4) TYES: Hígado (4)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: Corazón, hígado, bazo (5)	negativo 1/1
río Cayumapu	07	14-Mayo-19	*G. maculatus*	20	TSA: Riñón (4) TYES: Riñón (4)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: Corazón hígado, bazo (5)	negativo 1/1
río Calle Calle	05	09-Mayo-19	*G.maculatus*	23	TSA: Riñón (4) TYES: Riñón (4)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: Corazón, riñón, bazo (5)	negativo 1/1

De la Tabla 2 se desprende que no se detectó desarrollo bacteriano como tampoco presencia del virus IPN (Necrosis Pancreática Infecciosa), como indicadores del estado sanitario de las muestras de Puyes analizadas para todos los sectores estudiados.

La identificación de parásitos a través de análisis en fresco desde **piel** y **branquias** de los Puyes recolectados durante la campaña otoñal de 2019, según estación y número de caso, se presenta a continuación:

sector Ciruelos Caso 02.19

Branquias (10): Abundante presencia de *Trichodina en* 2/10 y moderada en 5/10*,* abundante presencia de *Dactylogyrus* 4/10 y escasa en 4/10, abundante presencia de *Epystilis* en 3/10 y escasa en 6/10.

sector Rucaco Caso 04.19

Branquias (10): Escasa presencia de *Trichodina* 9/10, abundante presencia de *Dactylogyrus* 1/10 y escasa 5/10, abundante presencia *Epystilis* en 5/10.

sector Punucapa Caso 06.19

Branquias (10): Escasa presencia de *Trichodina* 1/10, abundante presencia de *Dactylogyrus* 2/10 y moderada 4/10*,*

Piel (1): Hifas de hongo no septado.

sector río Pichoy Caso 03.19

Branquias (9): Abundante presencia de *Trichodina* 3/9 y escasa 2/9, abundante presencia de *Dactylogyrus* 5/9 y escasa presencia 2/9, escasa presencia *Epystilis* en 1/9 y escasa presencia de Costia.

sector río Cayumapu Caso 07.19

Branquias (10): Escasa presencia de *Trichodina* 4/10, abundante presencia de *Dactylogyrus* 2/10 y escasa presencia 2/10.

sector río Calle Calle Caso 05.19

Branquias (12): Abundante presencia de *Trichodina* 1/12 y moderada 3/12, moderada presencia de *Dactylogyrus* 6/12 y escasa 2/12, abundante presencia de *Epistilus* 2/12 y moderada presencia 2/12.

Se destaca que los parásitos externos *Dactylogyrus* y *Tricodina*, están presentes en las branquias de los Puyes muestreados en todos los sectores, además, el género Epistilus estuvo presente en los sectores Ciruelos, Rucaco, Pichoy y Calle Calle. Por otra parte, es interesante que el género Costia, anteriormente no detectado, se presentó en un ejemplar del sector Pichoy. De los Géneros detectados, el importante por el impacto de la parasitosis es *Dactylogyrus,* el cual aumenta en casos de estrés ambiental, especialmente aumentos bruscos de temperatura y bajas de oxígeno en el agua.

A nivel de piel no se detectaron parásitos, salvo en un ejemplar del sector Punucapa en que se encontraron hifas de un hongo no septado, probablemente *Saprolegnia* sp. que pudiera ser consecuencia de la invasión de una herida cutánea.

No se detectaron Puyes con signos clínicos de enfermedad, como tampoco bacterias o el virus IPN; sin embargo, la presencia de parásitos fue un hallazgo constante. Durante las observaciones en fresco se observó daño branquial asociado a la presencia de esos parásitos; sin embargo, las cantidades de parásitos no reflejan una parasitosis clínica. Entre estos organismos; predominaron protozoos como *Trichodina* sp. y trematodos monogéneos como *Dactylogirus* sp, los cuales pueden causar mortalidad de los peces si las condiciones ambientales provocan un estrés crónico especialmente los cambios bruscos de oxígeno y temperatura en el agua.

En síntesis, los hallazgos más remarcables sobre el estado sanitario de la ictiofauna, fueron la importante carga parasitaria encontrada en individuos del Puye (*Galaxias maculatus*), tanto en abundancia como número de especies de parásitos. Se destacó la presencia del trematodo *Dactylogyrus* sp. y del protozoo *Trichodina* sp. en branquias. Con relación al protozoo Epystilis, su presencia en branquias no se reporta como de importancia. Ninguno de los parásitos encontrados en la ictiofauna analizada representa riesgo de salud para las personas.

En las muestras de peces analizadas en forma microscópica se detectó la presencia de hifas de un hongo no septado, compatible con *Saprolegnia* sp., en la piel de un ejemplar del sector Punucapa.

Análisis histopatológicos

En la Tabla 3 se detallan los hallazgos histopatológicos en los Puyes (*Galaxias maculatus*) recolectados en los seis sectores durante la campaña del otoño 2019. De cada estación se examinaron cinco ejemplares. El análisis histopatológico realizado en cinco ejemplares de Puye recolectados en cada uno de los sectores, se efectuó mediante cortes sagitales de cada uno de los peces, lo que permitió observar la mayoría de los tejidos, ya que debido a la metodología empleada, según el ángulo del corte sagital de los peces y la ubicación anatómica de cada órgano, es casi imposible que en un corte histológico o cortes seriados, estén presentes todos los órganos de un Puye. En total, para los 30 peces se realizaron 90 láminas histológicas, conteniendo 225 cortes sagitales.

Tabla 3. Resumen con el detalle de los hallazgos histopatológicos en los Puyes (*Galaxias maculatus*) recolectados durante la campaña de otoño 2019. Se indican sectores y fechas de muestreo (cinco peces por estación). Los números entre paréntesis indican la frecuencia para cada hallazgo. (*cf*. Fig. 4.2.5.1 para ubicación de los sectores). SNC = Sistema Nervioso Central, **S/A =** sin alteraciones, **OND =** órgano no disponible, debido al ángulo de corte microscópico y la ubicación anatómica del órgano en el Puye.

sectores	fecha	SNC	cavidad abdominal	hígado	riñón	páncreas	corazón	branquias	estómago	ciegos pilóricos / intestino	bazo	musculatura	gónadas
Ciruelos	02-may-19	S/A (5)	Trematodos (3) S/A (2)	Trematodos (2) S/A (3)	nefritis (1) S/A (4)	Trematodos (1) S/A (3) OND (1)	S/A (4) OND (1)	branquitis (5) *Trichodina* (3) *Ichthyophthirium* (2) Trematodos (3)	S/A (5)	Trematodos (1) S/A (3) OND (1)	OND (5)	S/A (5)	testículo (4) ovario (1)
Rucaco	03-may-19	S/A (5)	Trematodos (1) S/A (4)	Trematodos (2) S/A (3)	nefritis (1) S/A (4)	S/A (5)	S/A (2) OND (3)	branquitis (5) *Trichodina* (5) Trematodos (2)	S/A (5)	Trematodos (3) S/A (1) OND (1)	congestión (2) S/A (1) OND (2)	Trematodos (1) S/A (4)	testículo (3) ovario (1) OND (1)
Punucapa	14-may-19	S/A (5)	Nematodos Anisakidae (1) (Trematodos (2) S/A (2)	Trematodos (1) S/A (4)	nefritis (1) S/A (4)	S/A (5)	S/A (3) OND (2)	branquitis (3) hiperplasia epitelial (2) *Trichodina* (2) Trematodos (2)	S/A (5)	S/A (5)	congestión (2) S/A (2) OND (1)	Trematodos (1) S/A (4)	testículo (2) ovario (3)
Pichoy	02-may-19	Trematodos (1) S/A (4)	Nematodos Anisakidae (4) Trematodos (1)	Trematodos (1) S/A (2) OND (2)	nefritis (3) S/A (2)	Nematodos Anisakidae (1) S/A (4)	S/A (2) OND (3)	branquitis (5) *Trichodina* (5) Trematodos (2)	S/A (5)	S/A (5)	congestión (1) S/A (1) OND (3)	Trematodos (2) S/A (3)	testículo (1) ovario (4)
Cayumapu	14-may-19	S/A (5)	Nematodos Anisakidae (2) Trematodos (4)*	S/A (5)	nefritis (2) S/A (3)	S/A (4) OND (1)	S/A (2) OND (3)	branquitis (4) hiperplasia epitelial (1) Trematodos (4)	Trematodos (1) Nematodo *Camallanus* (1) S/A (3)	S/A (5)	congestión (2) S/A (2) OND (1)	S/A (5)	testículo (4) ovario (1)
Calle Calle	09-may-19	S/A (4) OND (1)	Trematodos (3) S/A (2)	degeneración leve (1) Trematodos (1) S/A (3)	nefritis (1) S/A (4)	S/A (5)	S/A (5)	branquitis (2) hiperplasia epitelial (3) *Trichodina* (1) *Ichthyophthirium* (1)	Trematodos (1) S/A (4)	S/A (5)	congestión (3) OND (2)	Trematodo (1) S/A (4)	testículo 1) ovario (3) OND (1)

*****Un pez presentó Trematodos y Nematodos en cavidad abdominal

De acuerdo a los resultados que se indican en la Tabla 3, en ninguno de los especímenes analizados se observó evidencia de características compatibles con un cuadro infeccioso bacteriano o viral específico, así como tampoco se encontraron indicios de daño de origen tóxico o carencial. Sin embargo, al igual que durante las campañas de los años 2014 al 2018, llama la atención el marcado parasitismo encontrado (ver Tabla 4), lo que es interpretado como habitual para el Puye (*Galaxias maculatus*) al ser un pez presa que actúa principalmente como hospedador intermediario (Fernández *et al*., 2015).

A continuación, se comentan los hallazgos realizados, producto del análisis de los tejidos de treinta peces examinados durante la campaña del otoño 2019:

Sistema nervioso central

El único hallazgo de importancia, lo constituyó la presencia de parásitos en la médula espinal. La identificación parasitológica permitió reconocer a un Trematoda de la Familia Digenea en un pez del sector Pichoy. Esta parasitosis también se presenta en peces de cultivo, como truchas y salmones.

Cavidad abdominal

El hallazgo de mayor importancia, lo constituyó la presencia de parásitos en la cavidad abdominal en peces de los seis sectores. A diferencia de los años 2017 y 2018, los peces del sector Calle Calle presentaron parásitos a nivel de cavidad abdominal. El parasitismo estuvo presente en 20 ejemplares del total de 30 analizados. La identificación parasitológica permitió reconocer a Trematoda de la Clase Digenea en 14 ejemplares (todos los sectores), así como Nematoda de la Familia Anisakidae en siete peces (sectores Punucapa, Pichoy y Cayumapu).

Hígado

En 28 de los 30 peces examinados microscópicamente, se logró observar el hígado. En un ejemplar del sector Calle Calle se presentó degeneración leve de hepatocitos. En siete peces se encontraron parásitos y en 20 peces no se encontró ninguna alteración. Los parásitos encontrados en el hígado fueron de los sectores Ciruelos (dos peces), Rucaco (dos peces), Punucapa (un pez), Pichoy (un pez) y Calle Calle (un pez) se identificaron como metacercarias de Trematodo Clase Digenea. Un pez del sector Calle Calle evidenció degeneración de hepatocitos en grado leve (tumefacción turbia); este trastorno reversible es una respuesta a la acción de un irritante leve a moderado, así como también con una mayor exigencia metabólica del órgano.

Riñón

De los 30 peces examinados microscópicamente, 21 no presentaron alteraciones. En los nueve peces restantes se encontró nefritis. La inflamación del parénquima renal (nefritis) fue de tipo mononuclear, con una distribución multifocal y en grado leve a moderado, encontrándose en peces de todos los sectores. Esta reacción del tejido renal pudiera obedecer a una reacción inflamatoria inespecífica. Al respecto, en un pez del año pasado se encontraron restos calcificados de un parásito no identificable. Ninguna muestra de riñón presentó hallazgos compatibles con la acción de elementos o compuestos tóxicos.

Páncreas

De los 30 peces examinados microscópicamente, 26 no presentaron alteraciones pancreáticas, un pez evidenció Nematoda de la Familia Anisakidae (sector Pichoy), un ejemplar evidenció metacercarias de Trematoda de la Clase Digenea (sector Ciruelos).

Corazón

De los 30 peces examinados microscópicamente, 18 no presentaron alteraciones cardíacas. Por otra parte, en 12 peces no salió incluido tejido cardíaco en los cortes histológicos realizados.

Branquias

De los 30 peces examinados microscópicamente, en 24 de ellos se encontró inflamación (branquitis) en grado leve a moderado y en seis ejemplares se observó hiperplasia de lamelas secundarias. En 23 peces se encontró presencia de parásitos, de los cuales seis ejemplares presentaron dos o más tipos de parásitos. Los parásitos identificados fueron los protozoos ciliados *Trichodina* sp. e *Ichthyophthirius multifilis*, así como Trematodos de la Clase Monogenea, Familia Ancyrocephalidea y Trematodos de la Clase Digenea. El protozoo *Trichodina* sp. fue encontrado en un total de 16 peces de los sectores Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy y Calle Calle. El protozoo *Ichthyophthirius multifilis* se encontró en tres peces de los sectores Ciruelos y Calle Calle. El Trematodo de la Clase Monogenea Familia Ancyrocephalidea (en siete peces) fue observado en los sectores Ciruelos (un pez, afectado con *Ichthyophthirius multifilis*), Pichoy (dos peces, ambos con *Trichodina* sp.), Rucaco (un pez, afectado con *Trichodina* sp.), Punucapa (un pez, afectado con *Trichodina* sp.) y Cayumapu (dos peces, ambos con *Trichodina* sp.). El Trematodo de la Clase Digenea fue observado en los sectores Ciruelos (dos peces, con *Trichodina* sp.), Punucapa (un pez), Cayumapu (dos peces, uno de ellos con Trematodo de la Clase Monogenea). En todos los peces en que se observó branquitis, ésta estuvo asociada a la presencia de parásitos, por otra parte, aquellos ejemplares con hiperplasia epitelial de las lamelas secundarias, no presentaron parásitos.

Estómago

De los 30 peces examinados microscópicamente, 27 no presentaron alteraciones gástricas, además, nueve de ellos presentaban abundante contenido alimenticio. El Trematodo de la Clase Digenea fue observado en los sectores Cayumapu (un pez) y Calle Calle (un pez). Adicionalmente, en el sector Cayumapu se encontró un pez con un Nematodo compatible con el género *Camallanus* en el estómago.

Ciegos pilóricos/intestino

En 24 de los 30 peces examinados microscópicamente, no se encontraron lesiones histopatológicas a nivel intestinal; un ejemplar presentó una metacercaria de Trematodo Clase Digenea, Familia Diplostomidae (sector Ciruelos), tres peces presentaron Trematodo Clase Digenea (sector Rucaco).

Bazo

De los 30 peces examinados microscópicamente, seis ejemplares no evidenciaron lesiones en el bazo, diez peces presentaron congestión (sectores Rucaco, Punucapa, Pichoy, Cayumapu y Calle Calle) y en 14 Puyes no se encontró tejido esplénico en los cortes histológicos realizados (entre ellos los cinco peces del sector Ciruelos). Al igual que lo observado en riñón, la presencia de congestión a nivel esplénico puede asociarse a una activación del sistema inmune por el marcado compromiso parasitario de estos ejemplares, ya que en ninguno de los peces con esta reacción se encontraron signos de una infección viral o bacteriana.

Musculatura

De los 30 peces examinados microscópicamente, 25 no evidenciaron lesiones musculares tales como hemorragia, degeneración, inflamación o necrosis. En cinco peces se observaron ejemplares de Trematodo Clase Digenea Familia Diplostomidae a nivel muscular.

Gónadas

En 28 de los 30 peces examinados microscópicamente, se logró observar gónadas, encontrándose 15 testículos y 13 ovarios; en dos peces no se encontró tejido gonadal en las láminas histológicas.

Tabla 4. Identificación parasitaria histopatológica en Puyes durante la campaña del otoño 2019, según sector y tejido afectado. SNC = Sistema Nervioso Central. (*cf*. Fig. 4.2.5.1 para ubicación de los sectores).

Sectores	Tejido	Identificación
Ciruelos	branquia	Protozoo ciliado *Ichthyophthirius multifilis*
Ciruelos	branquia	Protozoo ciliado *Trichodina* sp.
Ciruelos	branquia	Protozoo ciliado *Trichodina* sp.
Ciruelos	branquia	Trematodo, Clase Monogenea, Familia Ancyrocephalidea
Ciruelos	branquia	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Ciruelos	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, Familia Diplostomidae
Ciruelos	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, Familia Diplostomidae
Ciruelos	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Ciruelos	intestino	Trematodo, Clase Digenea, Familia Diplostomidae
Ciruelos	páncreas	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Pichoy	branquia	Trematodo, Clase Monogenea, Familia Ancyrocephalidea
Pichoy	branquia	Trematodo, Clase Monogenea, Familia Ancyrocephalidea
Pichoy	cavidad abdominal	Nematodo, Familia Anisakidae, estadios larvarios enquistados
Pichoy	cavidad abdominal	Nematodo, Familia Anisakidae
Pichoy	cavidad abdominal	Nematodo, Familia Anisakidae
Pichoy	cavidad abdominal	Nematodo, Familia Anisakidae
Pichoy	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, Familia Diplostomidae
Pichoy	páncreas	Nematodo, Familia Anisakidae, estadios larvarios enquistados
Pichoy	hígado	Estructura no identificable
Pichoy	médula espinal	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Pichoy	musculatura	Estructura no identificable
Pichoy	musculatura	Trematodo, Clase Digenea
Rucaco	branquia	Trematodo, Clase Monogenea, Familia Ancyrocephalidea

Rucaco	hígado	Estructura no identificable
Rucaco	hígado	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Rucaco	intestino	Estructura no identificable
Rucaco	intestino	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Rucaco	musculatura	Estructura no identificable
Calle Calle	branquia	Protozoo ciliado *Ichthyophthirius multifilis*
Calle Calle	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Calle Calle	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, Familia Diplostomidae
Calle Calle	estómago	Trematodo, Clase Digenea
Calle Calle	musculatura	Trematodo, Clase Digenea, Familia Diplostomidae
Punucapa	branquia	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Punucapa	branquia	Trematodo, Clase Monogenea, Familia Ancyrocephalidea
Punucapa	cavidad abdominal	Nematodo, Familia Anisakidae, estadios larvarios enquistados
Punucapa	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Punucapa	hígado	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Cayumapu	branquia	Trematodo, Clase Monogenea, Familia Ancyrocephalidea
Cayumapu	branquia	Estructura no identificable
Cayumapu	branquia	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Cayumapu	branquia	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Cayumapu	branquia	Trematodo, Clase Monogenea, Familia Ancyrocephalidea
Cayumapu	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, Familia Diplostomidae
Cayumapu	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, Familia Diplostomidae
Cayumapu	cavidad abdominal	Nematodo, Familia Anisakidae, estadios larvarios enquistados
Cayumapu	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, Familia Diplostomidae
Cayumapu	cavidad abdominal	Nematodo, Familia Anisakidae, estadios larvarios enquistados
Cayumapu	estómago	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Cayumapu	estómago	Nematodo, compatible con el género *Camallanus*

Comparaciones interanuales

La Tabla 5 muestra que, considerando los diferentes tejidos analizados en los Puyes de cada sector de muestreo, existen leves variaciones en la presencia de parásitos al comparar las seis campañas otoñales hasta ahora realizadas durante los años 2014 al 2019. Lo realmente importante es que se han mantenido los mismos parásitos en los diferentes tejidos, siendo la mayoría de ellos estados larvarios que corresponden a etapas del desarrollo dentro del Puye. Este pez actúa como un hospedador intermediario en el ciclo de los parásitos trematodos, siendo presa para otros peces y aves piscívoras, los cuales son los hospedadores definitivos de dichos parásitos (Fernández *et al.,* 2015). Por otra parte, en esta última campaña se encontró por primera vez un ejemplar compatible con un Nematodo del género *Camallanus*, el cual estuvo presente en el estómago de un pez del sector Cayumapu, al respecto, *Camallanus corderoi* fue descrita en peces autóctonos, incluyendo Puyes, en la cuenca del río Valdivia (Torres *et al*., 1990)

La Tabla 6 muestra que en las seis campañas otoñales no se han detectado agentes virales tipo IPN (virus de la necrosis pancreática infecciosa), como tampoco agentes micóticos (hongos). Durante la campaña del año 2014 se detectaron agentes bacterianos como *Aeromonas hydrophila* en Puyes de sector Ciruelos y *Pseudomonas aeruginosa* y *Alcaligenes faecalis* en Puyes de sector Calle-Calle. En ambos casos sin signos de enfermedad. Estas especies bacterianas corresponden a la flora microbiana de los Puyes y no se detectaron en las campañas otoñales de los años 2015 al 2019. Respecto de alteraciones histopatológicas en las seis campañas otoñales no se detectó lesiones indicativas de cuadro infeccioso o tóxico en los tejidos analizados. El desarrollo gonadal observado durante el otoño 2019 corresponde, al de testículos inactivos, lo que no concuerda con lo observado en campañas anteriores, en que se apreciaron testículos activos, salvo en el año 2017 que solo se apreciaron testículos inactivos. Esta diferencia puede radicar en que el muestreo durante el otoño 2019 fue más temprano que en los años anteriores al igual que el 2017 (aprox. 1 mes).

La carga parasitaria visualizada no es importante del punto de vista de enfermedad parasitaria, debido posiblemente a que los parámetros ambientales al momento de los muestreos están dentro de los rangos normales para la especie, y así los parásitos y los Puyes mantienen un equilibrio, lo que junto a la ausencia de agentes virales citopatogénicos, bacterianos y fúngicos indica la presencia de un estado sanitario en equilibrio.

Tabla 5. Comparación de la presencia parasitaria en Puyes (*Galaxias maculatus*) durante las campañas otoñales de los años 2014-2019, según sitios de muestreo y tejidos afectados. (*cf*. Fig. 4.2.5.1 para ubicación de los sectores). SNC = Sistema Nervioso Central.

sectores	**SNC**						**cavidad abdominal**						**hígado**					
	2014	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
Ciruelos	Si	Si	No	Si	No	No	No	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	No	Si	No	Si
Rucaco	No	Si	Si	No	No	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	Si	Si	Si	Si
Punucapa	No	No	Si	No	Si	No	No	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	No	No	No	Si
Pichoy	Si	Si	No	No	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	No	Si	Si
Cayumapu	Si	Si	Si	No	Si	No	No	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	No	No
Calle Calle	No	Si	Si	No	No	No	Si	Si	Si	No	No	Si	No	No	No	No	No	Si

Continuación **Tabla 5.**

sectores	**riñón**						**páncreas**						**corazón**					
	2014	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
Ciruelos	Si	Si	No	Si	No	No	Si	No	No	No	No	Si	No	No	Si	No	No	No
Rucaco	No	No	Si	No	Si	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Punucapa	No	No	No	No	No	No	No	Si	Si	No	Si	No	No	Si	No	No	No	No
Pichoy	Si	No	No	No	No	No	No	Si	No	No	Si	Si	No	Si	No	No	No	No
Cayumapu	No	Si	No	No	No	No	No	Si	Si	No	Si	No	No	No	Si	No	No	No
Calle Calle	No	No	No	No	No	No	No	Si	No	No	No	No	No	Si	No	No	No	No

Continuación **Tabla 5.**

sectores	**Branquia**						**estómago**						**ciegos pilóricos intestino**					
	2014	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
Ciruelos	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	No	No	No	Si	Si	No	No	Si	Si
Rucaco	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	No	No	No	No	Si	No	Si	Si	No	Si
Punucapa	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	No	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No
Pichoy	No	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	No	Si	No	No	Si	Si	No	Si	No	No
Cayumapu	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	No
Calle Calle	No	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	No	No	No	Si	No	Si	No	No	Si	No

Continuación **Tabla 5.**

sectores	**musculatura**					
	2014	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
Ciruelos	No	No	No	No	No	No
Rucaco	No	No	No	No	No	Si
Punucapa	No	No	No	No	No	Si
Pichoy	No	No	No	No	No	Si
Cayumapu	No	Si	Si	No	No	No
Calle Calle	No	No	No	No	No	Si

Tabla 6. Comparación de los hallazgos virológicos, bacteriológicos, micóticos, parasitarios, histopatológicos y gonadales en Puyes (*Galaxias maculatus*) recolectados durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019.

hallazgo de:	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
virus IPN	negativo	negativo	negativo	negativo	negativo	negativo
Bacterias	*Aeromonas hydrophila* en Puyes de sector Ciruelos y *Pseudomonas aeruginosa* y *Alcaligenes faecalis* en Puyes de sector Calle-Calle. En ambos casos sin signos de enfermedad	negativo	negativo	negativo	negativo	negativo
Hongos	negativo	negativo	negativo	negativo	negativo	negativo
Parásitos	positivo en peces de todos los sectores, sin signos de enfermedad parasitaria	positivo en peces de todos los sectores, sin signos de enfermedad parasitaria	positivo en peces de todos los sectores, sin signos de enfermedad parasitaria	positivo en peces de todos los sectores, sin signos de enfermedad parasitaria	positivo en peces de todos los sectores, sin signos de enfermedad parasitaria	positivo en peces de todos los sectores, sin signos de enfermedad parasitaria
alteraciones histopatológicas	negativo para lesiones indicativas de cuadro infeccioso o tóxico en los tejidos	negativo para lesiones indicativas de cuadro infeccioso o tóxico en los tejidos	negativo para lesiones indicativas de cuadro infeccioso o tóxico en los tejidos	negativo para lesiones indicativas de cuadro infeccioso o tóxico en los tejidos	negativo para lesiones indicativas de cuadro infeccioso o tóxico en los tejidos	negativo para lesiones indicativas de cuadro infeccioso o tóxico en los tejidos
desarrollo gonadal	actividad reproductiva normal	actividad reproductiva normal	actividad reproductiva normal	Testículos inactivos	Actividad reproductiva normal	Testículos inactivos

4.2.5.5. Conclusiones

- La mayor abundancia de la ictiofauna de riberas, se presentó en los sectores de Ciruelos y Rucaco entre los años 2014 al 2019.
- La menor abundancia de la ictiofauna se detectó en el sector Calle Calle.
- En el año 2019, se observó la mayor abundancia en la campaña otoñal en el sector Ciruelos y en la campaña primaveral en el sector Rucaco, Mientras que las menores abundancias se registraron en el sector de Punucapa.
- Las abundancias temporales de *Gambusia affinis*, mostraron tendencias disímiles acorde a los sitios de muestreo: en Ciruelos y Rucaco, sólo se detectó esta especie durante los muestreos de otoño del año 2014 y primavera del año 2017. Por el contrario, en los ríos Pichoy y Cayumapu, se detectó en prácticamente todos los muestreos y en mayores abundancias a las del Puye.
- Los datos indican que en el río Cayumapu la abundancia de Puye ha aumentado en el tiempo ($p=0,043$).
- En Punucapa la diversidad de especies ha disminuido ($p>0,001$) hacia el último año del Programa de Monitoreo Ambiental.
- En las campañas del año 2019, se detectó *Gambusia affinis* en los sectores de Cayumapu y Pichoy,
- En términos generales los especímenes de *G. maculatus* más grandes, se han recolectado en los ríos tributarios.
- En el otoño del año 2019, los Puyes mas grandes fueron recolectados en Calle Calle y los de menores tamaños en Ciruelos.
- Durante todas las campañas los metales más representativos detectados en tejidos de Puyes han sido el Hierro, Manganeso y Zinc.
- Las concentraciones de Hierro fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en los tejidos de puyes analizados durante el año 2017 y más bajas ($p<0,05$), particularmente en Puyes caturados en Ciruelos.

- La concentraciones de Aluminio fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en el año 2015, en el sector Ciruelos.
- Las concentraciones de Manganeso fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en el año 2019, principalmente en los especímenes correspondientes al sector Ciruelos.
- Las concentraciones de Zinc fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en los años 2015 y 2016 en puyes de los sectores de Ciruelos y Rucaco.
- Las concentraciones de Plomo fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en río Calle Calle durante los años 2017 y 2018.
- Las concentraciones de Mercurio fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes del año 2016, en el sector Ciruelos, por el contrario las concentraciones más bajas ($p<0,05$) se recolectaron en el año 2015.
- No se ha detectado Cadmio y Arsénico a la fecha.
- Las concentraciones de Ácidos grasos presentes en tejidos, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2014 y en especímenes del río Calle Calle.
- Las concentraciones de AOX, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante los años 2014, 2018 y 2019, principalmente en el sector Ciruelos.
- Las Dioxinas presentes en los tejidos fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2017, en puyes del río Calle Calle en comparación con los sectores de Ciruelo y Rucaco, Las concentraciones más bajas ($p<0,05$) se encontraron el año 2016.
- Las concentraciones de Furanos fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante los años 2015 y 2016, en ejemplares del río Calle Calle, Las concentraciones más bajas ($p<0,05$) se encontraron el año 2017.
- Las concentraciones de Equivalentes tóxicos (EQTs) presentes en puyes, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante las campañas de los años 2017 y 2018, particularmente en el río Calle Calle, Las concentraciones más bajas ($p<0,05$) se encontraron en el año 2014.

- La Dioxina 2.3.7.8-TCDD fue detectada en los sectores de Ciruelos, Rucaco y Calle en Puyes recolectados durante los años 2017 y 2018.
- La Dioxina 1,2,3,7,8-PCDD, fue detectada en general en puyes de todos los sectores, pero sin mostrar tendencias anuales marcadas.
- La comparación inter anual de los puyes examinados entre los 2014 y 2019 y recolectados durante el otoño, muestran leves variaciones en la presencia de diferentes géneros de parásitos en especímenes aparentemente sanos.
- Las parasitosis evidenciadas a nivel branquial por *Dactylogyrus* sp, (tremátodo monogéneo), *Ichthyophthirius* sp, y Trichodina sp, (protozoos ciliados), fueron ,las de mayor presencia, tanto en los puyes recoectados dentro del HRC como fuera de este (río Calle Calle).
- Similar a lo observado durante las campañas otoñales de los años 2016- 2018 en las riberas de los sectores Cayumapu y Punucapa, durante la campaña del año 2019, se detectaron ejemplares de nemátodos de la Familia Anisakidae en el sector Pichoy. Estos organismos son parásitos capaces de producir enfermedades en humanos (zoonosis), cuando se consumen peces parasitados no suficientemente cocidos.
- Duarante la campaña otoñal del año 2019, se encontró por primera vez un ejemplar de nematodo parásito del género Camallanus en el estómago de un Puye recolectado en el sector Cayumapu. Este parásito se caracteriza por su alto nivel de contagio.
- En relación a los exámenes parasitológicos realizados en branquias e hígados, se concluye que los puyes examinados se encuentran en un estado sanitario en equilibrio, dado la ausencia de manifestaciones clínicas de enfermedad en estos órganos. Además, no fueron detectados agentes bacterianos y virales indicadores de una alteración del estado sanitario.

4.2.5.6. Referencias

Aguilar, I. 2005. Estimación y monitoreo de los peces como indicadores del uso sostenible del agua en cuencas hidrológicas. Revista Digital Universitaria 6. 14 pp.

Arismendi, I., B. Penaluna. 2009. Peces nativos en aguas continentales del sur de Chile, Iniciativa Científica Milenio (ICM).53 pp.

Arratia, G. 1981. Géneros de peces de aguas continentales de Chile. Museo Nacional de Historia Natural, Chile 34: 1-108.

Arratia, G. 1987. Description of the primitive family Diplomystidae (siluriformes, Teleostei, Pises): morphology, taxonomy and phylogenetic implications. Bonner Zoologische Monographien N° 24. Zoologisches Forschungsinstitut und Museum Alexander Koenig Bonn.

Boulton, A. 1999. An overview of river health assessment: philosophies, practice, problems and prognosis. Freshwater Biology 41: 469-479.

Bruno, D., P. Noguera, T. Poppe. 2013. A colour atlas of salmonid diseases. Secondedition. Springer. London, UK. 211 pp.

Campos, H. 1982. Sistemática del género Cheirodon (Pisces: Characidae) en Chile, con descripción de una nueva especie. Análisis de multivarianza. Studies in Neotropical Fauna and Environment 17: 129-162.

Campos, H. 1984. Los géneros de Atherinidos (Pises: Atherinidae) del sur de Sudamerica. Revista Museo Argentino de Ciencias Naturales “Bernardino Rivadavia”, Zoología 13: 71-84.

Campos, H., V. Ruiz., J. Gavilan, F. Alay. 1993. Peces del río Bio Bio. Programa de Interuniversitario de Investigación Científica Aplicada y Formación (EULA), Universidad de Concepción, Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río y del Área Marina Costera Adyacente 5: 1-100.

Campos, H., J. Gavilan. 1996. Diferenciación morfológica entre Percichthys trucha y Percichthysmelanops (Perciformes: Percichthyidae) entre 36° y 41° L.S. (Chile-Argentina), a través de análisis multivariados. Gayana, Zoología 60: 99-120.

Chediack, S. 2009. Monitoreo de biodiversidad y recursos naturales: ¿Para qué? Corredor Biológico Mesoamericano México. 90 pp.

Clarke, K., R. Gorley. 2001. PRIMER v6 PRIMER-E Ltd. Plymouth, UK. Available in http://www.primer-e.com/

Cowx, I., M. Collares-Pereira. 2002. Freshwater fish conservation: options for the future. Conservation of Freshwater Fishes: Options for the Future 443-452.

Davis, W., T. Simon. 1995. Biological assessment and criteria: tools for water resource planning and decision making. CRC Press. Florida, USA. 432 pp.

Dyer, B. 1997. Phylogenetic revision of Atherinopsinae (Teleostei: Atherinopsidae), with comments on the systematics of the South American freshwater fish genus Basilichthys Girard. Museum of Zoology University of Michigan, Miscellaneous Publications 185: 1-64.

Dyer, B. 2000. Systematic review and biogeography of the freshwater fishes of Chile. EstudiosOceanológicos 19: 77-98.

Faush, K., J. Lyons, J. Karr, P. Angermeier. 1990. Fish communities as indicators of environmental degradation. American Fisheries Society Symposium 8: 123-144.

Ferguson, H. 2006. Systemic Pathology of Fish. A text and atlas of normal tissues in teleosts and their responses in disease. Second edition. Scotian Press. London, UK. 368 pp.

Fernández, M.V., L. Semenas, G. Viozzi. 2015. La estructura de las comunidades de helmintos de Galaxias maculatus (Osmeriformes: Galaxiidae) en diferentes sitios de un lago de la Patagonia argentina. Ecología Austral 25: 212-220.

Gardiner, C., S. Poynton. 1999. An atlas of metazoan parasites in animal tissues. Armed Forces Institute of Pathology. Washington, DC, USA. 64 pp.

Habit, E., B. Dyer, I. Vila. 2006. Estado de conocimiento de los peces dulceacuícolas de Chile. Gayana, Concepción 70: 100-113.

Kestemont, P., J. Dider, E. Depiereux, J. Micha. 2000. Selecting ichthyological metrics to assess river basin ecological quality. Archives für Hydrobiologie Supplement 121: 321-348.

Luna, L. 1968. Manual of histologic staining methods of the Armed Forces Institute of Pathology. Third edition. Mc Graw-Hill Book Company, New York, USA. 258 pp.

Magurran, A., A. Magurran. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton, Princeton university press. 192 pp.

Mcdowall, R., M. Taylor. 2000. Environmental indicators of habitat quality in a migratory freshwater fish fauna. Environmental Management 25: 357-374.

Oberdorff, T., D. Pont, B. Hugueny, J. Porcher. 2002. Development and validation of a fish-based index for the assessment of 'river health' in France. Freshwater Biology 47: 1720-1734.

Paller, M., M. Reichert, J. Dean, J. Seigle. 2000. Use of fish community data to evaluate restoration success of a riparian stream. Ecological Engineering 15: 171-187.

Pequeño, G. 1981. Peces de las riberas estuariales del Río Lingue, Chile. Cahiers de Biologie Marines Roscoff 22: 141-163.

Roberts, R. 2012. Fish pathology. Fourth edition. Wiley-Blackwell. Chichester West Sussex, UK. 8 pp.

Ruiz, V., M. Marchant. 2004. Ictiofauna de aguas continentales de Chile. Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción. 356 pp.

Scott, M., L. Hall. 1997. Fish assemblages as indicators of environmental degradation in Maryland coastal plain streams". Transactions of the American Fisheries Society 126: 349-360.

Soto-Galera, E., E. Díaz-Pardo, E. López-López, J. Lyons. 1998. Fish as indicators of environmental quality in the Río Lerma Basin, México. Aquatic Ecosystem Health & Management, 1: 267-276.

Spacie, A., J. Hamelink. 1979. Dynamics of Trifluralin Accumulation in Rivers Fishes. Environmental Science and Technology 13: 817-822.

Vega, R., P. Dantagnan, A. Mardones, I. Valdebenito, J. Zamorano and Francisco Encina. (2013). Bases biológicas para el cultivo del puye *Galaxias maculatus* (Jenyns, 1842): una revisión. Lat. Am. J. Aquat. Res., 41(3): 369-386, 2013 DOI: 103856/vol41-issue3-fulltext-1

Velázquez-Velázquez, E., and M. Vega-Cendejas. 2004. Los peces como indicadores del estado de salud de los ecosistemas acuáticos. Biodiversitas 57: 12-15.

Torres, P., R. Franjola, X. Cabezas, A. Neira, C. Covarrubias. 1990. Distribution of the infection by *Camallanus corderoi* (Nemata: Spiruroidea) in different autochthonous hosts and localities of the Valdivia river basin, Chile. Boletin Chileno de Parasitologia 45 (3-4): 55-59.

Torres, P., V. Leyan, J. Lamilla. 2017. Cyst Stages of Gordiids (Nematomorpha) and Other Eukaryotic Parasites from the Inanga, Galaxias maculatus (Osmeriformes: Galaxiidae), in the Lingue River, Southern Chile Comparative Parasitology 84: 72–79.

Vila, I., L. Fuentes, M. Contreras. 1999. Peces límnicos de Chile. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural 48: 61-75.

Vila-Gispert, A., E. García-Berthou, R. Moreno-Amich. 2002. Fish zonation in a Mediterranean stream: Effects of human disturbances. Aquatic Sciences 64: 163-170.

Wang, L., J. Lyons, P. Kanehi, R. Bannerman, E. Emmons. 2000. Watershed urbanization and changes in fish communities in southeastern Wisconsin streams. Journal of the American Water Research 36: 1173-1175.

Wichert, G., D. Rapport. 1998. Fish community structure as a measure of degradation and rehabilitation of riparian systems in an agricultural drainage basin. Environmental Management 22: 425-443.

4.2.6. HERPETOFAUNA

4.2.6.1. Antecedentes

El grupo de los anfibios (ranas y sapos) de Chile está compuesto por ocho familias: Alsodidae, Batrachylidae, Bufonidae, Calyptocephalellidae, Leptodactylidae, Rhinodermatidae, Telmatobiidae y Pipidae (Frost, 2019). De los 14 géneros reconocidos, seis son endémicos y tres de ellos monotípicos (*Calyptocephalella*, *Hylorina* e *Insuetophrynus*). Además, hoy en día el catálogo de especies de anfibios de Chile contempla una especie introducida asilvestrada, *Xenopus laevis* (Lobos *et al*., 2013).

Por su parte, la diversidad de reptiles de Chile (serpientes, lagartos y tortugas) da cuenta de aproximadamente 123 especies (Pincheira-Donoso *et al*., 2008; Demangel 2016) más dos tortugas introducidas. La mayor riqueza específica se concentra en el norte y centro del país, entre las regiones de Antofagasta y del Bio Bío. En este escenario, es posible encontrar especies de distribución exclusiva para el norte de Chile (*e.g., Liolaemus atacamensis* y *Microlophus quadrivittatus*) o el sur de nuestro país (*e.g*., *Diplolaemus darwinii* y *Liolaemus magellanicus*), y otras con rangos de distribución muy extensas (*e.g., Liolaemus lemniscatus* y *L. tenuis*). Además, se encuentran cuatro especies de tortugas marinas (*Dermochelys coriacea*, *Lepidochelys olivacea*, *Caretta caretta* y *Chelonia mydas*), más dos tortugas introducidas: una terrestre desde Argentina, *Chelonoidis chilensis* y una dulceacuícola proveniente de Estados Unidos, *Trachemys scripta* (González *et al*., 2018).

Los anfibios y reptiles son de especial interés debido a su gran sensibilidad a pequeños cambios ambientales, particularidad los convierte en una herramienta de primer orden a la hora de valorar la dimensión de estas transformaciones y perturbaciones ambientales. En efecto, la contaminación ambiental, la destrucción de hábitats, la introducción de especies exóticas y enfermedades emergentes asociadas al cambio global, están dando cuenta de una gran regresión poblacional a nivel mundial de estos animales (Baillie *et al*., 2004; Grant *et al*., 2016; Kueneman *et al*., 2019). De este modo, las evidencias

de lo nocivo que para estos grupos animales representan las modificaciones físico-químicas y ambientales asociadas a actividades de origen antrópico (sobre todo del medio acuático), justifican su uso como herramienta de gran utilidad para sensibilizar a la población en general sobre problemáticas ambientales (Simon *et al*., 2011) y monitorear el medio ambiente (Heyer *et al*., 2001).

La Región de Los Ríos es uno de las áreas particularmente importantes para los anfibios nativos debido a la diversidad de especies existentes, siendo algunos de ellos endémicos de esta zona. Así mismo, cerca del 30% de las especies que aquí habitan han sido catalogadas bajo los estados de conservación que van desde Casi Amenazado hasta En Peligro Crítico (Tabla 4.2.6.1); mientras que de otras especies, incluidas dos endémicas de la región (*Alsodes norae*, *Eupsophus altor*) de las que se desconoce el estado de conservación. Este desconocimiento ha sido atribuido principalmente a la falta de información de la distribución real, extensión de su territorio, además de la ausencia de otros datos tales como la abundancia relativa y uso de hábitat (UICN, 2019).

Tabla 4.2.6.1. Especies de anfibios y reptiles que habitan en la Región de los Ríos y su estado de conservación. Se indica además si la especie está presente potencialmente en el Humedal del Río Cruces. Los estados de conservación (E.Cons.) se indican según la categoría de la Lista Roja de Especies Amenazadas (IUCN, 2019) y son: LC = Preocupación Menor, NT= Casi amenazado, VU= Vulnerable, DD= Datos insuficientes, EN= En Peligro, CR= En Peligro Crítico.

Familia	**Especie**	**E.Cons.**	**Presente en HRC**
Bufonidae	*Rhinella rubropunctata*	LC	no
Calyptocephalellidae	*Calyptocephalella gayi*	VU	si
Calyptocephalellidae	*Telmatobufo australis*	VU	no
Batrachylidae	*Batrachyla antartandica*	LC	no
Batrachylidae	*Batrachyla leptopus*	LC	si
Batrachylidae	*Batrachyla taeniata*	LC	si
Alsodidae	*Alsodes norae*	EN	no
Alsodidae	*Alsodes valdiviensis*	EN	no
Alsodidae	*Alsodes verrucosus*	LC	no
Alsodidae	*Eupsophus altor*	EN	si
Alsodidae	*Eupsophus calcaratus*	LC	no
Alsodidae	*Eupsophus migueli*	EN	no
Alsodidae	*Eupsophus roseus*	NT	si
Alsodidae	*Eupsophus vertebralis*	NT	si
Alsodidae	*Eupsophus emiliopugini*	NT	no
Batrachylidae	*Hylorina sylvatica*	LC	si
Rhinodermatidae	*Insuetophrymus acarpicus*	CR	no
Rhinodermatidae	*Rhinoderma darwinii*	VU	no
Leptodactylidae	*Pleurodema thaul*	LC	si
Liolaemidae	*Liolaemus pictus*	VU	si
Liolaemidae	*Liolaemus cyanogaster*	VU	si
Colubridae	*Tachymenis chilensis*	LC	si

El presente Capítulo hace referencia a los resultados obtenidos en la caracterización de la fauna de anfibios y reptiles del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC), en el contexto del Quinto Año del Programa de Monitoreo Ambiental de este humedal,

considerando campañas de otoño y primavera del año 2019. Se hace además un análisis comparativo considerando el presente año y el Programa de Diagnóstico Ambiental (año 2014) y los resultados del Primer, Segundo, Tercer y Cuarto Año (2015 al 2018) del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC.

4.2.6.2. Objetivos

• Determinar, sobre la base de campañas de terreno realizados durante otoño y primavera del año 2019, índices de riqueza específica y abundancia de anfibios y reptiles en el HRC.

• Analizar el estado de conservación de las especies de anfibios y reptiles presentes en el área de estudio.

• Evaluar la eventual presencia de la especie exótica *Trachemys scripta elegans* (Tortuga Californiana) en el HRC.

• Comparar los resultados de las campañas del año 2019, con aquellos obtenidos durante el Programa de Diagnóstico Ambiental (año 2014) y durante el Primer, Segundo, Tercer y Cuarto Año (2015 al 2018 respectivamente) del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC.

4.2.6.3. Material y métodos

Metodología de terreno

Para ambos grupos de animales, se utilizó la técnica de Relevamiento por Encuentros Visuales ("*Visual Encounter Survey*" o VES), dado que ofrece muchas posibilidades de uso (Heyer *et al*., 2001). Esta técnica de muestreo se ha utilizado ampliamente para la evaluación rápida de anfibios en grandes áreas, especialmente en hábitats uniformes donde la visibilidad es buena y también es útil para reptiles que habitan en el suelo y que son activos en áreas abiertas. Por otra parte, se la ha utilizado de manera efectiva para especies

de anfibios que viven en hábitats fácilmente identificables, tales como troncos o zonas riparias, pendientes en talud, etc y también es apropiada para especies que están altamente agrupadas y para monitorear larvas de anfibios en charcas poco profundas, con aguas claras y vegetación dispersa (Heyer *et al*., 2001). En este método, una persona camina a través de un área o hábitat, por un período de tiempo predeterminado buscando animales de manera exhaustiva (Fig. 4.2.6.1). El tiempo se expresa como el número de horas/hombre de búsqueda en cada una de las áreas a comparar. El VES es una técnica apropiada, tanto para estudios de inventario como para monitoreo.

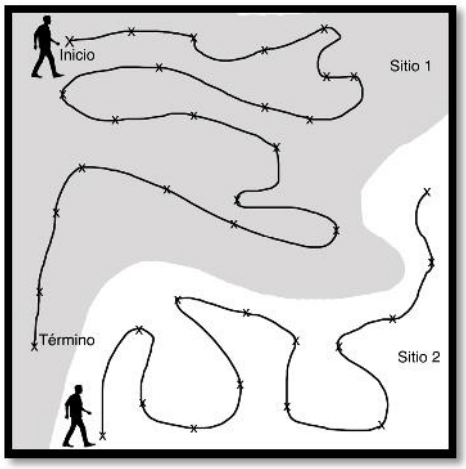


Figura 4.2.6.1. Esquema del método de búsqueda aleatoria para recolección de anfibios y reptiles, mediante transectos al azar en un área determinada (modificado de Heyer *et al.,* 2001).

Las campañas de terreno realizadas durante el Quinto Año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, se llevaron a cabo entre los días 7-9 y 14-15 de mayo de 2019 (otoño) y desde el 5 al 9 de noviembre (primavera) del año 2019. Como en años anteriores, el diseño del muestreo escogido para realizar la toma de datos estuvo basado en una combinación de un VES aleatorizado por caminatas al azar y un VES en transectos. En algunos casos, particularmente para reptiles, se usó el método de búsqueda en parches. Se escogieron estos métodos como referentes por ser los indicados para muestrear grandes áreas y por ser los que más se adaptan a las necesidades del presente estudio.

Se procedió a registrar el punto de cada observación con ayuda de un GPS y se apuntó en la planilla de campo el número y determinación de la(s) especie(s), así como otros datos relevantes en caso de que hubiesen (*e.g.,* anfibios o reptiles muertos, estado de desarrollo, presencia de parásitos). Al finalizar cada transecto se procedió a controlar la hora final para volverla a anotar en la planilla.

También se registraron evidencias auditivas o cantos. El reconocimiento de vocalizaciones de anfibios es relativamente simple, pero muy efectivo no solo para determinar la presencia o ausencia de especies de anuros, sino también para establecer épocas y sitios de reproducción. Se buscaron renacuajos (el estado de desarrollo acuático de los anfibios) mediante redes de mano y la inspección minuciosa en las riberas de los cuerpos de agua (agujeros en grietas, pozas temporales, arroyos y ríos). Se tomaron además datos como abundancia relativa, estados de desarrollo de renacuajos y presencia de oviposturas. Por su movilidad y cuando fue posible, la prospección de la eventual presencia de reptiles se realizó hasta 50 metros desde las riberas de los cuerpos hídricos del área de estudio. Para cada sitio prospectado, se confeccionó un catastro de las especies de anfibios y reptiles existentes, estimándose riqueza específica, densidad y abundancia relativa, mediante el esfuerzo de muestreo realizado.

Índices de Diversidad

Las comunidades biológicas poseen una propiedad emergente, la diversidad específica, que se relaciona con la variedad dentro de esas comunidades, atributo que es la expresión de dos componentes: el número de especies presentes en la comunidad (=riqueza de especies) y la equidad, entendida como la abundancia (el número de individuos) relativa entre las especies de una determinada comunidad. En algunos casos un valor dado de un índice de diversidad puede provenir de distintas combinaciones de riqueza específica y equidad. Es decir, el mismo índice de diversidad puede obtenerse de una comunidad con baja riqueza y alta equidad como de una comunidad con alta riqueza y baja equidad. Esto significa que el valor del índice aislado no permite conocer la importancia

relativa de sus componentes (riqueza y equidad). Los índices utilizados en el presente estudio fueron: índice de Shannon-Weaver (H'), índice de Simpson (D), índice de Berger-Parker (B), Indice de Margalef (Dmg) e índice de Pielou (J'). Además, para los análisis comparativos se utilizaron tablas de contingencia para sintetizar información concerniente a las relaciones entre las especies.

El indice Shanon-Weaver (Shannon y Weaver, 1949), es uno de los índices más utilizados para cuantificar la biodiversidad específica. Este índice deriva de la teoría de información como una medida de la entropía. Es decir, el índice refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa. Conceptualmente es una medida del grado de incertidumbre asociada a la selección aleatoria de un individuo en la comunidad. De esta manera, si una comunidad de S especies es muy homogénea (una especie claramente dominante), el grado de incertidumbre será más bajo que si todas las S especies fueran igualmente abundantes. El índice de Shannon-Weaver se define como:

$$H' = -\sum n_i/N \ln(n_i/N)$$

Donde:

n_i = número de individuos de la especie i

N = número total de individuos de todas las especies.

El índice de Simpson (Simpson, 1949) también conocido como el índice de dominancia, es uno de los parámetros que nos permiten medir la riqueza de organismos. Este índice deriva de la teoría de probabilidades y mide la probabilidad de encontrar dos individuos de la misma especie en dos muestreos sucesivos al azar sin reposición, es decir, representa la probabilidad de que dos individuos, dentro de un hábitat, seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie. Este índice está fuertemente influenciado por las especies más dominantes. Su valor varía de 0 a un máximo de 1-1/S (S = número de taxa) y su fórmula es:

$$D = \Sigma(p_i^2)$$

Donde:

p_i = la proporción de la muestra, es decir n_i/N.

Por su parte, el índice de Berger-Parker (Berger and Parker, 1970) expresa la proporción que representa la especie dominante (N_{max}) frente a toda la muestra (N), por tanto este es un índice de dominancia que varía entre 0 y 1. Cuanto más se acerca a 1 significa que mayor es la dominancia y menor la diversidad. La fórmula es:

$$B = N_{max} / N_T$$

Donde:

N_{max} = abundancia de la especie dominante

N_T= número total de individuos capturados de todas las especies

Para cuantificar el componente de equidad de la diversidad de anfibios y reptiles se usó además el índice de Pielou (Pielou, 1975). Este índice se utilizó para medir la proporción de la diversidad observada en cada sector con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundante. El cálculo se efectuó según la siguiente expresión:

$$J' = H'/H'max$$

Donde:

H' = índice de Shannon-Weaver

(H'max)= Ln (r), siendo r el número de especies observadas en la muestra.

Finalmente, el Índice de Margalef (Margalef, 1995) fue utilizado para estimar la biodiversidad de una comunidad con base en la distribución numérica de los individuos de la diferentes especies en función del numero de individuos existentes en la muestra analizada. Valores inferiores a dos son considerados como zonas de baja biodiversidad y valores superiores a cinco son indicativos de alta biodiversidad. La fórmula se expresa como:

$$D_{mg} = (s-1)/lnN$$

Donde:

S=número de especies

N= número total de individuos

Para todas las estimaciones de riqueza y abundancia relativa de especies se utilizó el programa EstimateS 9.1 (Colwell, 2013). Todas las mediciones fueron de acuerdo con lo descrito en el Informe Final del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2015, sección 4.9.

4.2.6.4. Resultados

Riqueza y abundancia de anfibios y reptiles

En la Tabla 4.2.6.3 se muestran los resultados obtenidos sobre riqueza y abundancia de anfibios y reptiles encontrados en la zona de estudio durante los días 7-9 y 14-15 de mayo de 2019 (otoño) y desde el 5 al 9 de noviembre (primavera) del año 2019. La riqueza fue de cinco especies de anfibios en otoño y seis en primavera, mientras que la de reptiles fue de una en otoño y tres especies en primavera. La especie de anfibio más abundante en otoño fue *Batrachyla taeniata* (48,38% del total prospectado), mientras que en primavera fue *Calyptocephalella gayi* (34,48% del total prospectado). Las especies menos abundantes fueron *Pleurodema thaul* (siete especímenes) y *Batrachyla leptopus* (diez especímenes). Con respecto a los reptiles, en otoño se determinó la presencia de solo una especie, *L. cyanogaster*, mientras que en primavera se determinó la presencia de tres especies de reptil, incluyendo un especimen de la culebra de cola corta, *Tachymenis chilensis*. La especie de reptil más abundante en primavera 2019 fue *L. pictus* (53,48%) (Tabla 4.2.6.2).

Tabla 4.2.6.2. Número total de especímenes de anfibios y reptiles en el área de estudio durante el otoño y primavera del año 2019. Se señala además la abundancia relativa para otoño y primavera (ARo y ARp, respectivamente).

Taxón	otoño 2019	ARo (%)	primavera 2019	ARp (%)	Total 2019
Anfibios					
Batrachyla leptopus	4	6,45	6	5,17	10
Batrachyla taeniata	30	48,38	32	27,58	62
Eupsophus vertebralis	8	12,90	15	12,93	23
Eupsophus roseus	18	29,03	18	15,51	36
Calyptocephalella gayi	0	0	40	34,48	40
Pleurodema thaul	2	3,22	5	4,31	7
Reptiles					
Liolaemus pictus	0	0	23	53,48	23
Liolaemus cyanogaster	4	100	19	44,18	23
Tachymenis chilensis	0	0	1	2,32	1

En la Figura 4.2.6.2 se muestra la ubicación de las ocho áreas de muestreo en el HRC y sus ríos tributarios. La distribución de la fauna de anfibios en el HRC durante la campaña primaveral del año 2019 se muestra en la Tabla 4.2.6.2 y la de reptiles en la Tabla 4.2.6.3.

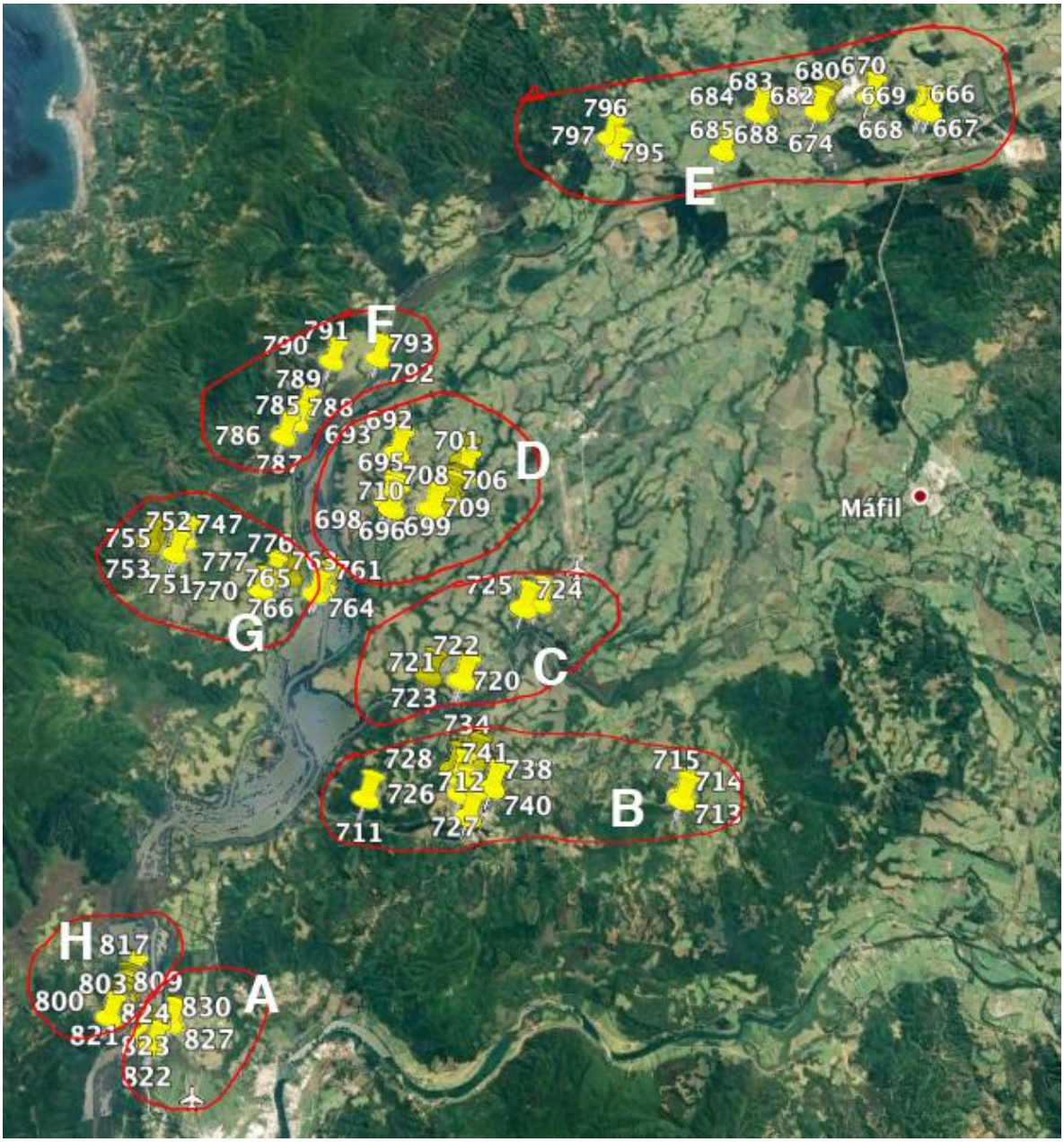


Figura 4.2.6.2. Ubicación de las ocho áreas de muestro (A-H) de anfibios y reptiles en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios. **A**: sector Las Marías **B**: sector río Cayumapu, **C**: sector río Pichoy, **D**: sector ríos Nanihie - Cudico, **E**: sector San José de la Mariquina, **F**: sector río San José, **G**: sector río Santa María, **H**: sector Punucapa.

La mayor abundancia de anfibios en otoño de 2019 se presentó en la zona G (sector río Santa María) con 23 especímenes, mientras que en la zona C (sector río Pichoy) no se observaron especímenes ni de anfibios ni reptiles (Tabla 4.2.6.3). Para esta esta campaña no se puestra tabla correspondiente dado que se encontró solo cuatro especímenes de L. cyanogaster en un solo sector (sector A). Durante la primavera de 2019 los mayores avistamientos se produjeron en la zona H (Sector Punucapa) mientras que la menor abundancia y riqueza se dio en los sectores B (sector río Cayumapu) y C (sector río Pichoy) (Tabla 4.2.6.4). Los mayores avistamientos de reptiles ocurrieron en la zona F (sector río San José), mientras que no se avistaron reptiles en la zona H (sector Punucapa) (Tabla 4.2.6.5).

Tabla 4.2.6.3. Riqueza y abundancia de especies de anfibios registradas durante otoño de 2019 en el área de estudio.

Especie	A	B	C	D	E	F	G	H	Total
Batrachyla taeniata	2	1	0	1	9	10	7	0	30
Batrachyla leptopus	0	0	0	0	0	4	0	0	4
Eupsophus roseus	0	1	0	0	0	0	16	1	18
Eupsophus vertebralis	0	0	0	0	0	0	0	8	8
Pleurodema thaul	0	1	0	0	0	1	0	0	2
Total	2	3	0	1	9	15	23	9	62

Tabla 4.2.6.4. Riqueza y abundancia de especies de anfibios registradas durante la primavera de 2019 en el área de estudio.

Especie	A	B	C	D	E	F	G	H	Total
Batrachyla taeniata	6	1	2	1	9	10	3	0	32
Batrachyla leptopus	2	0	0	0	1	3	0	0	6
Eupsophus roseus	0	0	0	0	0	0	11	7	18
Eupsophus vertebralis	0	0	0	0	0	0	0	15	15
Pleurodema thaul	0	1	0	0	0	0	0	4	5
Calyptocephalella gayi	10	5	5	10	0	3	7	0	40
Total	18	7	7	11	10	16	21	26	116

Tabla 4.2.6.5. Riqueza y abundancia de especies de reptiles registradas durante la primavera de 2019 en el área de estudio.

Especie	A	B	C	D	E	F	G	H	Total
Liolaemus pictus	0	0	9	3	1	9	1	0	23
Liolaemus cyanogaster	1	1	10	0	2	5	0	0	19
Tachymenis chilensis	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Total	1	1	19	3	3	15	1	0	43

La Tabla 4.2.6.6 y Tabla 4.2.6.7 muestran los valores de los índices de diversidad de Shannon-Weaver (H'), índice de Simpson (D), índice de Berger-Parker (B), Indice de Margalef (Dmg) e índice de Pielou (J'), tanto para la campaña de otoño como la de primavera de 2019. Los resultados de las campañas de otoño y primavera 2019 muestran claramente que la comunidad de anfibios tiende a ser homogénea (índice de Berger-Parker inferiores a 0,5) y poco diversa (índice de Margalef inferior a 2). Como se señaló anteriormente, la diversidad de reptiles para otñoño de 2019 fue igual a cero. En este sentido, como el índice Berger-Parker expresa la proporción que representa la especie dominante frente a toda la muestra, tuvo el máximo valor en esta estación por la presencia de una sola especie de reptil.

Tabla 4.2.6.6. Índices de diversidad de Berger-Parker (B), de Margalef (Dmg), de Simpson (D), de Shannon-Weaver (H') e índice de Pielou (J'), para la campaña de otoño del año 2019.

	B	Dmg	D	H'	J
Anfibios	0,4838	0,9691	0,6705	1,2621	0,7842
Reptiles	1,0000	-	0,0000	0,0000	-

Tabla 4.2.6.7. Índices de diversidad de Berger-Parker (B), de Margalef (Dmg), de Simpson (D), de Shannon-Weaver (H') e índice de Pielou (J'), para la campaña de primavera del año 2019.

	B	Dmg	D	H'	J
Anfibios	0,3448	1,0518	0,7662	1,5647	0,8733
Reptiles	0,5348	0,5317	0,5304	0,7830	0,7127

Comparación entre las campañas de los Programas de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC

Para hacer estimaciones de variabilidad temporal de la diversidad de anfibios y reptiles del HRC, se compararon los resultados de la campaña del año 2019 con las campañas del Programa de Diagnóstico Ambiental (otoño y primavera del año 2014) y aquellos resultados del Primer, Segundo, Tercer y Cuarto Año del Programa de Monitoreo del HRC (primavera del año 2015; otoño y primavera de 2016, 2017 y 2018). Los resultados se muestran en la Tabla 4.2.6.8 y Tabla 4.2.6.9.

En la Tabla 4.2.6.8. puede observarse que las especies más abundantes en el HRC son *Batrachyla taeniata* (450 individuos) y *Calyptocephalella gayi* (con 233 individuos determinados). Ambas especies representan cerca del 76% del total de anfibios prospectados en el HRC (895 anfibios). Por su parte, en la Tabla 4.2.6.9 se observa que *Liolaemus cyanogaster* representa la especie más abundante en el caso de los reptiles, con 97 individuos (58,78% del total).

Al comparar abundancia y riqueza por estaciones a lo largo de todas las campañas (Fig. 4.2.6.3) se observa que el patrón general es claramente dominado por *Batrachyla taeniata* y en segundo lugar *Calyptocephalella gayi*. En el caso de *B. taeniata*, como ya se ha comentado, la abundancia de esta especie se puede deber a su tolerancia a los ambientes intervenidos, encontrándose incluso bajo escombros y acopios de basura. Las diferencias estacionales que se pueden observar podrían estar dadas por sus épocas reproductivas. Ejemplo de esto, es *C. gayi*, cuya mayor abundancia se observa en primavera (cantos y desplazamientos en agua y tierra) y no así en otoño, dado que permanecen ocultos en los cuerpos de agua, siendo difícil encontrarlas sin usar redes de arrastre u otros implementos. Con respecto a *C. gayi*, los resultados son relevantes, pues al parecer esta especie es abundante con comunidades relativamente estables en el HRC, situación que contrasta con el estado de conservación de esta especie que está como Vulnerable y en

general sus poblaciones se han visto drásticamente disminuidas por pérdida de hábitat y cambios de uso de suelo.

En el caso de los reptiles (Fig. 4.2.6.4), los patrones de variación temporal indican presencia relativamente común de *Liolaemus pictus* y *L. cyanogaster*. En este caso, las diferencias en las abundancias estacionales (otoño *versus* primavera) están claramente relacionadas con la menor o nula actividad de estos animales en otoño, dada principalmente por el descenso de la temperatura ambiental.

Po otra parte, las fluctuaciones de los índices de diversidad para anfibios y reptiles a través del tiempo (Fig. 4.2.6.5 y Fig. 4.2.6.6), se pueden atribuir al bajo número de especies presentes en el HRC, y su densidad relativamente baja (excepto *B. taeniata* y *C. gayi*), de manera que cualquier diferencia en abundancia y ausencia de una determinada prospección hacen variar estos índices. El ejemplo más evidente de esto ocurre con la culebra de cola corta *Tachymenis chilensis*, cuya presencia esporádica y baja densidad incide significativamente en los índices de diversidad de la comunidad de reptiles del HRC.

Tabla 4.2.6.8. Comparaciones de la riqueza y abundancia de anfibios entre la campaña de 2019 y las del Programa de Diagnóstico Ambiental (otoño y primavera del año 2014) y Primer, Segundo, Tercer y cuarto Año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (primavera del año 2015, otoño y primavera del año 2016, 2017 y 2018, respectivamente). o = otoño; p = primavera. Se indican además los índices de diversidad estimados para cada estación.

Especie	o2014	p2014	p2015	o2016	p2016	o2017	p2017	p2018	o2019	p2019	Total
Batrachyla leptopus	2	10	1	1	0	2	8	5	4	6	**39**
Batrachyla taeniata	20	120	72	35	39	23	33	46	30	32	**450**
Calyptocephalella gayi	0	30	106	0	12	0	19	26	0	40	**233**
Eupsophus altor	0	5	1	1	0	1	0	0	0	0	**8**
Eupsophus roseus	7	7	2	3	16	2	4	17	18	18	**94**
Eupsophus vertebralis	0	1	0	0	2	0	0	4	8	15	**30**
Pleurodema thaul	3	5	0	2	16	0	1	7	2	5	**41**
Total	**32**	**178**	**182**	**42**	**85**	**28**	**65**	**105**	**62**	**116**	**895**
Índice Berger-Parker, B	0,6250	0,6741	0,5824	0,8333	0,4588	0,8214	0,5076	0,4380	0,4938	0,3448	0,5027
Índice de Margalef, D_{mg}	0,8656	1,1579	0,7686	1,0701	0,9003	0,9003	0,9582	1,0743	0,9691	1,0518	0,8771
Índice de Shanon-Weaver, H’	1,0214	1,0840	0,7884	0,6634	1,3508	0,6575	1,1973	1,4519	1,2621	1,5647	1,4261
Índice de Simpson, D	0,5665	0,5136	0,5068	0,3042	0,7064	0,3253	0,6475	0,7192	0,6705	0,7662	0,6867
Índice de Pileou, J’	0,7367	0,5574	0,4898	0,4121	0,8393	0,4743	0,7439	0,8103	0,7842	0,8733	0,7329

Tabla 4.2.6.9. Comparaciones de la riqueza y abundancia de reptiles entre la campaña de otoño y primavera 2019 y las del Programa de Diagnóstico Ambiental (otoño y primavera del año 2014) y Primer, Segundo y Tercer Año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (primavera del año 2015, otoño y primavera del año 2016 y 2017 y primavera 2018, respectivamente). o = otoño; p = primavera. Se indican además los índices de diversidad estimados para cada estación.

Especie	**o2014**	**p2014**	**p2015**	**o2016**	**p2016**	**o2017**	**p2017**	**p2018**	**o2019**	**p2019**	**Total**
Liolaemus cyanogaster	3	31	18	0	11	0	1	10	4	19	**97**
Liolaemus pictus	7	2	12	0	1	0	9	9	0	23	**63**
Tachymenis chilensis	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	**5**
Total	**10**	**34**	**31**	**1**	**13**	**0**	**10**	**19**	**4**	**43**	**165**
Índice Berger-Parker, B	0,7000	0,9117	0,5806	1,000	0,8461	-	0,9000	0,5263	1,000	0,4693	0,5878
Índice de Margalef, D_{mg}	0,4342	0,5671	0,5824	0	0,7797	-	0,4342	0,3396	0	0,5317	0,4892
Índice de Shanon-Weaver, H’	0,6108	0,3545	0,7938	0	0,5359	-	0,3250	0,6917	0	0,7830	0,7858
Índice de Simpson, D	0,4666	0,1693	0,5290	0	0,2948	-	0,2000	0,5263	0	0,5304	0,5107
Índice de Pileou, J’	0,8812	0,3227	0,7225	-	0,4878	-	0,4689	0,9980	-	0,7127	0,7153

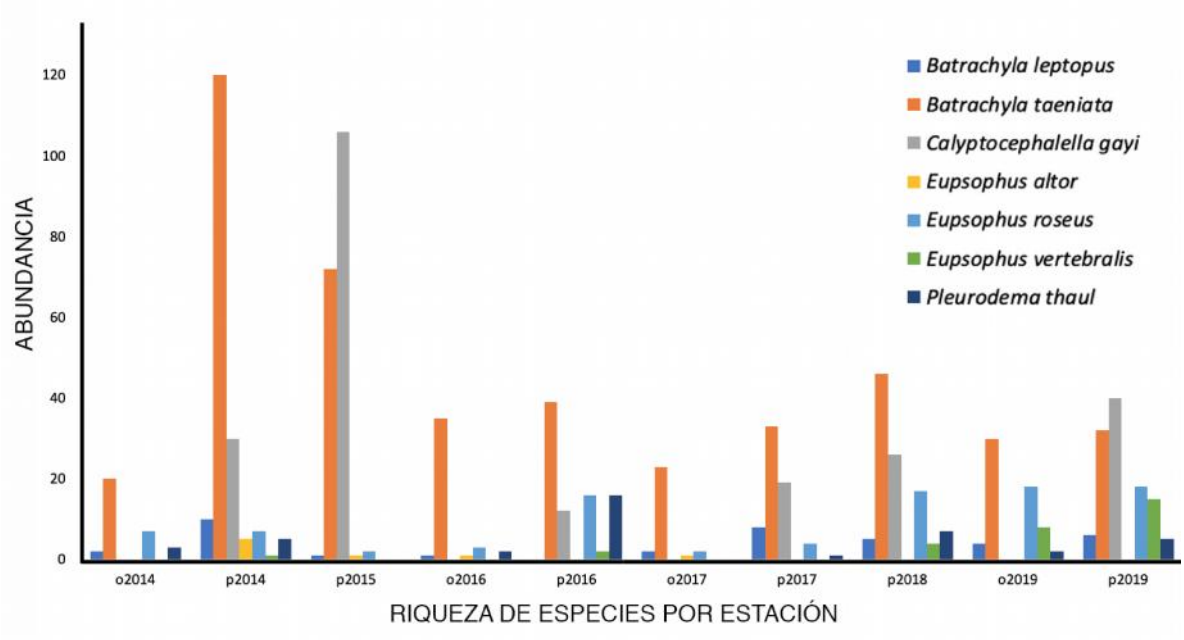


Figura 4.2.6.3. Riqueza y abundancia de especies de anfibios en el HRC a lo largo de las campañas de otoño (o) y primavera (p) desde 2014 a 2019.

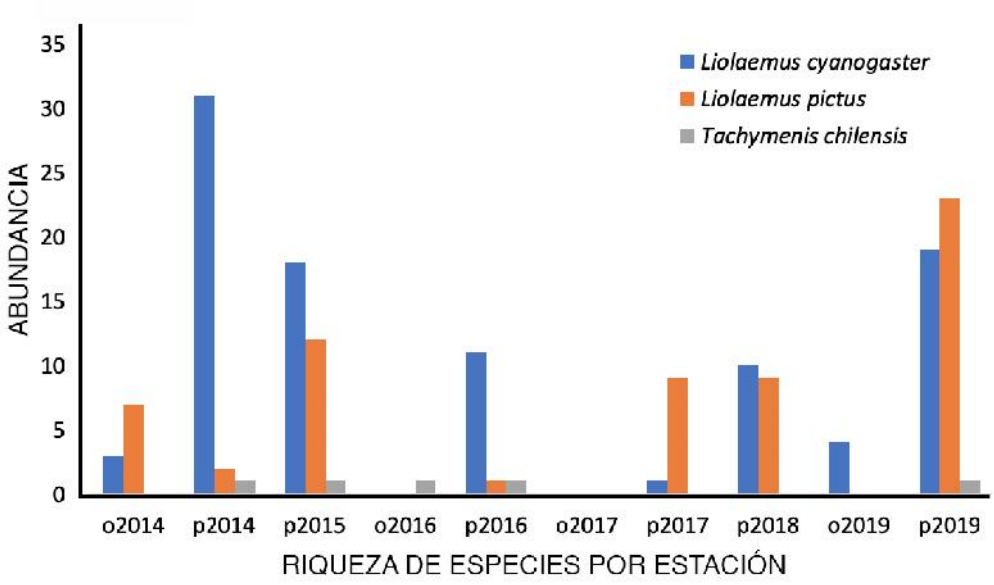


Figura 4.2.6.4. Riqueza y abundancia de especies de reptiles en el HRC a lo largo de las campañas de otoño (o) y primavera (p) desde 2014 a 2019.

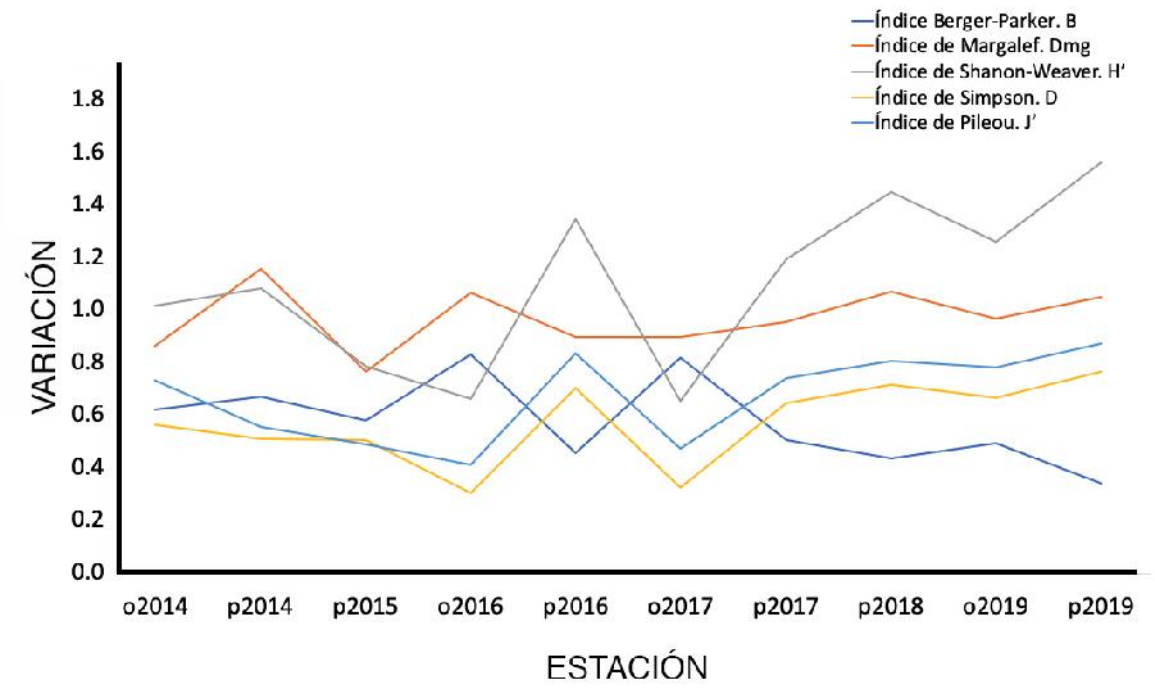


Figura 4.2.6.5. Variación de los índices de diversidad para anfibios a lo largo de las campañas de otoño (o) y primavera (p) desde 2014 a 2019.

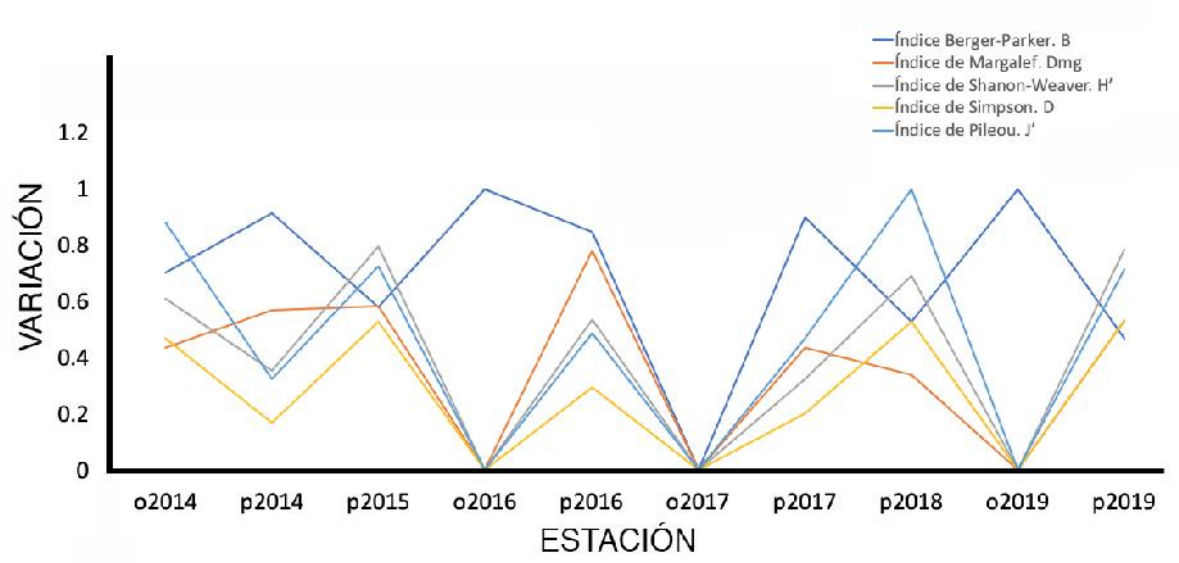


Figura 4.2.6.6. Variación de los índices de diversidad para reptiles a lo largo de las campañas de otoño (o) y primavera (p) desde 2014 a 2019.

Patrones de diversidad espacial

En la Tabla 4.2.6.10 se muestran los resultados de las comparaciones por sector de todas las campañas realizadas hasta ahora incluyendo anfibios y reptiles. De esta tabla se observa que los sectores con mayor abundancia de herpetofauna fueron el sector G (río Santa María) con 301 especímenes observados y el sector F (sector río San José) y A (Sector Las Marías) con 143 y 140 especímenes respectivamente. Los sectores con menor diversidad fueron el sector D (sector ríos Nanihue-Cudico) y sector H (sector Punucapa). En el primer caso, el sector correponde a un área altamente intervenida por ganadería y agricultura y en el caso de sector Punucapa, la baja diversidad se debe probablemente a que es una zona altamente urbanizada a orillas del Río Cruces. El sector de río Santa María, aunque altamente intervenido por la ganadería tiene varios parches de bosque nativo donde fue posible observar la mayoría de los especímenes de *Eupsophus roseus* y *Pleurodema thaul*.

En la Figura 4.2.6.7 se muestran gráficamente los patrones comparativos de abundancia en las ocho áreas de muestro (A-H) de anfibios y reptiles en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios. Se observa en general que el patrón de diversidad se mantiene, con fluctuaciones de abundancia otoño-primavera que estuvieron dadas principalmente por épocas reproductivas en anfibios y descenso de temperatura en la estación otoñal en el caso de los reptiles. Las fluctuaciones observadas en el sector G (río Santa María) en primavera 2015 y primavera 2018 están dadas probablemente por una mayor detección de *Calyptocephalella gayi.* A pesar de lo anterior, los patrones de diversidad específica se mantienen relativamente estables, sin signos de aumento o disminución poblacional a través del tiempo.

Tabla 4.2.6.10. Abundancia (número de individuos) de anfibios y reptiles en el área de estudio según los sectores señalados en la Figura 4.2.6.2.

campaña	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**Total**
otoño 2014	4	1	2	3	24	0	4	4	**42**
primavera 2014	31	59	27	14	4	51	12	14	**212**
primavera 2015	5	34	11	20	3	27	107	6	**213**
otoño 2016	8	5	9	1	6	3	12	1	**45**
primavera 2016	11	7	13	7	24	7	27	2	**98**
otoño 2017	17	1	5	0	2	0	2	1	**28**
primavera 2017	11	2	20	3	4	9	26	0	**75**
primavera 2018	28	9	1	4	9	0	66	7	**124**
otoño 2019	6	3	0	1	9	15	23	9	**66**
primavera 2019	19	8	26	14	13	31	22	26	**159**
Total	**140**	**129**	**114**	**67**	**98**	**143**	**301**	**70**	**1062**

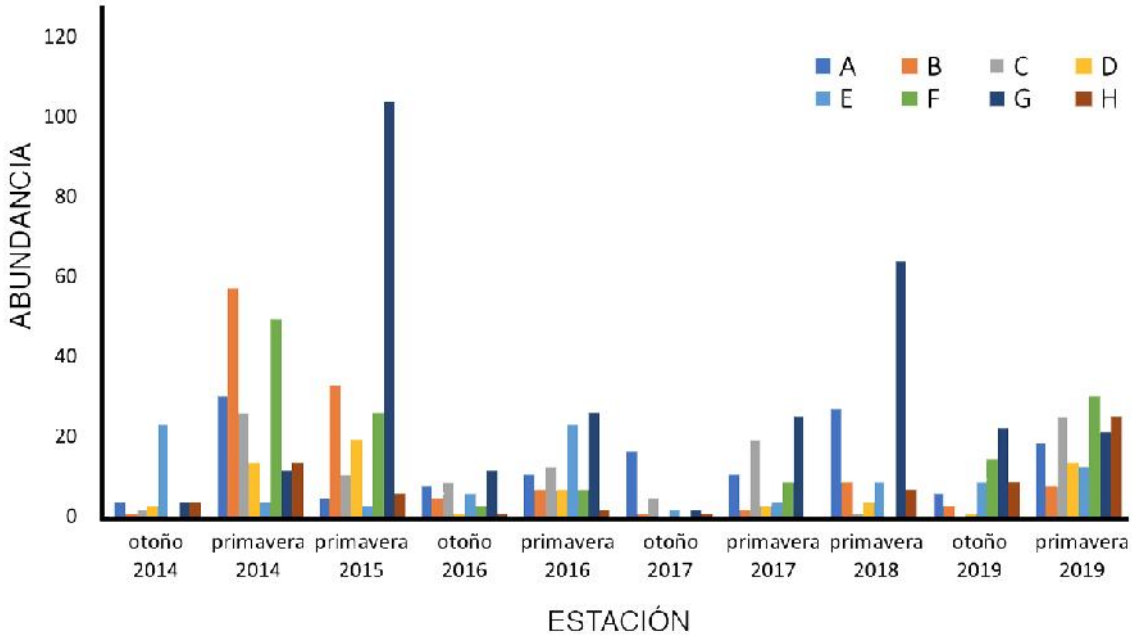


Figura 4.2.6.7. Patrones comparativos de abundancia por estación en las ocho áreas de muestro (A-H) de anfibios y reptiles en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios. **A**: sector Las Marías **B**: sector río Cayumapu, **C**: sector río Pichoy, **D**: sector ríos Nanihue - Cudico, **E**: sector San José de la Mariquina, **F**: sector río San José, **G**: sector río Santa María, **H**: sector Punucapa.

Potenciales amenazas a la herpetofauna del HRC

A lo largo de las campañas de diagnóstico y monitoreo se ha observado un progresivo cambio en el uso de suelo en particular en el sector Santa María, lo que ha provocado la desaparición de hábitats acuáticos para *Calyptocephalella gayi*. En otros casos se advierte el aumento de microbasurales y la construcción de viviendas a orillas del humedal. A pesar de ser una potencial amenaza, no se detectó presencia de tortuga de orejas rojas en el HRC, aunque para confirmar su presencia se reuiqre un monitoreo más contínuo en especial en la estación de verano. Con respecto a ácaros parásitos detectados en algunos anfibios, estos han sido circusntanciales y debido probablemente al contacto directo con fecas de vacuno, donde habitan estos ácaros.

Los resultados del presente estudio de monitoreo muestran cierta estacionalidad en la riqueza de especies, abundancia y composición de la herpetofauna del HRC. Estos

resultados se suman al conjunto de evidencias de los efectos de la fragmentación de hábitat y cambios de uso de suelo y resalta la necesidad de conocer las implicaciones de estas actividades y la necesidad del diseño de estrategias de conservación de la herpetofauna del HRC, no poco relevante en una zona de alta biodiversidad y que se encuentra bajo fuerte presión por las actividades humanas. La pérdida o degradación del hábitat debido al cambio en la cobertura del suelo se considera uno de los principales impulsores de la declinación de los anfibios. Cambios en el uso de suelo no se advierten con una campaña de terreno de un año, por lo que los datos registrados en el presente informe son evidencia empírica de cómo el cambio de cobertura terrestre puede afectar a este grupo de vertebrados.

En la Figura 4.2.6.7 y Figura 4.2.6.8 se muestras fotografías representativas de todas las especies de anfibios y reptiles observados el el HRC a lo largo de todas las campañas.

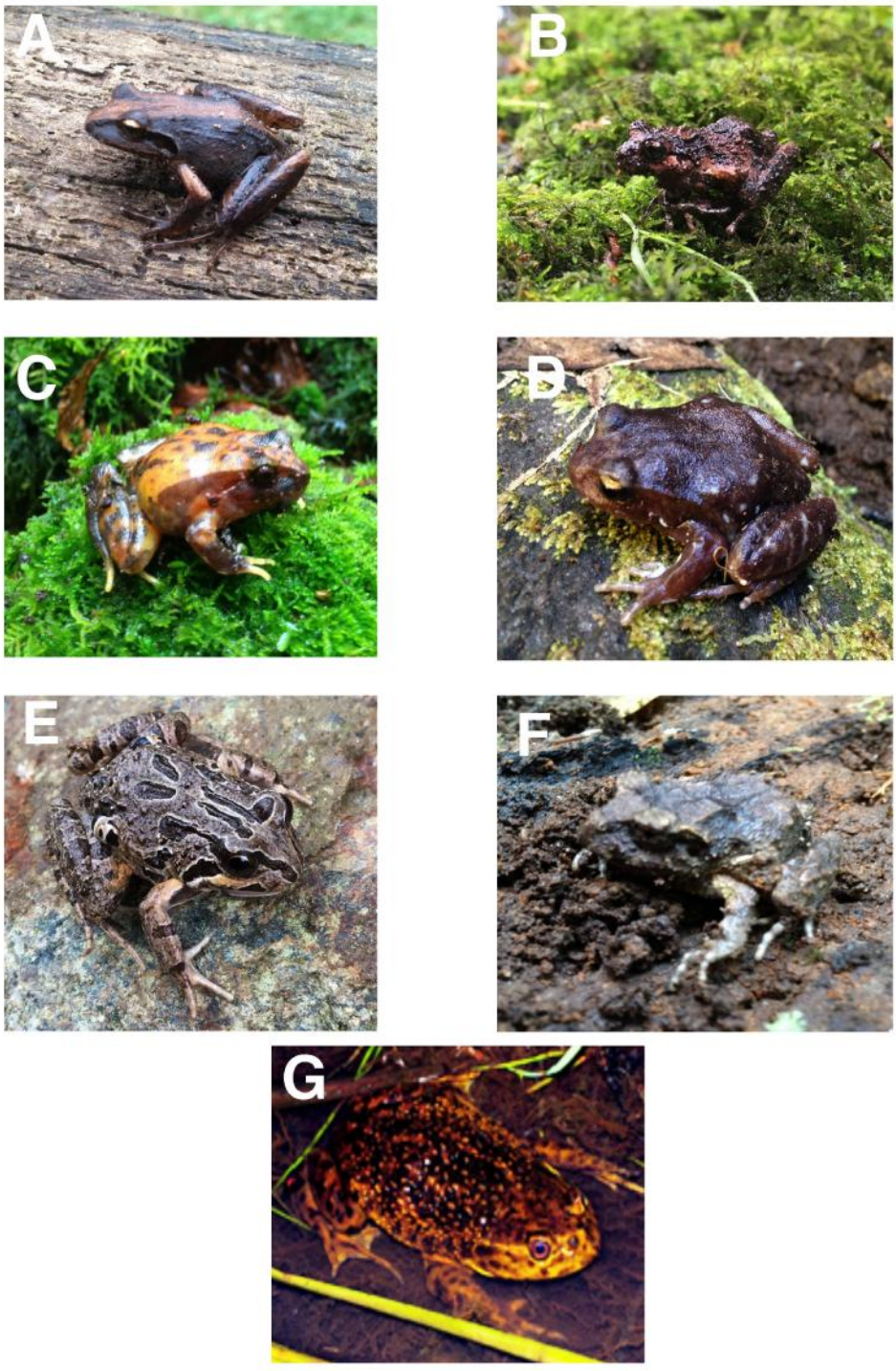


Figura 4.2.6.8. Especies de anfibios observados en el Humedal del Río Cruces y sus rios tributarios. A: *Batrachyla taeniata*, B: *Batrachyla leptopus*, C: *Eupsophus roseus*, D: *Eupsophus altor*, E: *Pleurodema thaul*, F: *Eupsophus vertebralis*, G: *Calyptocephalella gayi*.



Figura 4.2.6.9. Especies de reptiles observados en el Humedal del Río Cruces y sus rios tribtarios. A: *Liolaemus cyanogaster*, B: *Liolaemus pictus*, C: *Tachymenis chilensis*.

4.2.6.5. Conclusiones

• La comunidad de anfibios del HRC está dominada por *Batrachyla taeniata* y *Calyptocephalella gayi* (Tabla 4.2.6.8). Esto concuerda con lo esperado, ya que *B. taeniata* corresponde a una especie común en la región, con una tolerancia moderada a la actividad antrópica.

• *Eupsophus altor* fue la especie menos abundante. Esto es esperable, dado que estas son típicas de zonas boscosas o ecotonales, con baja intervención antrópica y ausencia de ganado. El único sitio donde se encontró esta especie fue en el sector Punucapa.

• Al igual que en casos anteriores, se observaron especímenes con quistes intradérmicos correspondientes a estados larvales del ácaro *Hannemania* sp., común en anfibios expuestos a zonas donde hay ganado vacuno.

• En reptiles, la abundancia de *L. cyanogaster* fue mayor que la de *L. pictus.* La culebra de cola corta, *Tachymenis chilensis* presentó la más baja abundancia.

• No se detectó la presencia de la Tortuga de orejas rojas (*Trachemys scripta*) en el HRC.

• Las variaciones en el tiempo, desde las campañas de diagnóstico hasta la presente campaña de monitoreo 2019, dan cuenta fluctuaciones tanto en riqueza como en abundancia de anfibios y reptiles. Las especies más abundantes en el HRC son *B. taeniat*a y *C. gayi*, aunque esta última ausente en otoño. Las fluctuaciones parecen ser más bien estacionales que de descenso progresivo de algunas de las especies, a pesar del marcado cambio en el uso de suelo en algunos sectores. Lo anterior da cuenta de la importancia de monitoreos a largo plazo sobre este grupo de animales.

• Para preservar la diversidad de anfibios en el área de estudio sería vital proteger los últimos remanentes de bosque nativo, dado que la diversidad de anfibios en el HRC es cercana a la que se encuentra en los bosques nativos circundantes y la mayor abundancia y diversidad está justamente en estos sectores, como en sector río Santa María.

4.2.6.6. Referencias

Baillie, J.E.M., Hilton-Taylor, C. and Stuart, S.N. (Editors) 2004. IUCN Red List of Threatened Species. A Global Species Assessment. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. xxiv + 191 pp.

Berger, W.H. and Parker F.L. 1970. Diversity of planktonic foraminifera in deep-sea sediments. Science 168:1345–134.

Colwell, R. K. 2013. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9. User's Guide and application published at: http://purl.oclc.org/estimates.

Demangel, D. 2016. Reptiles en Chile. Verlag. 604 pgs.

Frost, D.R. 2019. Amphibian Species of the World: an Online Reference. Version 6. American Museum of Natural History, New York, USA. http://research.amnh.org/vz/ herpetology/amphibia/. Última consulta: 27 nov 2018.

González, N., J. Ruiz, S. Puente, J.J. Nuñez. 2018. On the status of red-eared slider, *Trachemys scripta elegans* (Wied, 1838) (*Testudines, Emydidae*) with evidences of its reproduction in the wild, Chile. Biodiversity International Journal 2(3): 292–295.

Grant, E. H. C. et al. 2016. Quantitative evidence for the effects of multiple drivers on continental-scale amphibian declines. Scientific Report 6, 25625; doi: 10.1038/srep25625.

Heyer, R.W., M.A. Donnelly, R.Mc. Diarmid, L.A. Hayek, M. Foster. 2001. Medición y Monitoreo de la Diversidad Biológica. Métodos estandarizados para Anfibios. (ed. original 1994, traducido de Lavilla, Esteban O.). República Argentina.

IUCN 2019. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-3. http://www.iucnredlist.org. Downloaded on 10 December 2019.

Kueneman, J.G., et al., 2019. Community richness of amphibian skin bacteria correlates with bioclimate at the global scale. Nature Ecology and Evolution. 3(3):381-389. doi: 10.1038/s41559-019-0798-1.

Lobos, G., Vidal, M., Correa, C., Labra, A., Díaz-Páez, H., Charrier, A., Rabanal, F., Díaz, S. & Tala, C. 2013. Anfibios de Chile, un desafío para la conservación. Ministerio del Medio Ambiente, Fundación Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile y Red Chilena de Herpetología, Santiago. 104 pp.

Margalef, R. 1995. Aplicacions del caos determinsita en ecologia (pp 171-184) En: Flos, J. (ed.) 1995. Ordre i caos en ecologia. Publicacions Universitat de Barcelona.

Pincheira-Donoso, D., J.A. Scolaro, P. Sura. 2008. A monographic catalogue on the systematics and phylogeny of the South American iguanian lizard family Liolaemidae. Zootaxa 1800: 1-85.

Pielou E. 1975. Ecological Diversity, 165 pp. John Wiley & Sons, New York.

Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The Mathematical Theory of Communication. University Illinois Press, Urbana, IL.

Simon, E., M. Puky, M. Braun y B. Tóthmérész. 2011. Frogs and toads as biological indicators in environmental assessment. En J. L. Murray (ed.). Frogs: Biology, Ecology and Uses. Hauppauge: Nova Science Publishers, pp. 141-150.

Simpson, E. H. (1949). Measurement of diversity. Nature. 163 (4148): 688.

4.2.7. AVIFAUNA

4.2.7.1. Análisis comunitarios y poblacionales de la avifauna acuática

4.2.7.1.1. Antecedentes

En este Capítulo se entrega información sobre los resultados de análisis tendientes a estudiar aspectos comunitarios y poblacionales de la avifauna acuática del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC), durante el quinto año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2019 - marzo 2020). Esta información se comparó con resultados de análisis similares, realizados como parte del primer al cuarto año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2015 a marzo 2019) y del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (abril 2014 - marzo 2015).

4.2.7.1.2. Objetivos

- Analizar la riqueza de especies y abundancia de la avifauna acuática del HRC durante el año 2019.
- Estudiar la distribución espacial de la riqueza de especies y abundancia de esa avifauna, durante el período antes mencionado.
- Evaluar las abundancias poblacionales y distribución espacial de las especies más comunes de aves acuáticas herbívoras y carnívoras durante el año 2019.
- Comparar los resultados de los análisis arriba mencionados, con aquellos obtenidos durante los primeros cuatro años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2015 - marzo 2019) y durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (abril 2014 - marzo 2015).

4.2.7.1.3. Material y métodos

Se utilizó la base de datos de la CONAF (Valdivia), estructurada en base a los ocho sectores que se muestran en la Figura 4.2.7.1.1 y Tabla 4.2.7.1.1: tres de estos sectores incluyen primariamente al eje central del HRC (río Cruces) y a ríos tributarios ubicados en la vertiente occidental del mismo como son los ríos San Ramón, Tambillo y Santa María (sectores 1, 2 y 3, respectivamente), otro se ubica en la parte superior del área de estudio e incluye al eje central del río Cruces y parte de los ríos San José y Cruces (sector 4), a la vez que tres sectores incluyen primariamente a ríos tributarios ubicados en la vertiente oriental del HRC (sector 5 con ríos Nanihue y Cudico, sector 6 o río Pichoy y sector 7 o río Cayumapu); el sector 8 o Isla Teja es la continuación sur del eje central del HRC pero está fuera de este (Tabla 4.2.7.1.1).

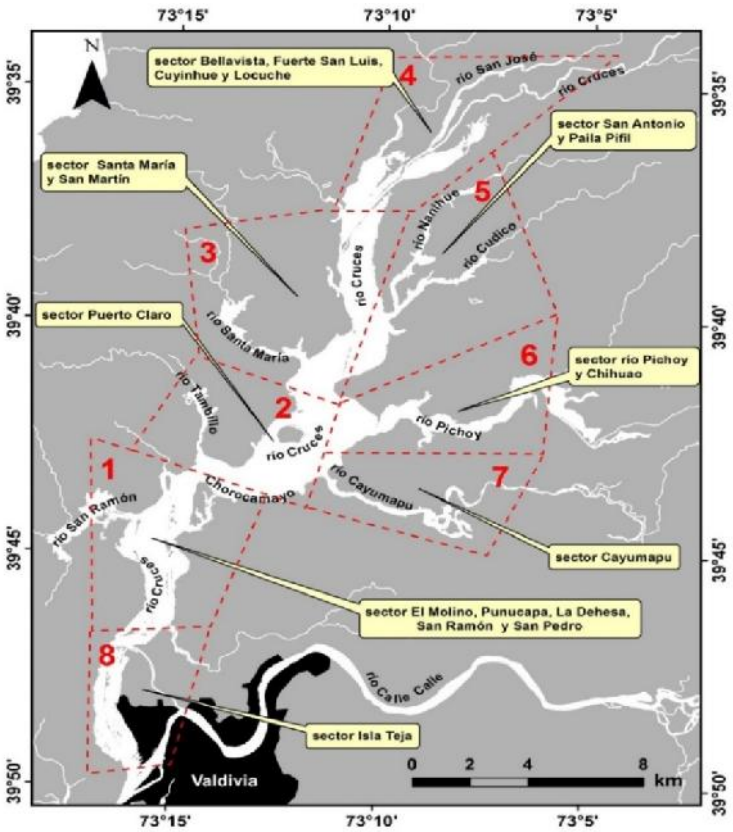


Figura 4.2.7.1.1. Ubicación de los ocho sectores delimitados en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC), para análisis de la variabilidad espacio temporal de la avifauna acuática del área de estudio (ver Material y métodos).

Tabla 4.2.7.1.1. Sectores predefinidos del humedal del río Cruces y su correspondencia con los sitios de observación usados en los censos realizados por la CONAF.

ubicación	sectores	sitios de observación de los censos de CONAF
eje central del HRC	1	El Molino, Punucapa, La Dehesa, San Ramón y San Pedro
	2	Puerto Claro
	3	Santa María y San Martín
	4	Bellavista, Fuerte San Luis, Cuyinhue y Locuche
ríos tributarios del HRC	5	San Antonio (río Cudico) y Paila Pifil (río Nanihue)
	6	Pichoy y Chihuao
	7	río Cayumapu
fuera del HRC	8	Isla Teja

En base a los datos de abundancia de CONAF, se estimó la variabilidad espacial e inter anual de la riqueza de especies (S) y abundancia total de la avifauna acuática para los sectores 1 a 4. Se excluyen de este análisis a los sectores 5 a 8, debido que para estos solo existen datos de abundancia de cisnes (ver también más adelante).

En este Capítulo se presentan resultados acerca de las dinámicas temporales y espaciales de tres especies de aves acuáticas herbívoras: el Cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*), la Tagua (*Fulica armillata*) y la Taguita (*Fulica leucoptera*) y tres especies de aves acuáticas carnívoras: la Garza cuca (*Ardea cocoi*), la Garza blanca grande (*Ardea alba*) y la Garza blanca chica (*Egretta thula*). Los datos de abundancia para los cisnes de cuello negro, provienen de censos realizados entre los años 1991 y mayo 2020 en los ocho sectores que se muestran en la Figura 4.2.7.1.1. Por el contrario, para evaluar la variabilidad espacio temporal en las abundancias de taguas, taguitas y garzas, se trabajó con datos recolectados por CONAF solo en los sectores 1 a 4 (ver Fig. 4.2.7.1.1).

Ya que los resultados del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, mostraron que el año 2012 fue un punto de quiebre para cisnes y taguas (incrementos significativos

en sus abundancias a partir de ese año), se realizan en este Capítulo análisis estadísticos para evaluar la variabilidad interanual durante el período 2012-2019 en las abundancias de estas aves, además de las garzas. Se analiza también la abundancia de estas aves acuáticas en relación a sectores específicos del HRC.

Para complementar la información de censos de la CONAF, se muestrearon todas las riberas del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios, además de aquellas del río Calle Calle y parte del río Valdivia, con el objetivo de estudiar la presencia y abundancia de cisnes, taguas y garzas durante las fechas que se indican en la Tabla 4.2.7.1.2.

Tabla 4.2.7.1.2. Fechas de salidas a terreno para la realización de censos de la avifauna acuática durante el desarrollo del Programa de Monitoreo (primer, segundo, tercer y cuarto año) y Diagnóstico Ambiental del HRC.

programa	periodo	avistamientos
Quinto año de Monitoreo Ambiental del HRC	abril 2019-marzo 2020	06-08 mayo 2019 25-27 junio 2019 25-27 septiembre 2019 10-12 diciembre 2019
Cuarto año Monitoreo Ambiental del HRC	abril 2018 - marzo 2019	18-20 abril 2018 17-19 Julio 2018 02-05 octubre 2018 18-19 enero 2019
Tercer año Monitoreo Ambiental del HRC	abril 2017 - marzo 2018	09-11 mayo 2017 04-06 julio 2017 11-13 octubre 2017 14-16 febrero 2018
Segundo año Monitoreo Ambiental del HRC	abril 2016 - marzo 2017	28-30 abril 2016 13-15 julio 2016 28-30 noviembre 2016 25-27 enero 2017

programa	periodo	avistamientos
Primer año Monitoreo Ambiental del HRC	abril 2015 - marzo 2016	28-30 septiembre 2015 28-30 noviembre 2015 27-29 enero 2016
Diagnóstico Ambiental del HRC	abril 2014 - marzo 2015	15-17 enero 2015

La Figura 4.2.7.1.2 muestra los sectores de muestreo, para determinar y evaluar la presencia y distribución espacial de la avifauna acuática del área de estudio. En cada uno de los mismos se revisaron polígonos ordenados visualmente a lo largo de las riberas y cuyas longitudes aproximadas fueron de 500 m. Es decir, los censos de aves así realizados no son puntuales como los que realiza la CONAF (*i.e.*, recuentos desde puntos fijos), sino continuos a través de todas las riberas del área de estudio.

Los puntos iniciales y finales de cada polígono fueron georeferenciados en coordenadas UTM (huso WGS-84) con un GPS (Global Position System) GARMIN 60CSx. Se anotó la presencia y abundancia de cisnes, taguas y garzas desde un bote Zodiac en cada uno de esos sectores.

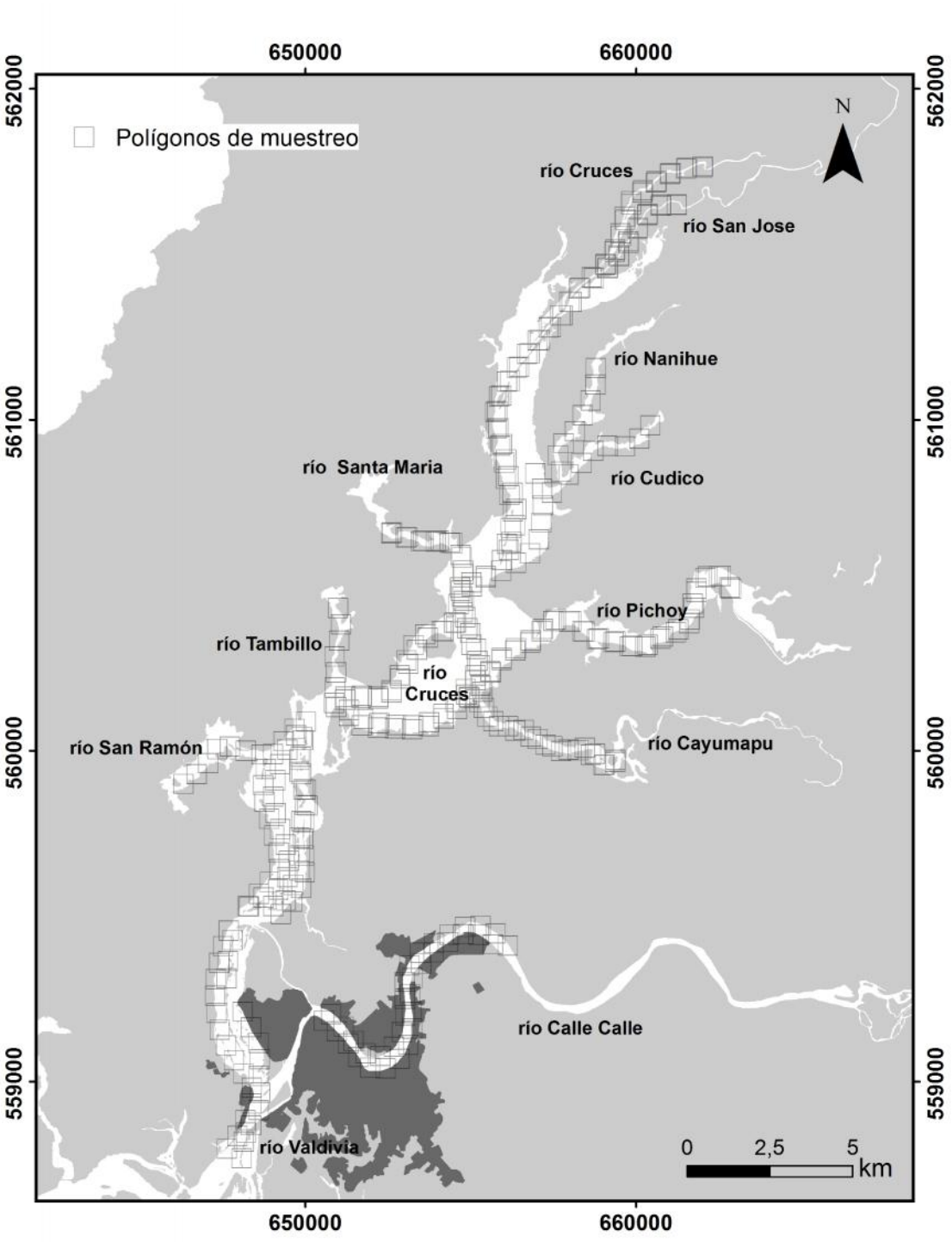


Figura 4.2.7.1.2. Distribución de polígonos de aproximadamente 500 m de longitud, destinados a evaluar la presencia y distribución espacial de avifauna acuática en las riberas del área de estudio (ver Material y métodos).

4.2.7.1.4. Resultados

Riqueza de especies y abundancia total de la avifauna acuática (fuente de datos: CONAF)

Las Figuras 4.2.7.1.3 y 4.2.7.1.4 muestran la variabilidad espacial y temporal de la riqueza de especies y abundancia total de la avifauna acuática, en los sectores 1, 2, 3 y 4 del eje central del HRC.

En general, la riqueza de especies en los diferentes sectores del eje central del HRC, mantuvo una estabilidad interanual con pequeñas fluctuaciones estacionales (Fig. 4.2.7.1.3).

La Figura 4.2.7.1.4 indica que en general la abundancia total de aves acuáticas de los diferentes sectores del eje central del HRC muestra una notoria disminución a partir del año 2004; lo que dice relación con la disminución significativa en las abundancias poblacionales del Cisne de cuello negro y la Tagua común, las especies más abundantes del HRC.

Posterior a este declive y a partir del año 2012, se observó un incremento gradual en la cantidad de aves acuáticas, particularmente en los sectores 1, 2 y 3 del eje central del HRC, incremento que se mantuvo durante el año 2019, caso contrario ocurre en el sector 4 donde no se ha observado un incremento en la abundancia de aves posterior al año 2004.

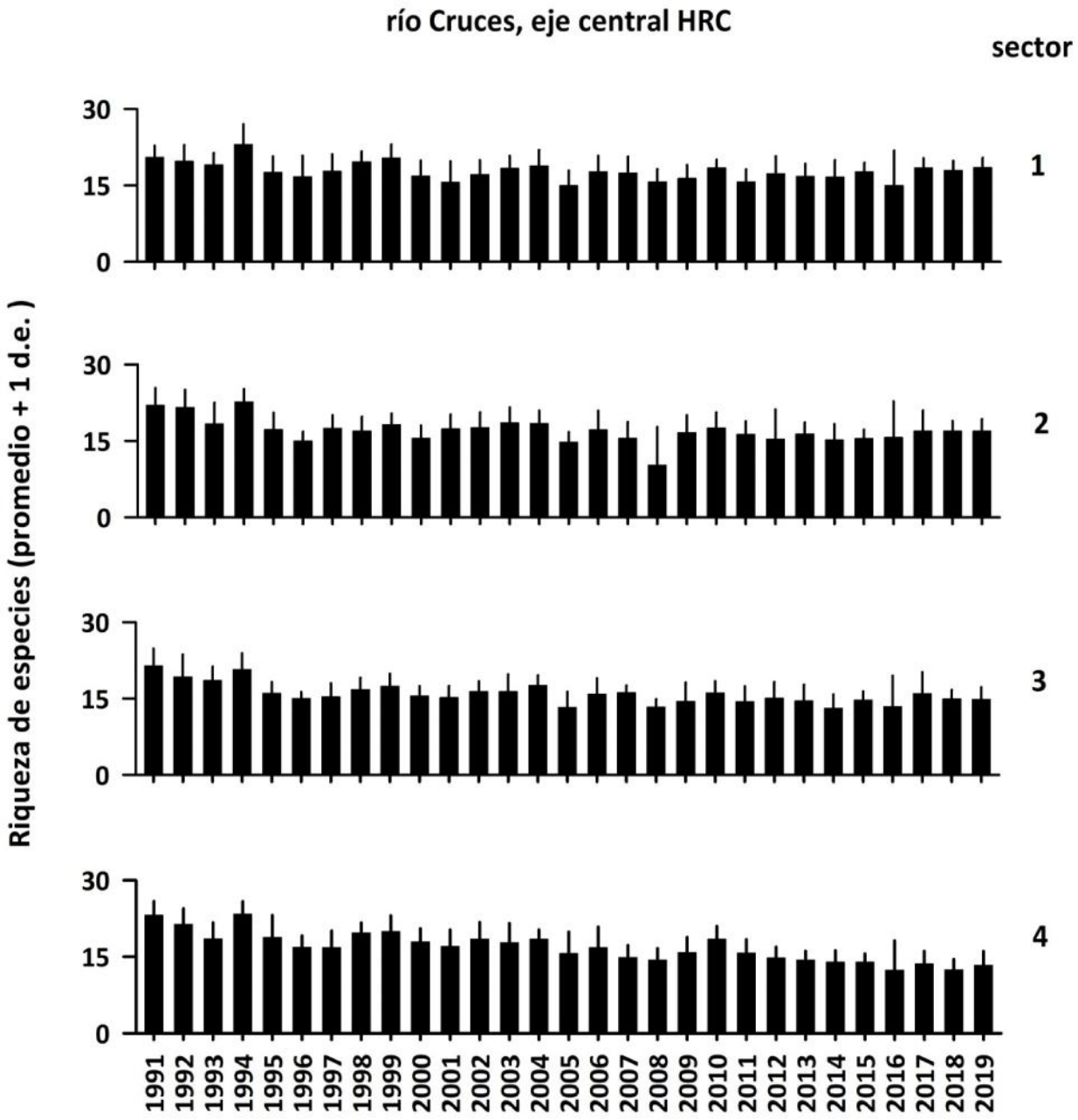


Figura 4.2.7.1.3. Variabilidad interanual de la riqueza de especies de la avifauna acuática en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2019. Se excluyen los sectores 5 a 8, debido que para estos solo existen datos de abundancia de cisnes de cuello negro. Fuente de datos: CONAF.

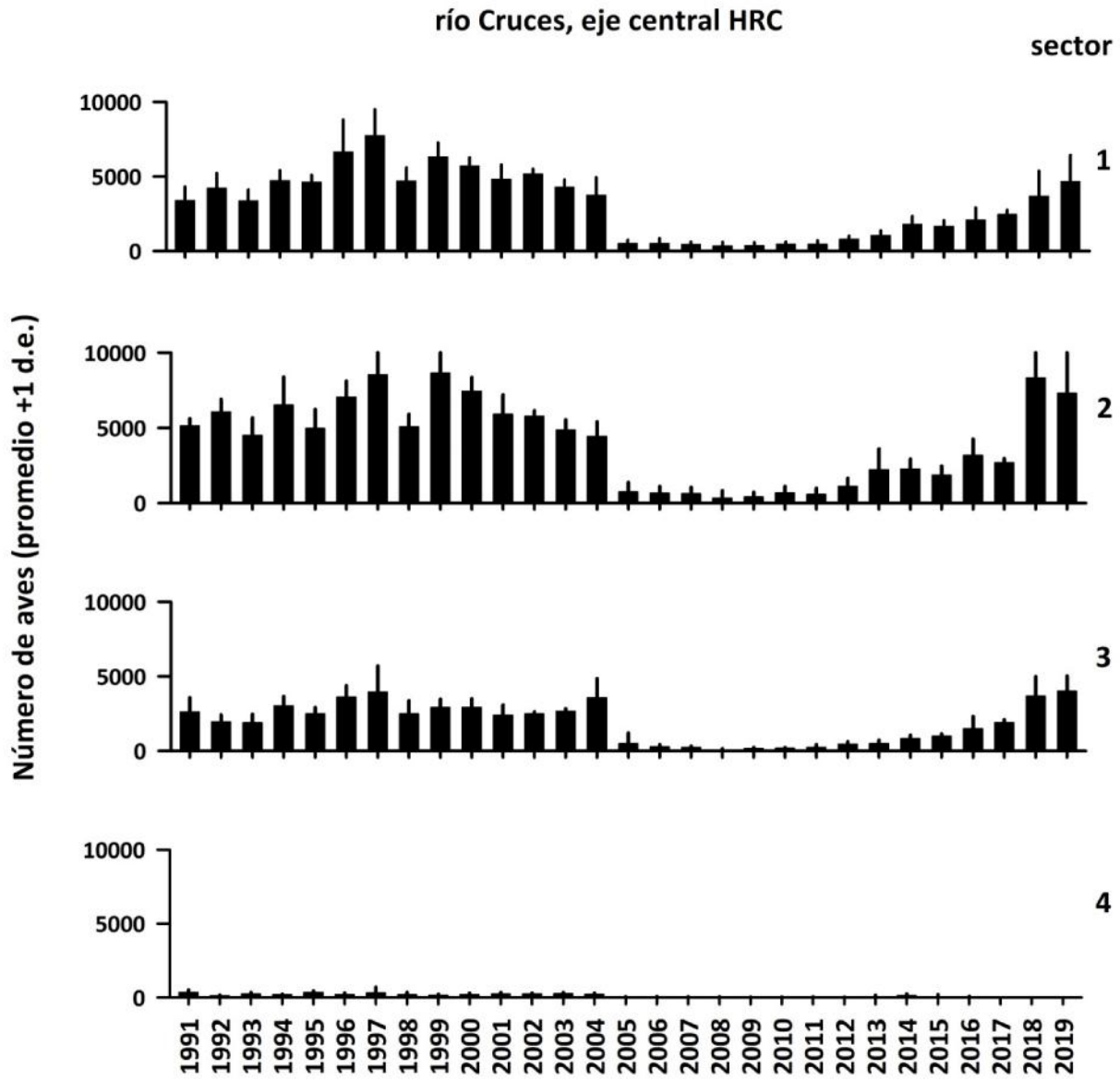


Figura 4.2.7.1.4. Variabilidad interanual de la abundancia total de la avifauna acuática en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2019. Se excluyen los sectores 5 a 8, debido que para estos sectores solo existen datos de abundancia de cisnes de cuello negro. Fuente de datos: CONAF.

Variabilidad de la abundancia anual e interanual de aves acuáticas herbívoras (datos provenientes de censos mensuales de CONAF: años 1991 a 2019)

La Figura 4.2.7.1.5 muestra la variabilidad intra e interanual en la abundancia poblacional del Cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*), la Tagua (*Fulica armillata*) y la Taguita (*Fulica leucoptera*), respectivamente.

Durante el período 2012-2019 se estimó un incremento anual significativo en la abundancia poblacional del Cisne de cuello negro en el HRC (*cf.* Fig. 4.2.7.1.5 y 4.2.7.16). Los resultados del análisis temporal y estacional de estos datos, indican que las abundancias registradas durante los años 2018 y 2019 (*ca*. 10.145-13.006 aves promedio, respectivamente) fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las registradas durante los años 2012 al año 2017 (*ca*. 1.327-8.281 aves promedio, respectivamente) (Tabla 4.2.7.1.3). Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas estacionales en las abundancias de Cisne de cuello negro en el HRC (Tabla 4.2.7.1.3).

Para el período 2012-2019, se estimó la abundancia poblacional más alta de taguas durante el mes de mayo del año 2018 (17.400 individuos), valor que disminuyo a un máximo de 10.530 individuos durante el mismo mes del año 2019 (Fig. 4.2.7.1.5). Los resultados del análisis temporal y estacional de los datos recopilados para ese período, muestran que las abundancias registradas durante los años 2018 y 2019 (*ca*. 6.243-5.386 aves promedio, respectivamente) fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las observadas entre los años 2012 y 2017 (*ca*. 627-1402 aves promedio) (Tabla 4.2.7.1.3).

A su vez, estas abundancias fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante la temporada otoño-invierno que durante las estaciones primavera-verano (Fig. 4.2.7.1.6).

Durante el período 2012-2016, la Taguita estuvo ausente del HRC u ocurrió en abundancias muy bajas con un repunte durante los años 2017 y 2018, por el contrario, durante el año 2019 no se observaron Taguitas en el HRC (Fig. 4.2.7.1.5 y 4.2.7.1.6). Debido a tales variaciones, no se realizaron análisis estadísticos de tal variabilidad para esta ave acuática.

Tabla 4.2.7.1.3. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las abundancias anuales y estacionales de Cisne de cuello negro (CCN) y Taguas en el HRC. Los factores son Años (2012-2013-2014-2015-2016-2017-2018 y 2019) y Estación (verano (V), otoño (O), invierno (I) y primavera (P)). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
CCN (*) (**)	Año (A)	7	10,129	1,447	183,855	**<0,001**	19=18>17=16>15=14>13>12
	Estación (E)	3	0,0349	0,0116	1,476	0,229	
	A x E	21	0,983	0,0468	5,945	**<0,001**	
	Error	64	0,504	0,00787			
Tagua (*)(**)	Año (A)	7	14,496	2,071	22,362	**<0,001**	19=18>17=16=15=14=13=12
	Estación (E)	3	6,840	2,280	24,621	**<0,001**	O = I > P = V
	A x E	21	6,919	0,329	3,558	**<0,001**	
	Error	64	5,927	0,0926			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados $\log_{10}$ o raíz cuadrada; (**) = Cumple al menos un supuesto de ANDEVA.

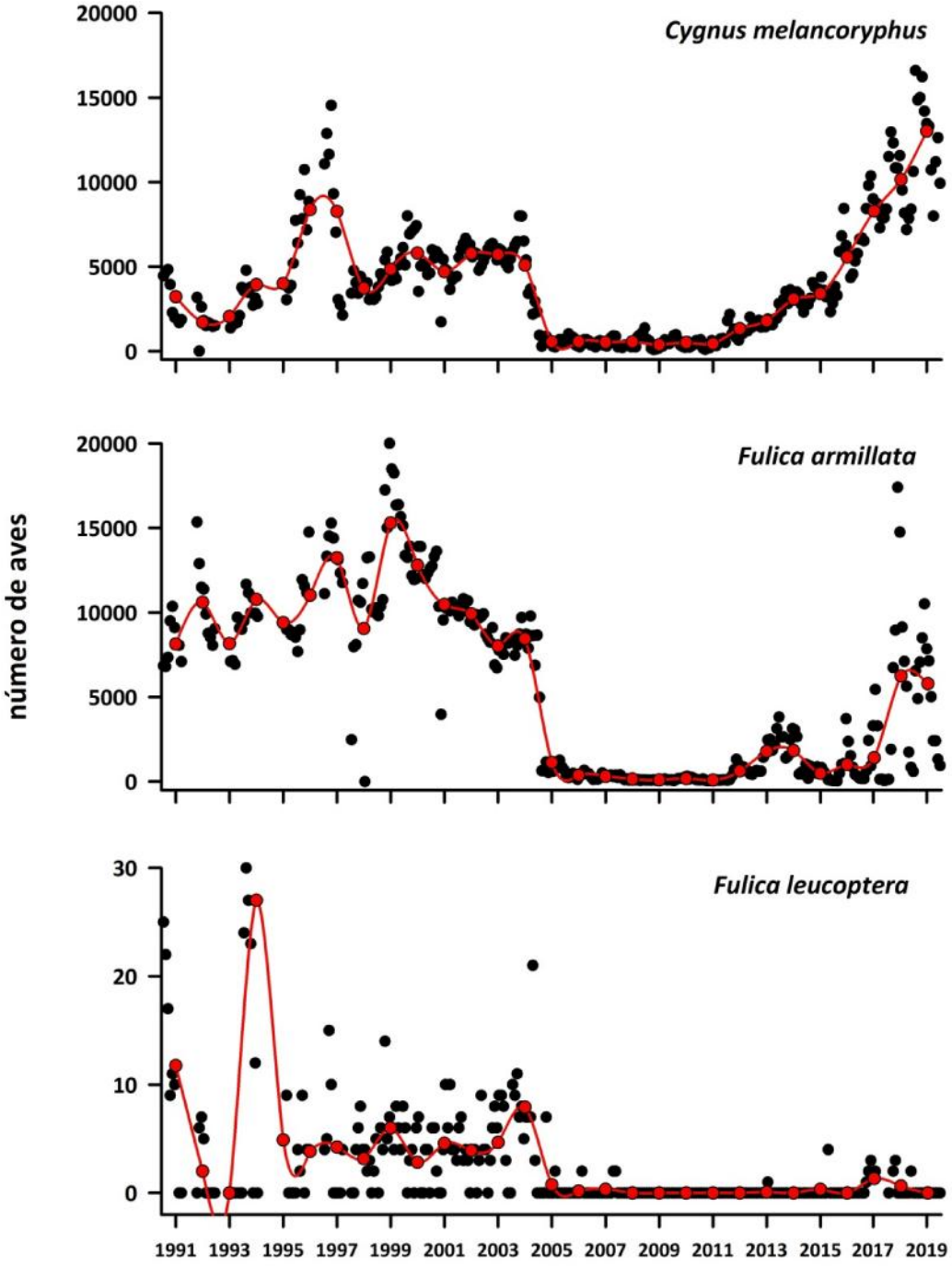


Figura 4.2.7.1.5. Variabilidad intra e inter anual (puntos negros y línea roja, respectivamente) en el número de ejemplares de *C. melancoryphus*, *F. armillata* y *F. leucoptera* entre enero del año 1991 y diciembre del año 2019. Fuente de datos: CONAF

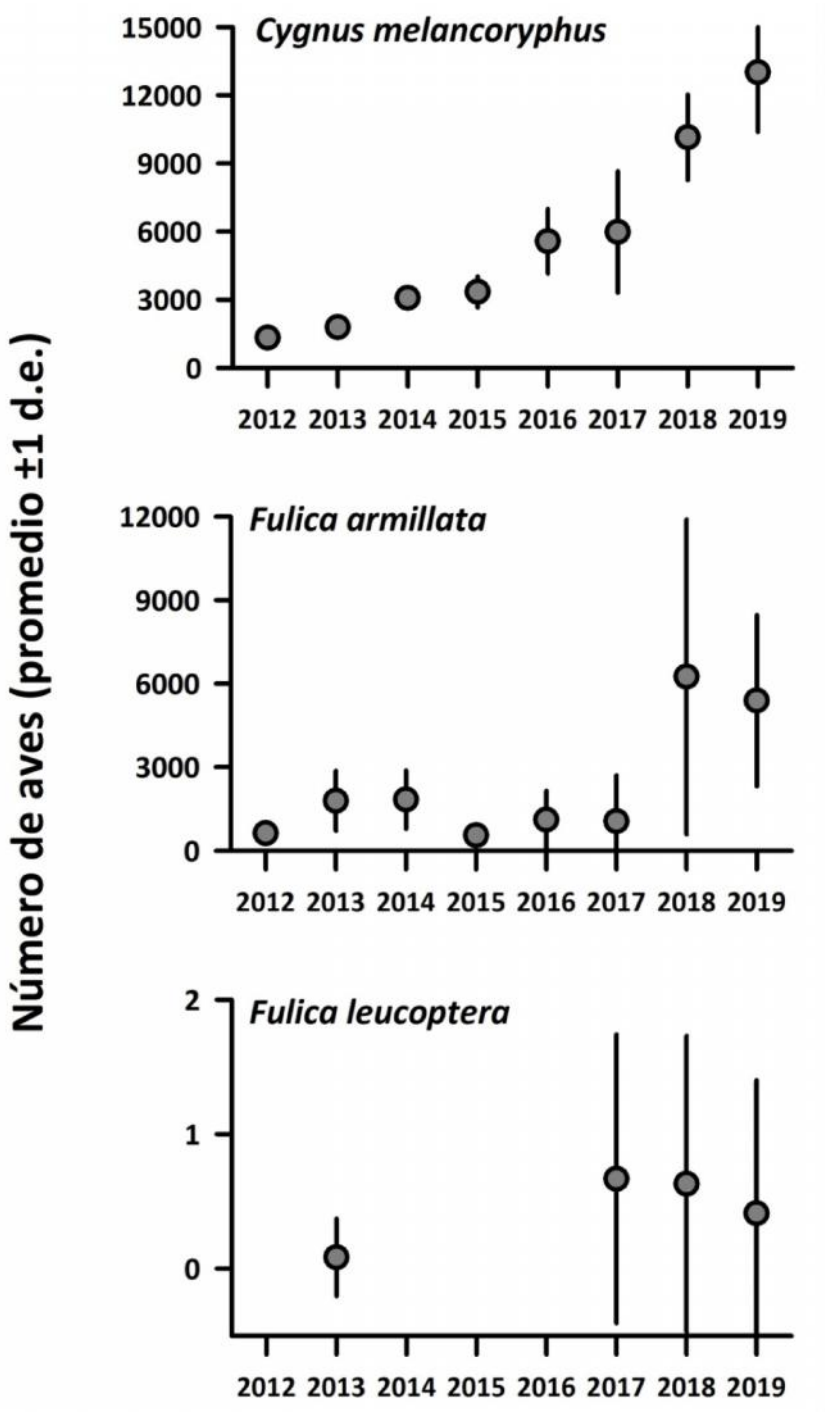


Figura 4.2.7.1.6. Variabilidad interanual en el número de ejemplares de *C. melancoryphus*, *F. armillata* y *F. leucoptera*, entre los años 2012 y 2019. Fuente de datos: CONAF.

Abundancia de aves acuáticas carnívoras (fuente de datos: CONAF)

La Figura 4.2.7.1.7 muestra la variabilidad intra e interanual en la abundancia poblacional de la Garza cuca (*Ardea cocoi*), Garza blanca grande (*Ardea alba*) y Garza blanca chica (*Egretta thula*).

En términos generales, la abundancia poblacional de la Garza cuca ha incrementado de manera significativa ($p<0,05$) durante los últimos años, siendo el año 2018 el que presento las mayores abundancias de esta especie (64 individuos promedio anual), particularmente durante la estación primaveral (Tabla 4.2.7.1.4) (*cf.* Fig. 4.2.7.1.7 y 4.2.7.1.8)

Por el contrario, las abundancias poblacionales de la Garza blanca grande y Garza blanca chica presentan una tendencia a disminuir en el tiempo desde el año 2012 a la fecha (*cf.* Fig. 4.2.7.1.7 y 4.2.7.1.8). El análisis de los datos de abundancia de la primera de estas especies, muestra que estas fueron significativamente más bajas ($p<0,05$) durante los años 2018 y 2019 que las registradas durante los años 2012, 2013 y 2014 (Tabla 4.2.7.1.4). A su vez estas abundancias fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante la estación primaveral (Tabla 4.2.7.1.4).

Al igual que en la especie anteriormente descrita, la Garza blanca chica, presento abundancias significativamente más bajas ($p<0,05$) durante los años 2018 y 2019 (Fig. 4.2.7.1.8 y Tabla 4.2.7.1.4). Por otra parte, estas abundancias fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante la temporada estival (Tabla 4.2.7.1.4).

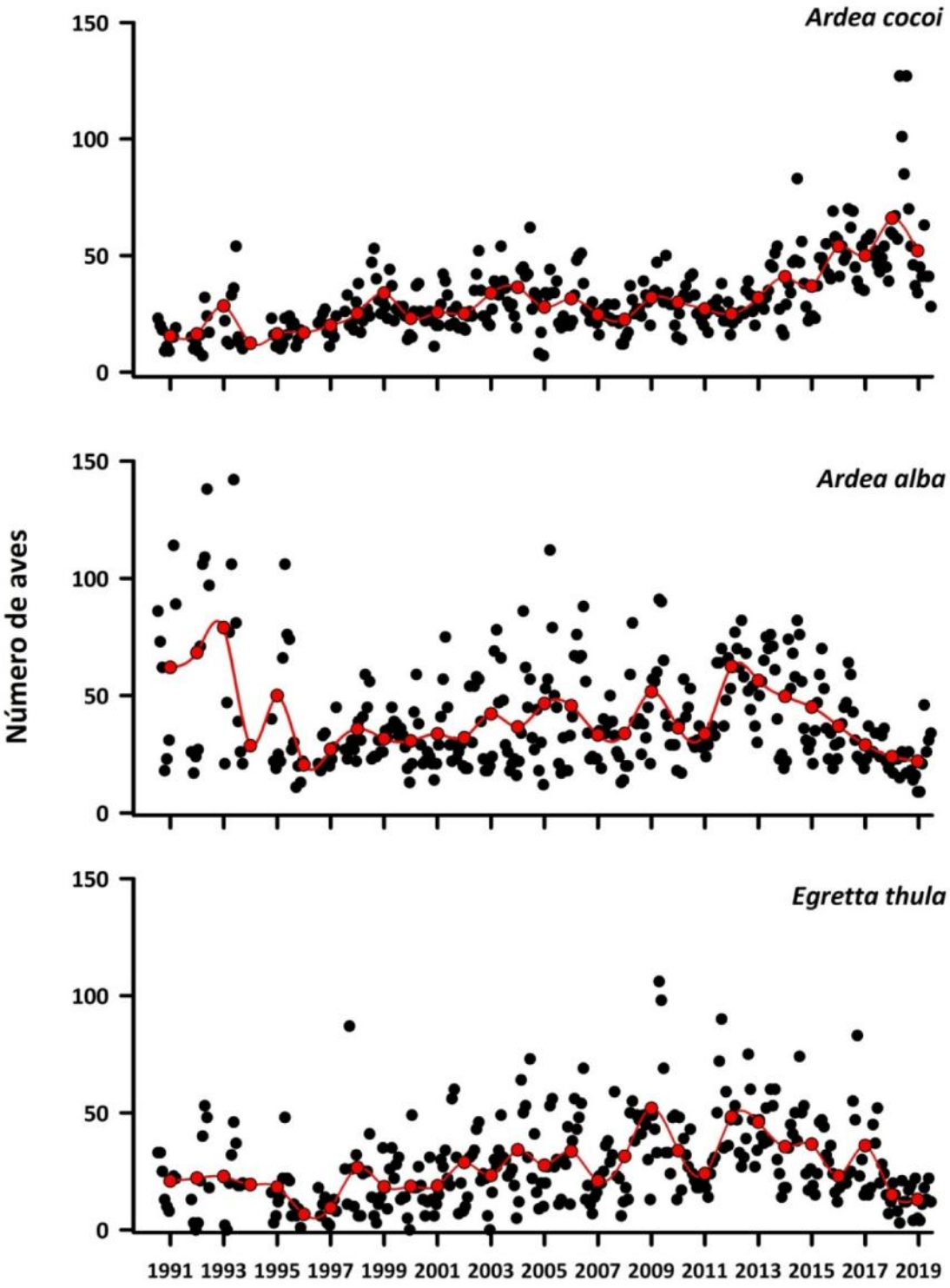


Figura 4.2.7.1.7. Variabilidad intra e inter anual (puntos negros y línea roja, respectivamente) en el número de individuos de *A. cocoi, A. alba y E. thula* entre enero del año 1991 y diciembre del año 2018. Fuente de datos: CONAF.

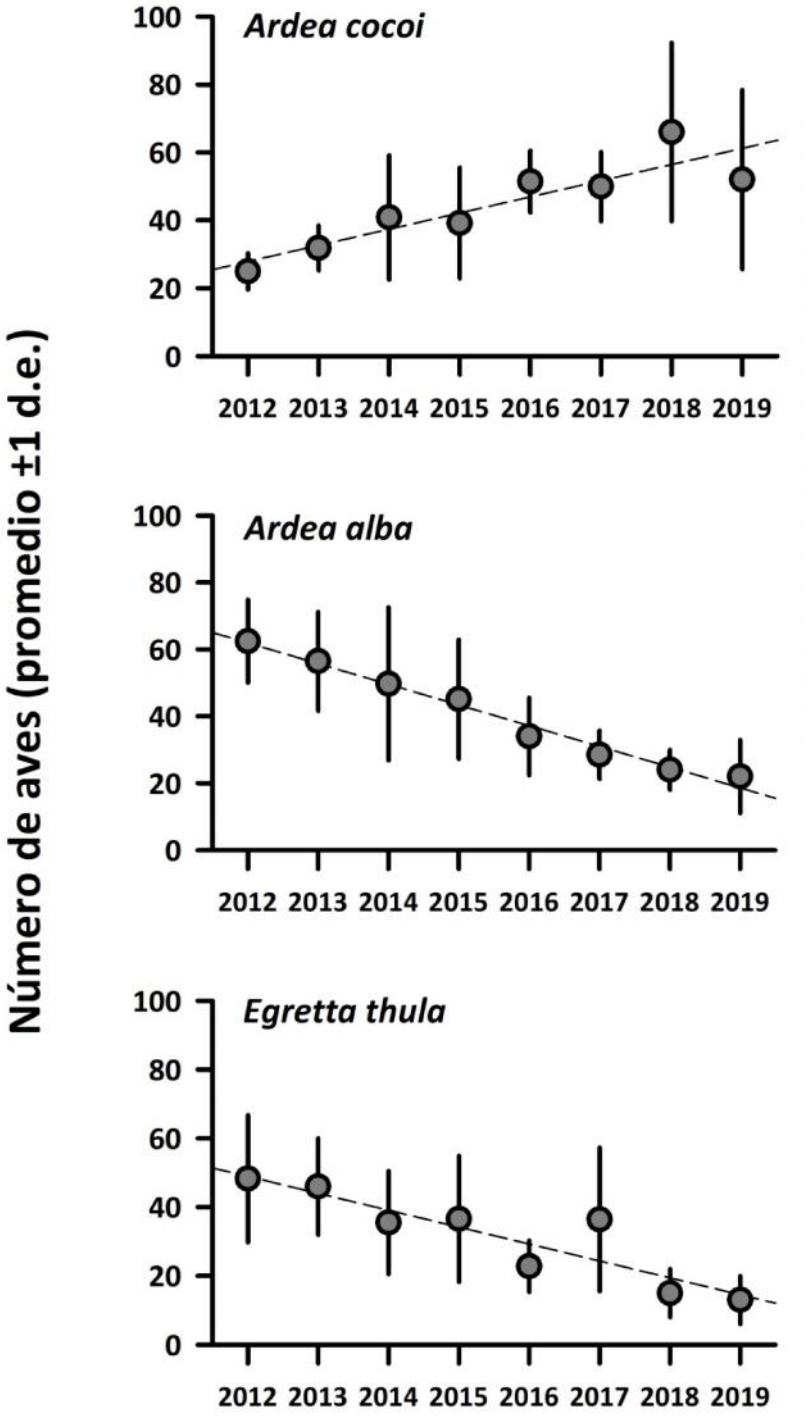


Figura 4.2.7.1.8. Variabilidad interanual en el número de ejemplares de *A. cocoi, A. alba y E. thula*, entre los años 2012 y 2019. Fuente de datos: CONAF.

Tabla 4.2.7.1.4. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las abundancias anuales y estacionales de Garza cuca (GC), Garza blanca grande (GBG) y Garza blanca chica (GBCH) en el HRC. Los factores son Años (2012-2013-2014-2015-2016-2017-2018 y 2019) y Estación (verano (V), otoño (O), invierno (I) y primavera (P)). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
GC (*)(**)	Año (A)	7	1,506	0,215	28,763	**<0,001**	18=16=17=19>14=15>13=12
	Estación (E)	3	0,437	0,146	19,452	**<0,001**	P > O = I
	A x E	21	0,737	0,0351	4,689	**<0,001**	
	Error	64	0,479	0,00748			
GBG (*)(***)	Año (A)	7	2,567	0,367	24,236	**<0,001**	12=13=14=15>16=17>18=19
	Estación (E)	3	0,859	0,286	18,917	**<0,001**	P > V = I > O
	A x E	21	0,472	0,0225	1,487	0,114	
	Error	64	0,968	0,0151			
GBCH (*)(**)	Año (A)	7	4,249	0,607	22,146	**<0,001**	12=13=15=14=17=16>18=19
	Estación (E)	3	1,440	0,480	17,508	**<0,001**	V > P = I = O
	A x E	21	0,858	0,0409	1,491	0,113	
	Error	64	1,754	0,0274			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados $\log_{10}$ o raíz cuadrada; (**) = Cumple al menos un supuesto de ANDEVA; (***) = No cumple supuestos de ANDEVA.

Abundancia de aves acuáticas herbívoras en diferentes sectores del HRC (fuente de datos: CONAF)

Las Figuras 4.2.7.1.9 a 4.2.7.1.11 muestran la variabilidad espacial y temporal de la abundancia del Cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*), la Tagua (*Fulica armillata*) y de la Taguita (*Fulica leucoptera*), respectivamente.

En general, durante los años 1991 al 2019, las mayores abundancias del Cisne de cuello negro ocurrieron en el eje central del HRC (sectores 1, 2 y 3) en contraste con lo observado en los ríos tributarios (sectores 5, 6 y 7) y sector Isla Teja (sector 8) (Fig. 4.2.7.1.9). Históricamente, las abundancias de esta especie han experimentado notorias fluctuaciones: entre los años 1991 y 2004 los cisnes fueron más abundantes en los sectores 2 y 3 del eje central del HRC (Fig. 4.2.7.1.9). Posteriormente y entre los años 2005 y 2011, las abundancias de estas aves disminuyeron drásticamente en toda el área de estudio, con excepción del sector 7 donde se observó un incremento en el número de cisnes (río Cayumapu) (*cf.*, Fig. 4.2.7.1.1 y 4.2.7.1.9). A partir de los años 2012, la abundancia del Cisne de cuello negro comenzó a mostrar una recuperación en todos los sectores, las que aumentaron significativamente hasta el año 2019 (Tabla 4.2.7.1.3), en todo el HRC, particularmente en los sectores 1, 2 y 3 (*cf.*, Fig. 4.2.7.1.1 y 4.2.7.1.9).

Entre los años 1991 y 2004, las taguas fueron más abundantes en los sectores 1 y 2, pero presentes en todo el eje central del HRC. Posteriormente, las abundancias de estas aves disminuyeron notoriamente en toda el área de estudio (*cf.*, 4.2.7.1.1 y Fig. 4.2.7.1.10). Actualmente pareciera que sus poblaciones están recuperándose, lo que se traduce en un aumento significativo de individuos durante los años 2018 y 2019 en relación a años anteriores (Tabla 4.2.7.1.3). Este aumento en la abundancia del número de taguas ha ocurrido principalmente en el sector 2 del eje central del HRC, con máximos observados de 13.000 y 6.100 individuos censados en mayo de los años 2018 y 2019, respectivamente (Fig. 4.2.7.1.10).

Entre los años 1991 y 2004, la Taguita ocurrió anualmente en los sectores 1 y 4, e intermitentemente en los sectores 2 y 3 del eje central del HRC (Fig. 4.2.7.1.11). Posterior al año 2004, la Taguita prácticamente desapareció del humedal, aunque entre los años 2017 al 2019 se ha observado ocasionalmente en números muy reducidos, particularmente en los sectores 2 y 3 del eje central del HRC (*cf.*, y 4.2.7.1.1 y Fig. 4.2.7.1.11)

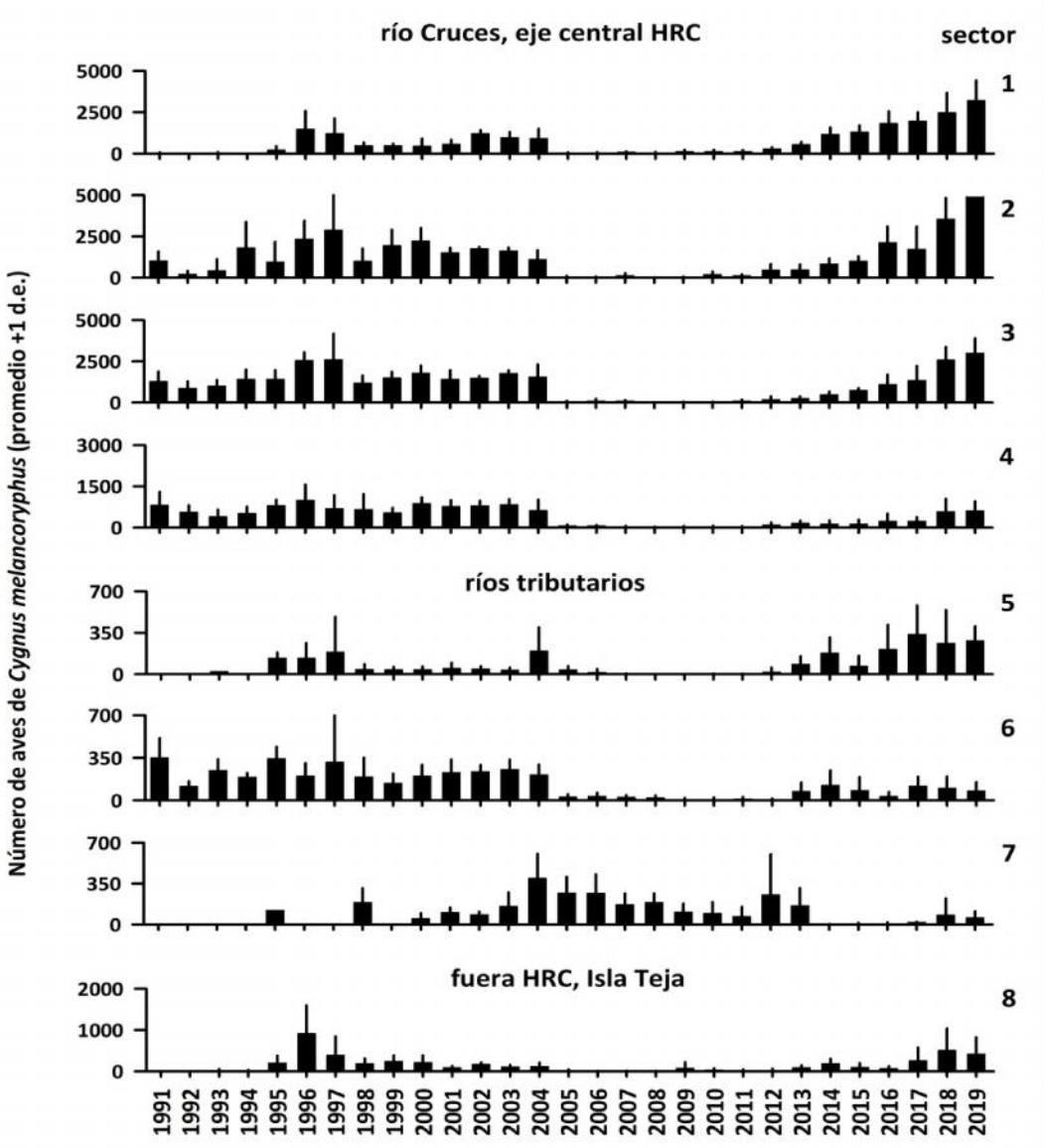


Figura 4.2.7.1.9. Variabilidad interanual de la abundancia de *Cygnus melancoryphus* en siete sectores ubicados dentro del HRC y un sector fuera del HRC, entre los años 1991 y 2019. Fuente de datos: CONAF.

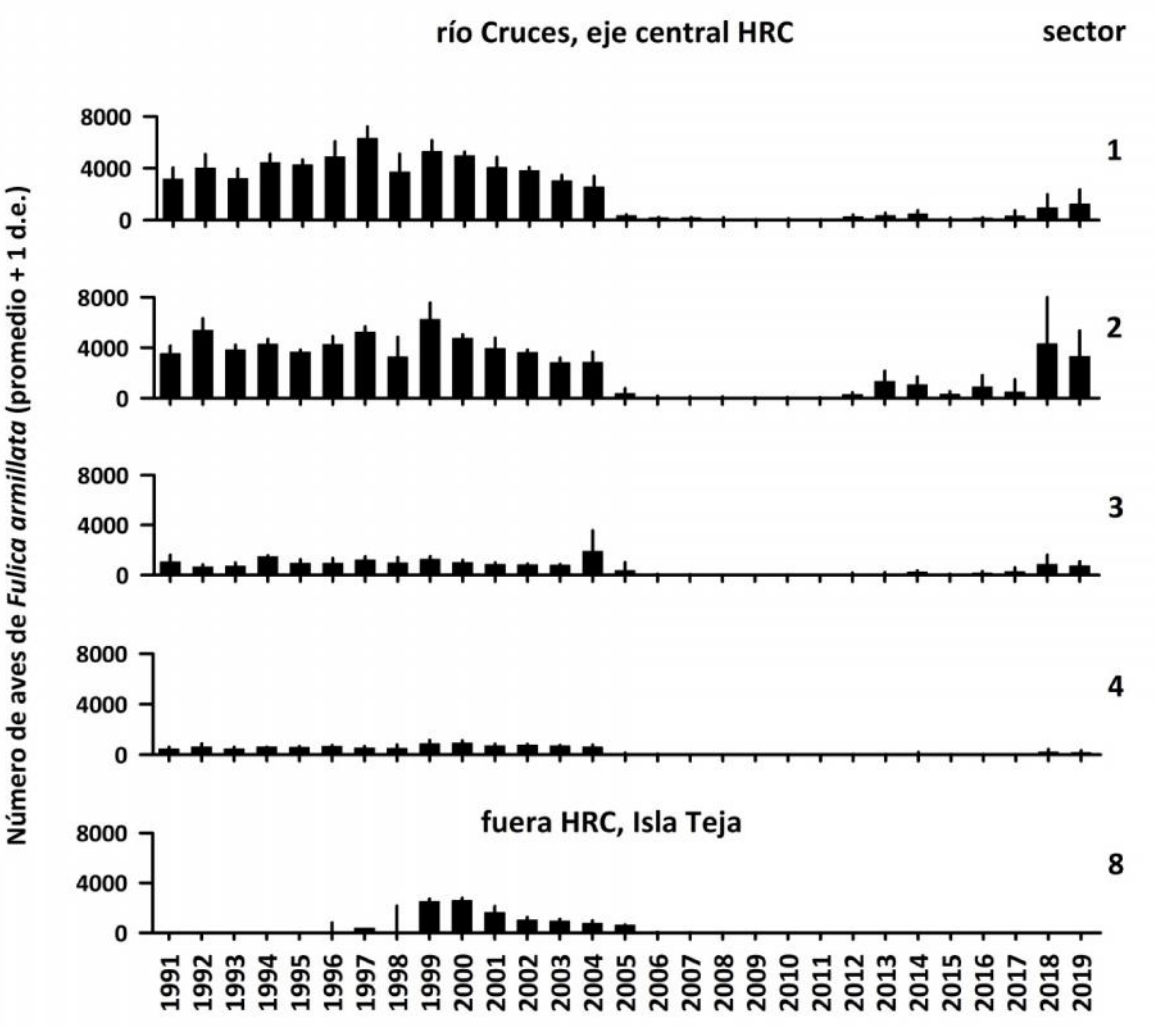


Figura 4.2.7.1.10. Variabilidad interanual de la abundancia de *Fulica armillata* en cuatro sectores del eje central del HRC y un sector fuera del HRC, entre los años 1991 y 2019. Fuente de datos: CONAF.

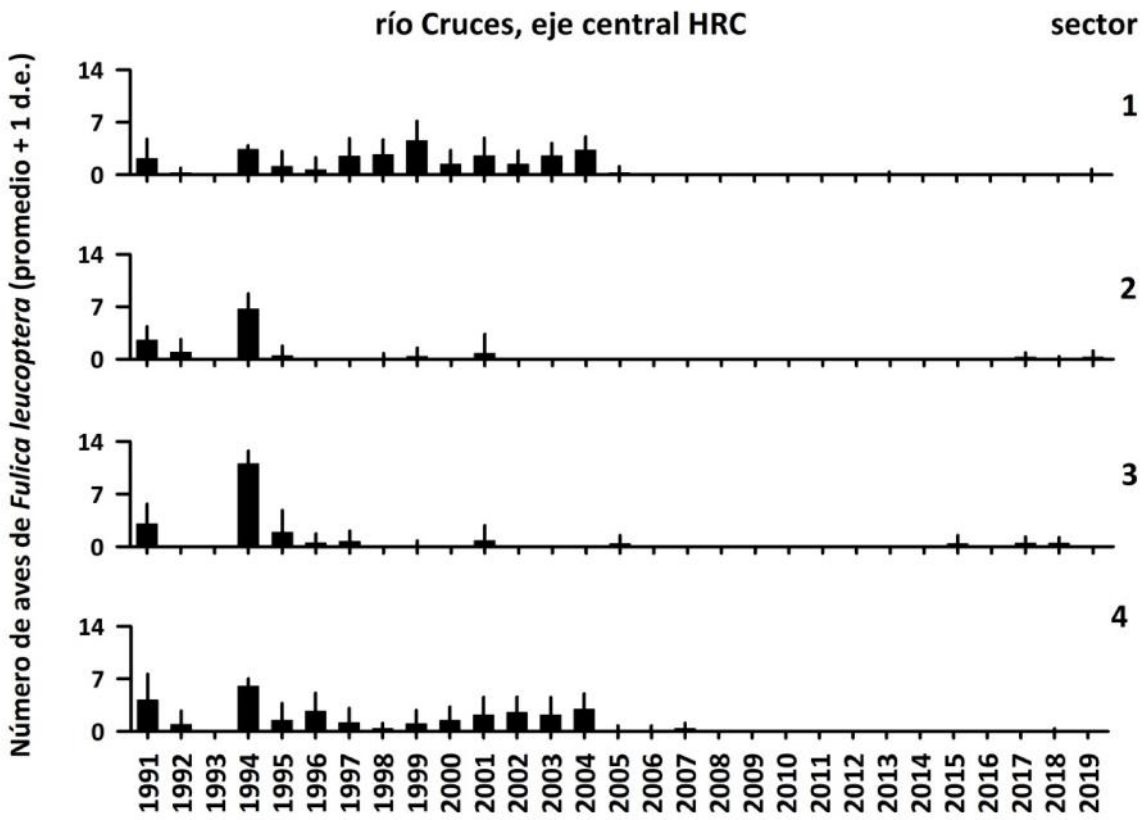


Figura 4.2.7.1.11. Variabilidad interanual de la abundancia de *Fulica leucoptera* en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2019. Fuente de datos: CONAF.

Abundancia de aves acuáticas carnívoras en diferentes sectores del HRC (fuente de datos: CONAF)

Las Figuras 4.2.7.1.12 a 4.2.7.1.14 muestran la variabilidad espacial y temporal de la Garza cuca (*Ardea cocoi*), Garza blanca grande (*Ardea alba*) y la Garza blanca chica (*Egretta thula)* respectivamente. Hay que destacar que, a diferencia de las aves acuáticas herbívoras, las poblaciones de garzas no fueron afectadas por los cambios ambientales ocurridos el año 2004.

En general, entre los años 1991 y 2019, las poblaciones de Garza cuca presentan un aumento temporal significativo en los sectores 1, 2 y 3 del eje central del HRC, lo cual se ve

reflejado en un aumento en el número de individuos observados durante los dos últimos años (Fig. 4.2.7.1.14; *cf*., 4.2.7.1.8).

Por el contrario, las abundancias poblacionales de la Garza blanca grande y la Garza blanca chica, muestran una tendencia a disminuir en el tiempo a partir del año 2012 en todo el eje central del HRC (Fig. 4.2.7.1.12 y 4.2.7.1.13, respectivamente).

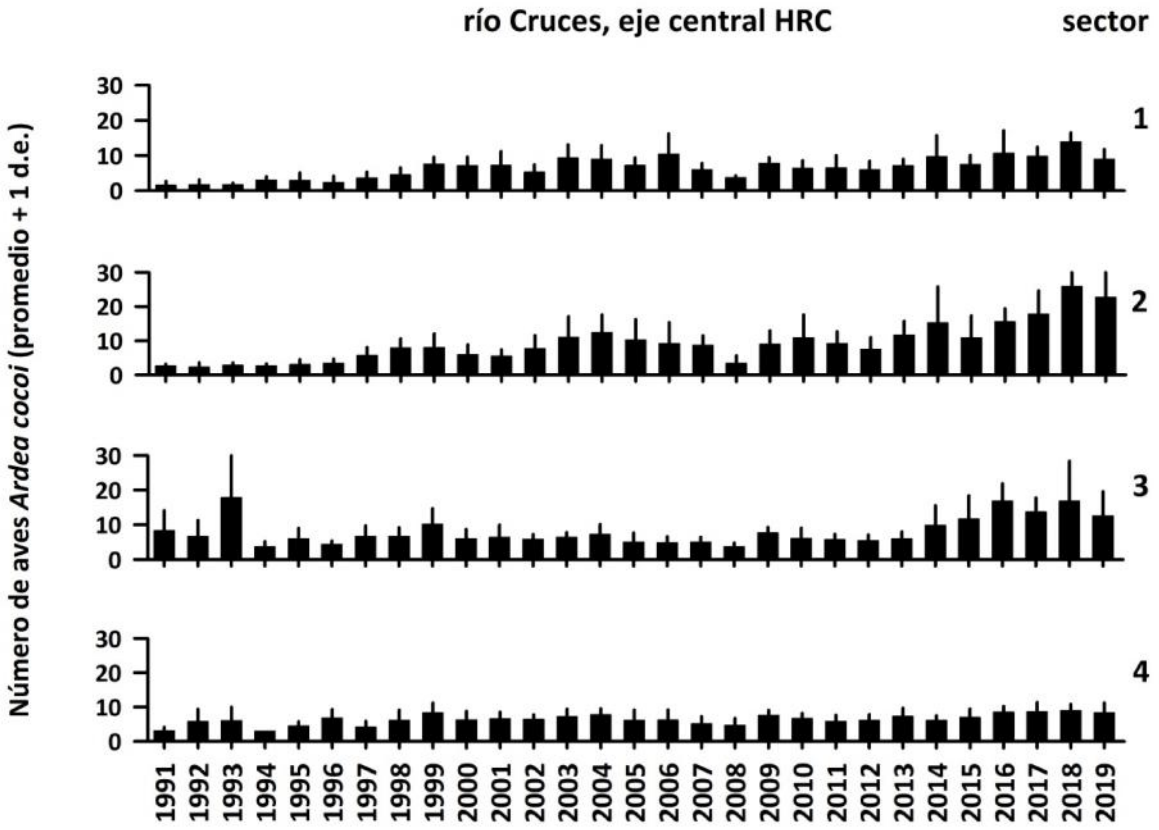


Figura 4.2.7.1.12. Variabilidad interanual de la abundancia de *Ardea cocoi* en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2019. Fuente de datos: CONAF.

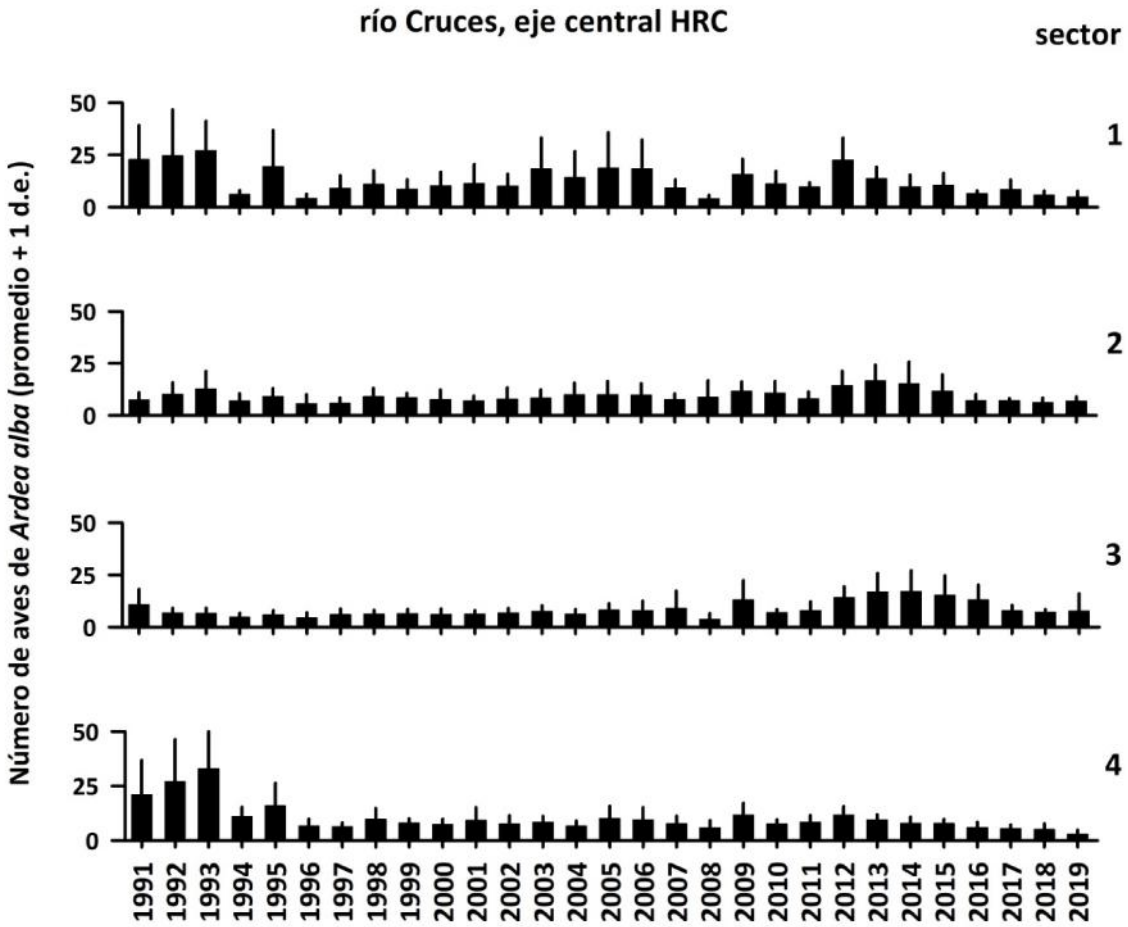


Figura 4.2.7.1.13. Variabilidad interanual de la abundancia de *Ardea alba* en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2019. Fuente de datos: CONAF.

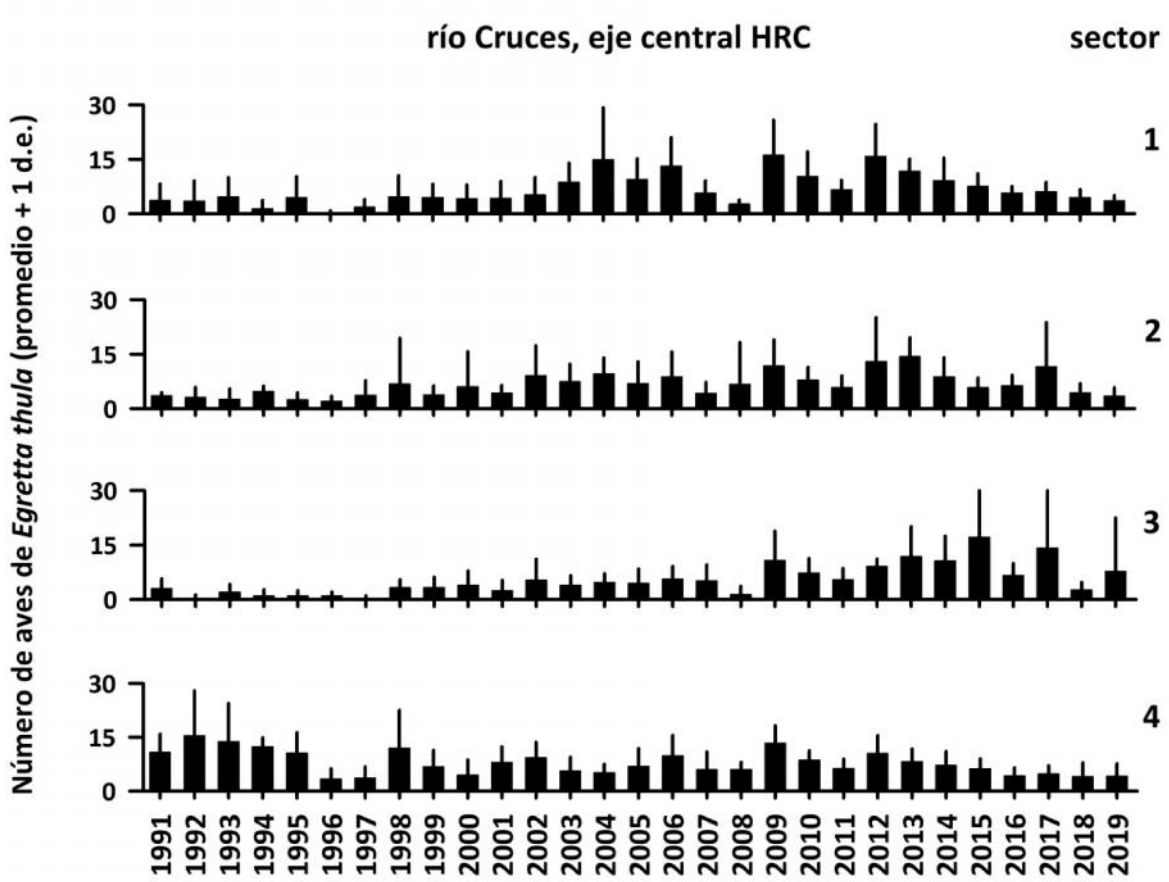


Figura 4.2.7.1.14. Variabilidad interanual de la abundancia de *Egretta thula* en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2019. Fuente de datos: CONAF.

Distribución espacial y abundancia de avifauna acuática (datos provenientes de censos estacionales de la UACh: enero 2015 a mayo 2020)

Aves acuáticas herbívoras

Las Figuras 4.2.7.1.15 a 4.2.7.1.18 muestran la distribución espacial y abundancia del Cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*) y la Tagua (*Fulica armillata*) en los ocho sectores del área de estudio. Los datos se recolectaron entre enero 2015 y mayo 2020 (n=22 muestreos) (cf. Tabla 4.2.7.1.2).

Tal como lo observado al inicio del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, la distribución espacial del Cisne de cuello negro ha sido más extensa que la de taguas. Las Figuras 4.2.7.1.15 y 4.2.7.1.16 muestran que la población del Cisne de cuello negro ocurre principalmente en las áreas ubicadas en el eje central del río Cruces (sectores 1, 2 y 3), disminuyendo significativamente su presencia en ríos tributarios y fuera del HRC. Los análisis estadísticos corroboran lo antes descrito, indicando que las abundancias de CCN observadas en los sectores ubicados en el eje central del río Cruces (sectores 1, 2 y 3) presentan abundancias significativamente más altas ($p<0,05$) que las observadas en los otros cinco sectores (ANOVA $F_{(7,119)} = 100,351$; $p= <0,001$; Test de Tukey ($p<0,05$): Sectores 1=2=3 > Sectores 4=5=6=7=8).

Las Figuras 4.2.7.1.17 y 4.2.7.1.18 muestran que las Taguas han mostrado sus mayores abundancias en el eje central del río Cruces (específicamente en el sector 2) y que poseen una baja intrusión hacia la cabecera norte del HRC y los ríos tributarios. Los análisis estadísticos indican que las abundancias de Taguas observadas en los sectores 4, 6 y 7 fueron significativamente más bajas ($p<0,05$) que las observadas en los otros sectores (ANOVA $F_{(7,119)} = 69,394$; $p<0,001$; Test de Tukey ($p<0,05$): Sector 1=2=3=5=8 > Sectores 4, 6 y 7).

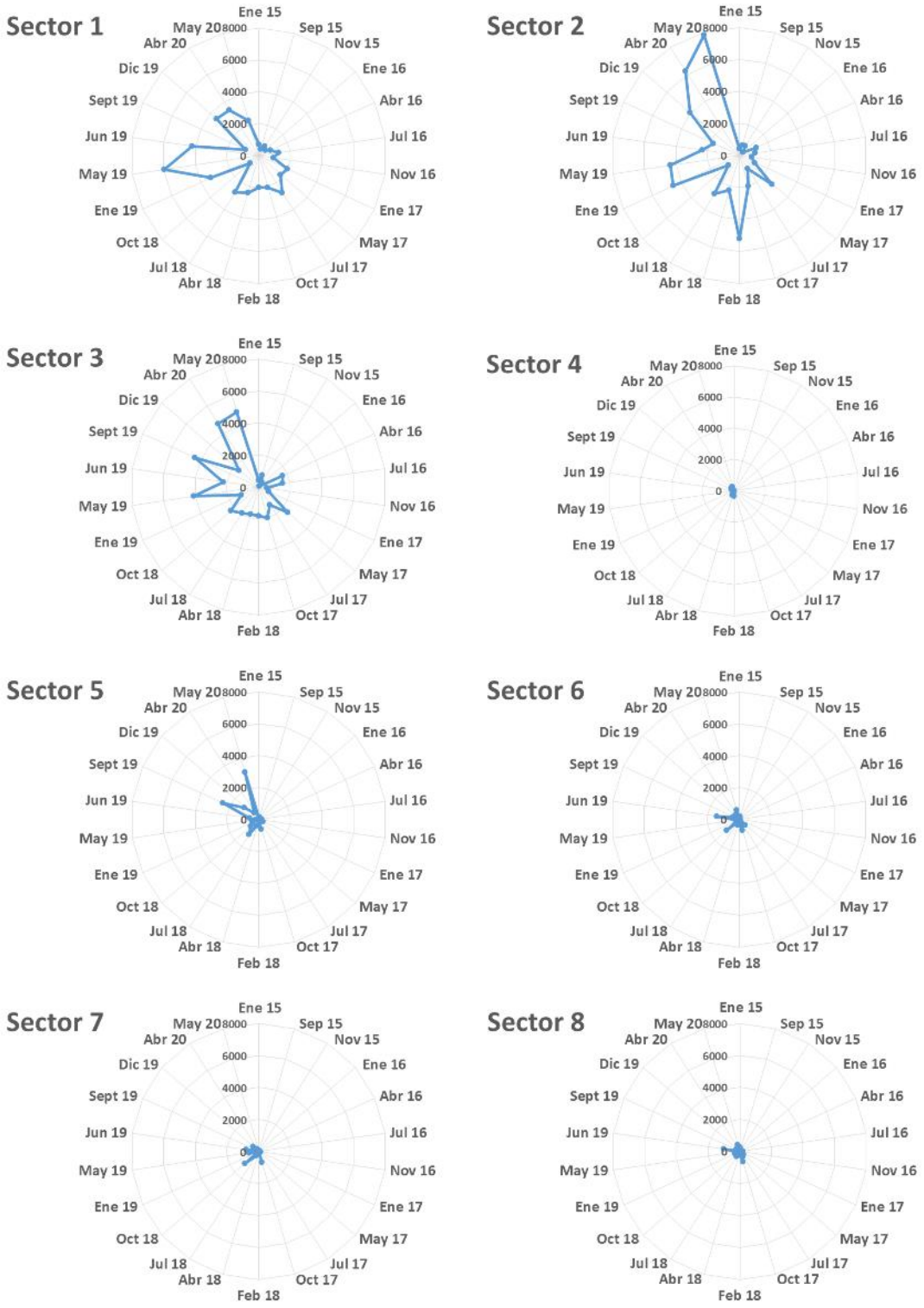


Figura 4.2.7.1.15. Abundancias del Cisne de cuello negro *Cygnus melancoryphus* en los ocho sectores del área de estudio. Datos recolectados entre enero 2015 y abril 2020 (n=22 muestreos) (*cf.* Tabla 4.2.7.1.2).

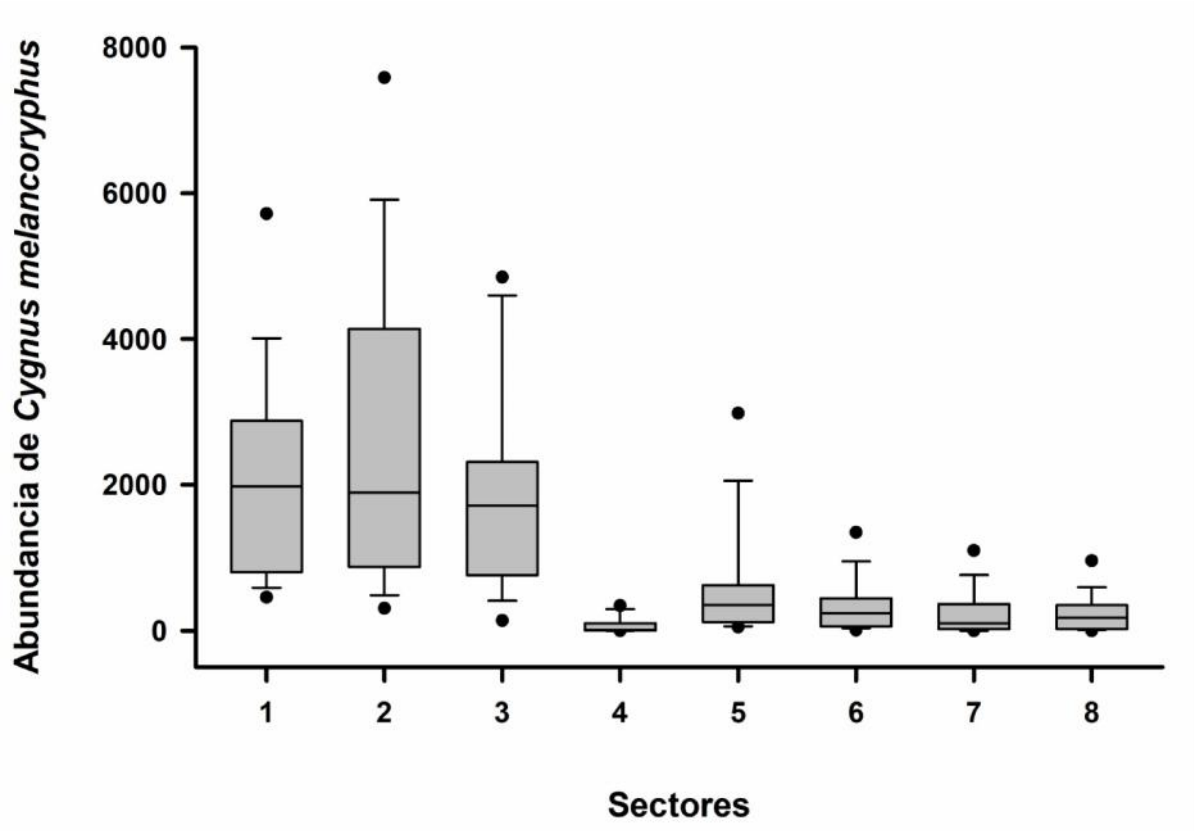


Figura 4.2.7.1.16. Diagrama de caja de la abundancia promedio de *Cygnus melancoryphus* en los ocho sectores del área de estudio. Datos recolectados entre enero 2015 y mayo 2020 (n=22 muestreos) (*cf.* Tabla 4.2.7.1.2).

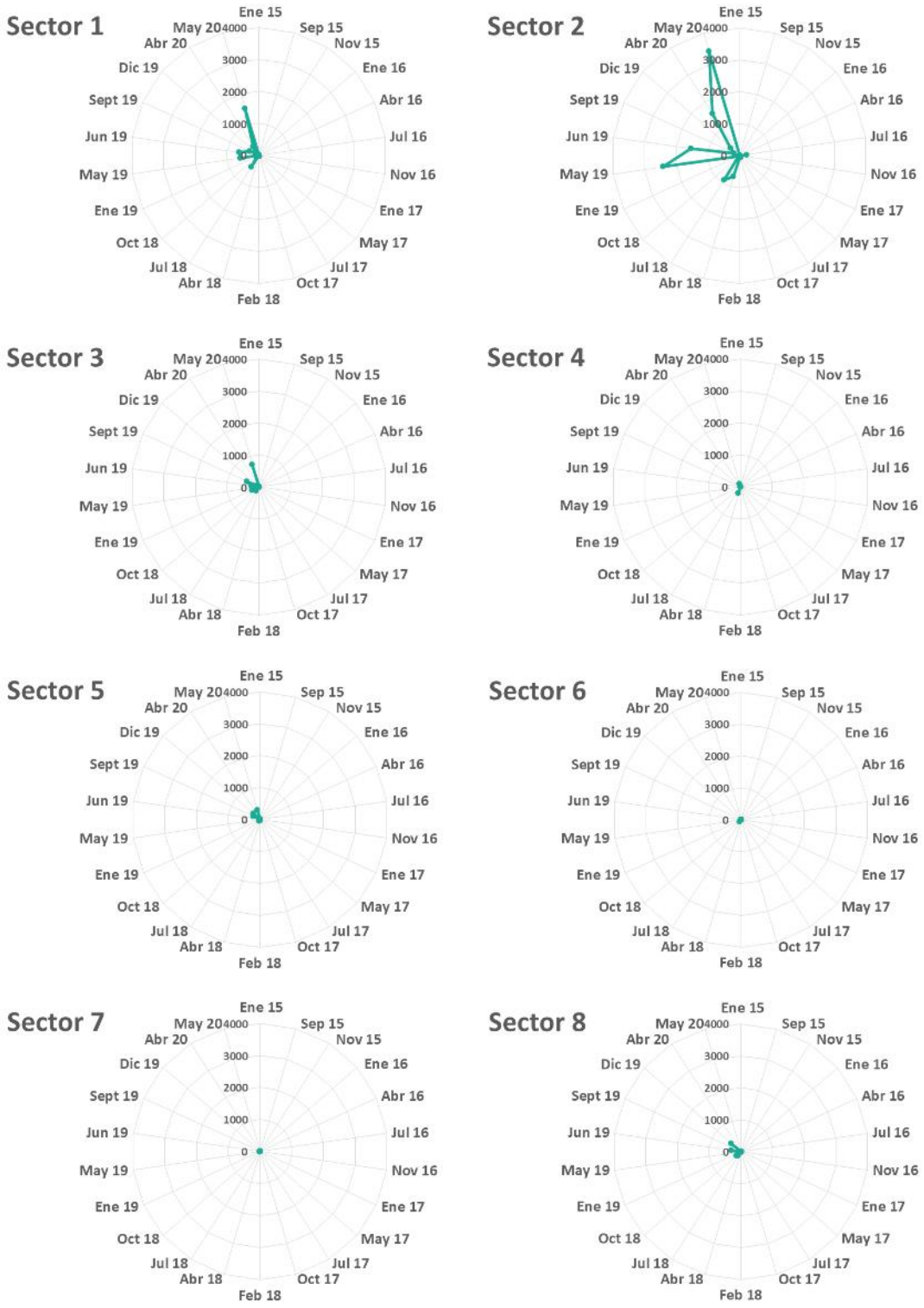


Figura 4.2.7.1.17. Abundancias de la Tagua *Fulica armillata* en los ocho sectores del área de estudio. Datos recolectados entre enero 2015 y mayo 2020 (n=22 muestreos) (*cf.* Tabla 4.2.7.1.2).

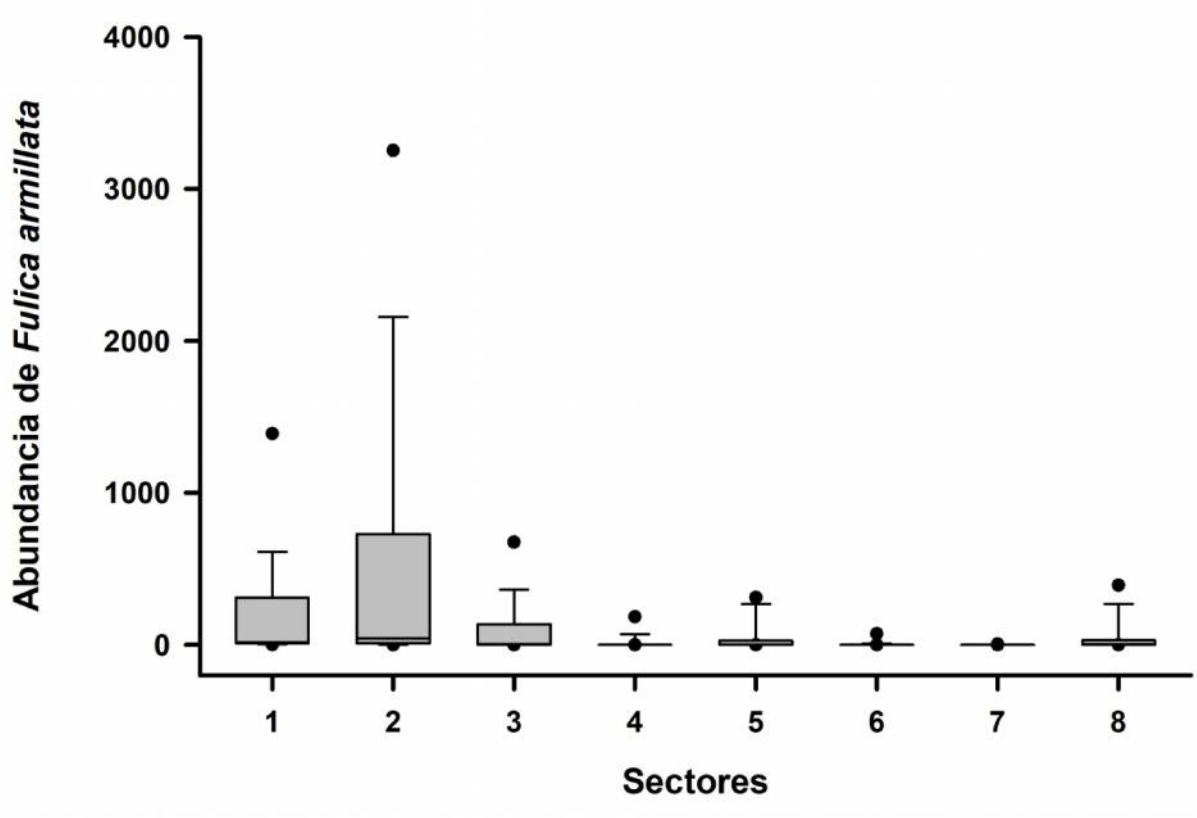


Figura 4.2.7.1.18. Diagrama de caja de la abundancia promedio de *Fulica armillata* en los ocho sectores del área de estudio. Datos recolectados entre enero 2015 y mayo 2020 (n=22 muestreos) (*cf.* Tabla 4.2.7.1.2).

Aves acuáticas carnívoras

Las Figuras 4.2.7.1.19 a 4.2.7.1.24 muestran la distribución espacial y abundancia de la Garza cuca (*Ardea cocoi*), Garza blanca grande (*Ardea alba*) y Garza blanca chica (*Egretta thula*) en los ocho sectores del área de estudio. Los datos se recolectaron entre enero 2015 y mayo 2020 (n=22 muestreos) (cf. Tabla 4.2.7.1.2).

Tal como se viene observando desde el inicio del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, la Garza cuca presenta una amplia distribución espacial y mayor abundancia en el HRC, caso similar ocurre con la Garza blanca grande, pero en menor magnitud (Figura 4.2.7.1.19 y 4.2.7.1.21).

La Figura 4.2.7.1.19 y 4.2.7.1.20 muestra que la población del Garza cuca presenta su mayor abundancia en los sectores 3 y 2, área ubicada en el eje central del río Cruces. Sin embargo solo el sector 3 difiere estadísticamente ($p<0,05$) con respecto a los otros sectores del HRC y fuera de este; a su vez el sector 2, a pesar de no presentar significancia estadística con el sector 3, solo manifiesta diferencias ($p<0,05$) con los sectores 8 y 4 (ANOVA $F_{(14,819)} = 74,466$; $p= <0,001$; Test de Tukey ($p<0,05$): Sector 3 > Sectores 1, 4, 5, 6, 7 y 8; sector 2=3 > 8 y 4).

Al observar las Figuras 4.2.7.1.21 y 4.2.7.1.22 la Garza blanca grande presenta su mayor abundancia en el sector 3, similar a lo observado con la Garza cuca, pero la primera, incrementa su presencia en los ríos tributarios. De esta forma, los análisis estadísticos indican que el sector 3 se diferencia significativamente del resto de los sectores pertenecientes el HRC, no así con los sectores que se encuentran fuera de este (sector 6, 7 y 8) (ANOVA $F_{(7,048)} = 41,015$; $p= <0,001$; Test de Tukey ($p<0,05$): Sector 3 > Sectores 1, 2, 4 y 5).

Por otro lado, la Garza blanca chica presenta las mayores abundancias en los sectores 3, 7, 6 y 2 (Fig. 4.2.7.1.23 y 4.2.7.1.24); sin embargo, solo el sector 7 (río Cayumapu) se diferencia significativamente de los otros sectores (ANOVA $F_{(7,970)} = 40,184$; $p= <0,001$; Test de Tukey ($p<0,05$): Sector 7 > Sectores 1, 4, 5 y 8).

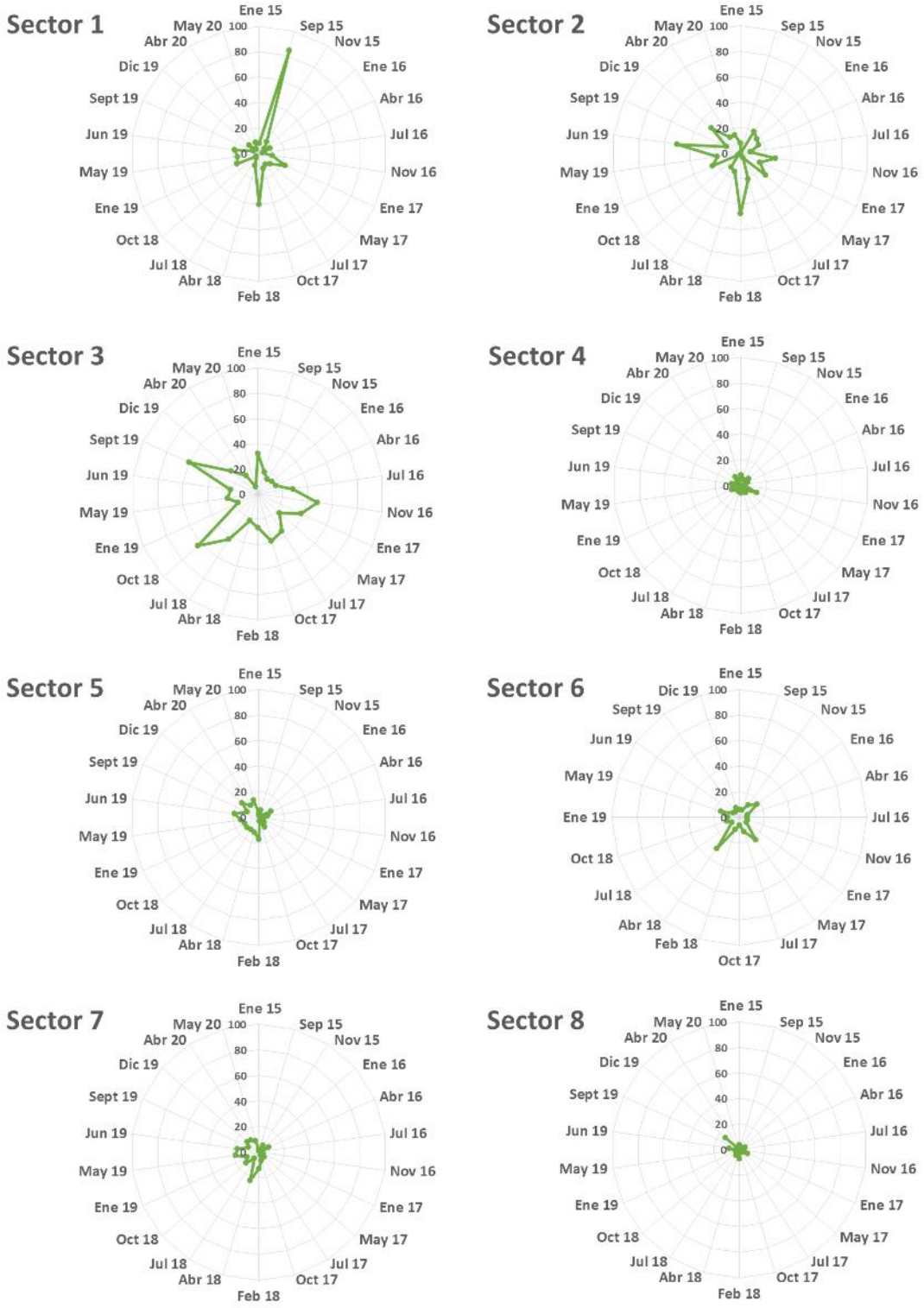


Figura 4.2.7.1.19. Abundancias de la Garza cuca *Ardea cocoi* en los ocho sectores del área de estudio. Datos recolectados entre enero 2015 y mayo 2020 (n=22 muestreos) (*cf.* Tabla 4.2.7.1.2).

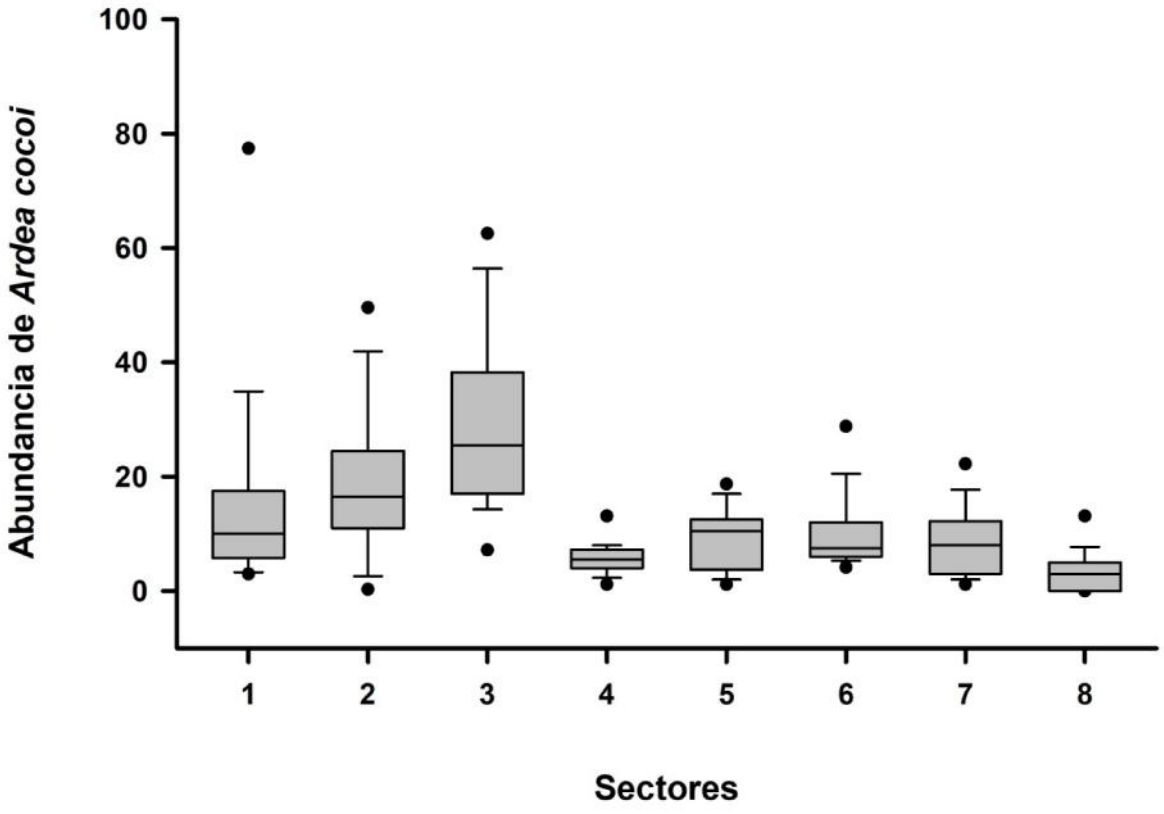


Figura 4.2.7.1.20. Diagrama de caja de la abundancia promedio de *Ardea cocoi* en los ocho sectores del área de estudio. Datos recolectados entre enero 2015 y mayo 2020 (n=22 muestreos) (*cf.* Tabla 4.2.7.1.2).

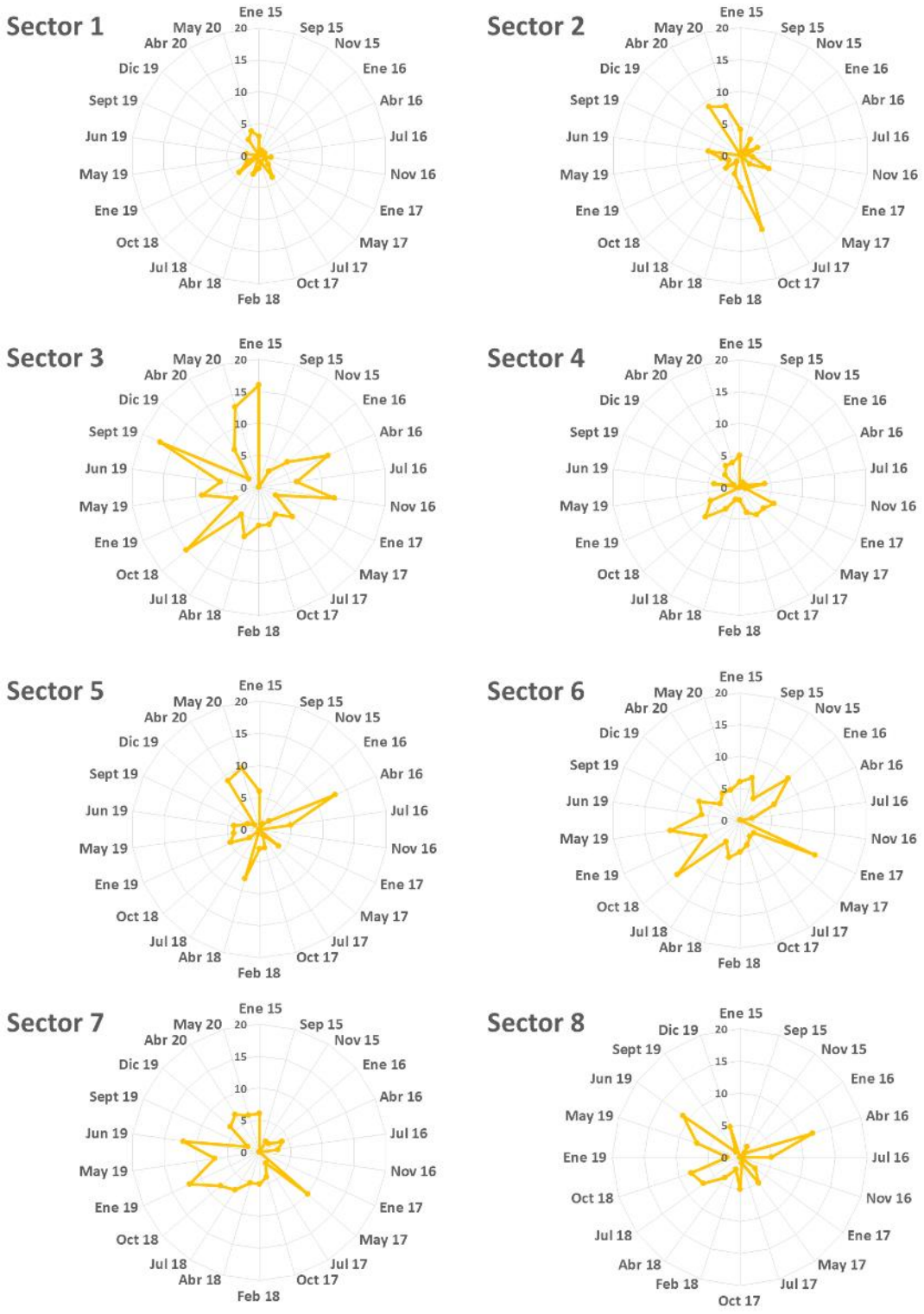


Figura 4.2.7.1.21. Abundancias de la Garza blanca grande *Ardea alba* en los ocho sectores del área de estudio. Datos recolectados entre enero 2015 y mayo 2020 (n=22 muestreos) (*cf.* Tabla 4.2.7.1.2).

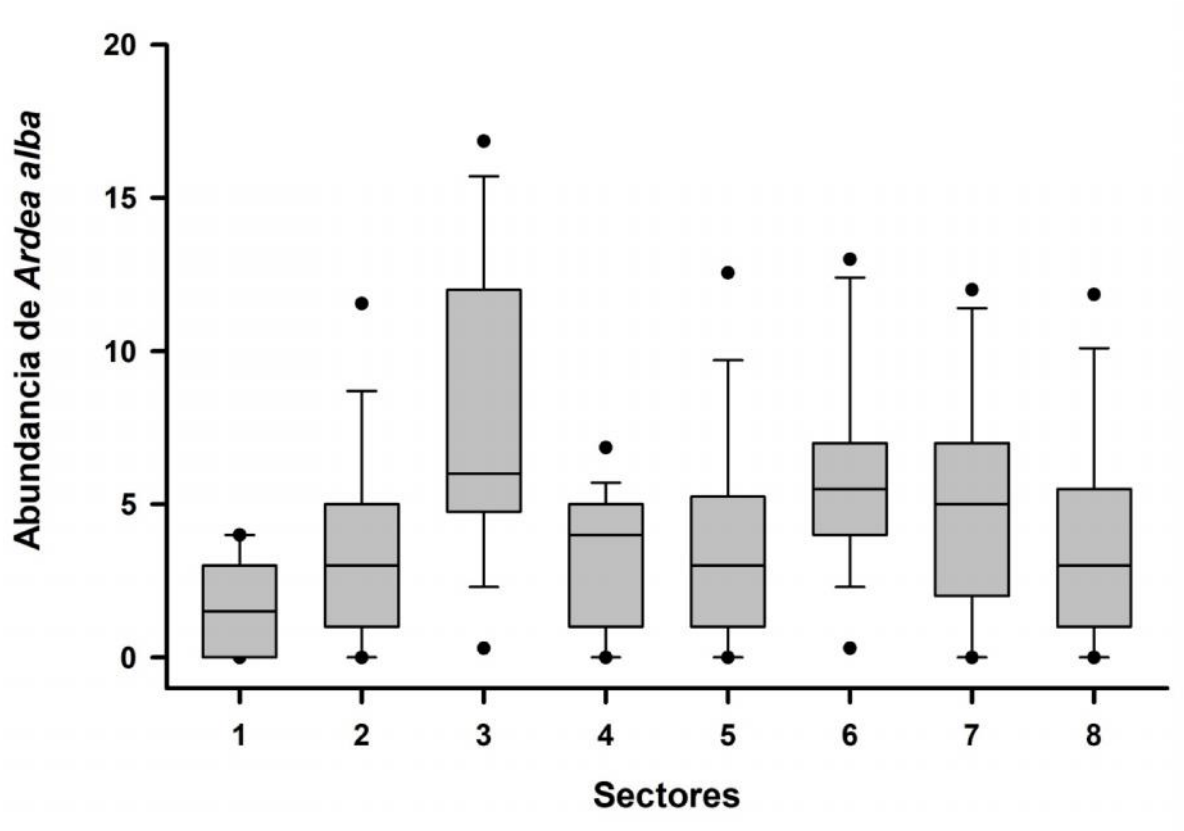


Figura 4.2.7.1.22. Diagrama de caja de la abundancia promedio de *Ardea alba* en los ocho sectores del área de estudio. Datos recolectados entre enero 2015 y mayo 2020 (n=22 muestreos) (*cf.* Tabla 4.2.7.1.2).

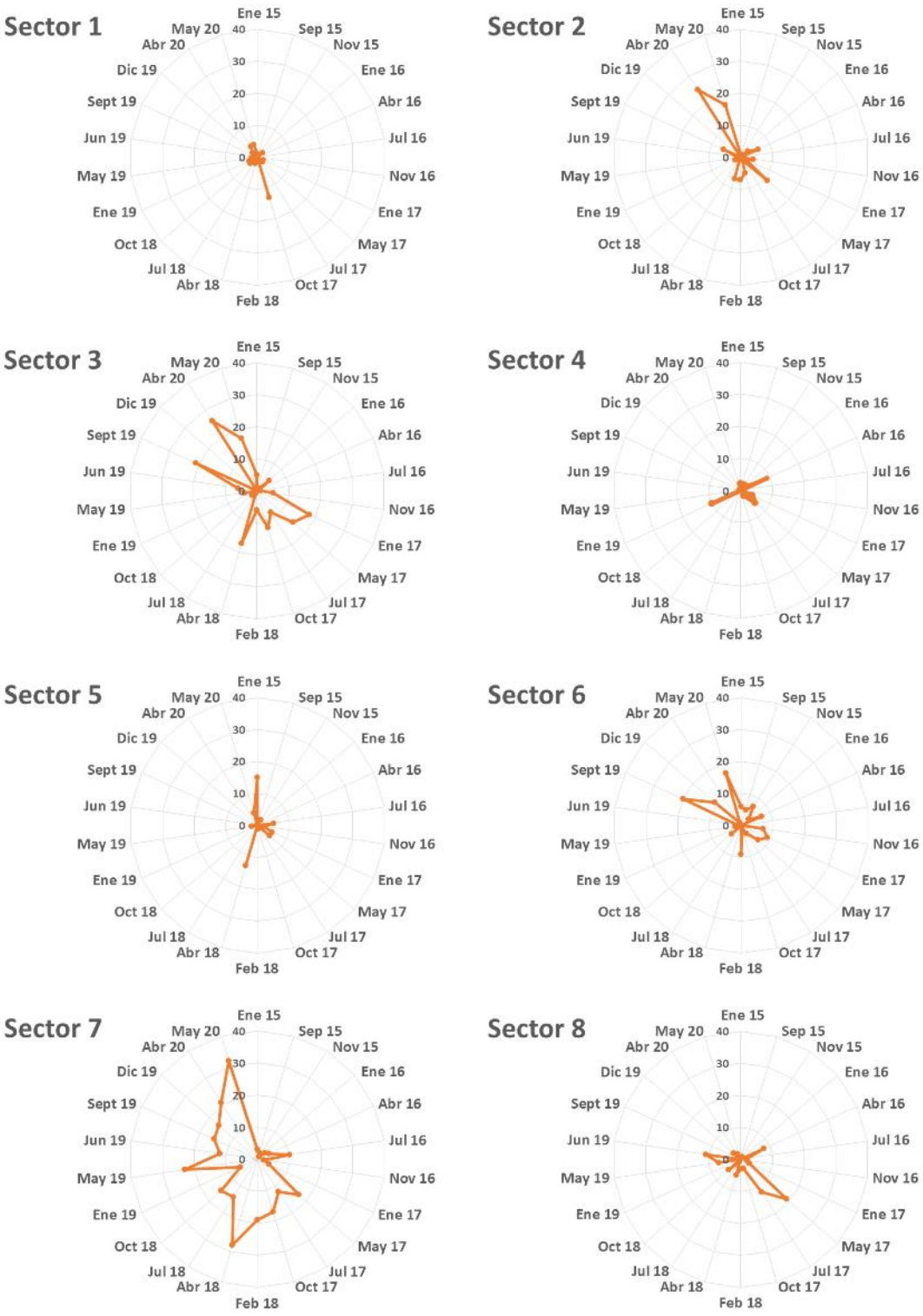


Figura 4.2.7.1.23. Abundancias de la Garza blanca chica *Egretta thula* en los ocho sectores del área de estudio. Datos recolectados entre enero 2015 y mayo 2020 (n=22 muestreos) (*cf.* Tabla 4.2.7.1.2).

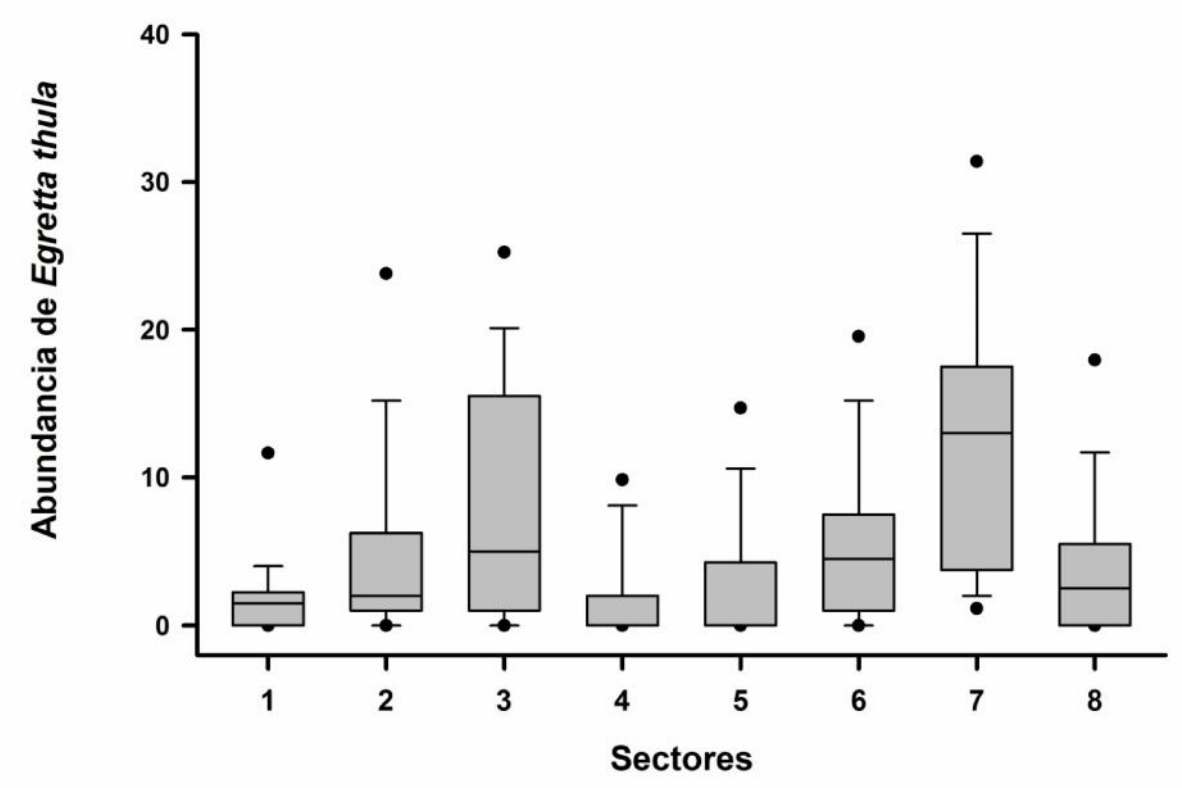


Figura 4.2.7.1.24. Diagrama de caja de la abundancia promedio de *Egretta thula* en los ocho sectores del área de estudio. Datos recolectados entre enero 2015 y mayo 2020 (n=22 muestreos) (*cf.* Tabla 4.2.7.1.2).

4.2.7.1.5. Conclusiones

• La riqueza de especies en los diferentes sectores del eje central del HRC se ha mantenido relativamente estable, a la vez que la abundancia ha aumentado, particularmente al notable incremento de cisnes de cuello negro y taguas observados en los últimos dos años.

• A partir de los años 2012-2013, la abundancia del Cisne de cuello negro ha sido más alta en sectores del eje central del HRC (sectores 1, 2 y 3); a su vez, para el mismo período el número más alto de taguas ha ocurrido principalmente en el sector 2.

• En general, la abundancia poblacional de la Garza cuca ha incrementado de manera significativa durante los últimos años, por el contrario las abundancias de Garza blanca grande y Garza blanca chica, han disminuido durante el último par de años.

4.2.7.2. Elementos y compuestos químicos en Garza blanca grande (*Casmerodius albus*)

4.2.7.2.1. Antecedentes

Se define bio-acumulación, como el proceso de acumulación de elementos o compuestos químicos en organismos vivos y en concentraciones superiores a la que estos ocurren en el medio natural al que están expuestos, o en los alimentos que los mismos consumen. En otras palabras, la bio-acumulación ocurre cuando el secuestro de elementos o compuestos químicos por parte de un organismo es mayor que la degradación o pérdida de los mismos por catabolismo o excreción. Para el caso de un depredador, la bio-acumulación puede ocurrir por ingesta de presas que en el medio natural han estado expuestas a tales elementos o compuestos químicos.

Durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (abril 2014 - marzo 2015), se capturaron cuatro ejemplares de Garza blanca grande (*Casmerodius albus*), para estudios de concentraciones de metales pesados y compuestos orgánicos persistentes en sus tejidos

corporales. Entre los hallazgos de esos análisis, destacó la presencia de Dioxinas (entre estas la 2.3.7.8-TCDD y la 1.2.3.7.8-PeCDD) y Furanos, situación que llevó a incluir dentro del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC y sus ríos tributarios, estudios anuales de metales pesados y compuestos orgánicos persistentes en esta ave acuática.

En este Capítulo, se exponen los resultados de análisis llevados a cabo en muestras de *C. albus* obtenidas durante febrero 2015, noviembre 2015, diciembre 2016, noviembre 2017 y marzo 2019 (Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, primer, segundo, tercer y cuarto año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, respectivamente.

4.2.7.2.2. Objetivos

- Analizar las concentraciones de metales pesados (Hierro, Aluminio, Manganeso, Cobre, Zinc, Plomo, Cadmio, Arsénico y Mercurio) en tejidos musculares y hepáticos de la Garza blanca grande (*Casmerodius albus*), durante marzo del año 2019.
- Analizar las concentraciones de Ácidos grasos y Resínicos y AOX en tejidos musculares y hepáticos de esta garza, durante el período arriba mencionado.
- Analizar las concentraciones de Dioxinas, Furanos y Equivalentes tóxicos en tejidos musculares y hepáticos de *C. albus* durante marzo del año 2019.
- Comparar los datos obtenidos durante marzo del año 2019, con los obtenidos durante años anteriores (Programa de Monitoreo y Diagnóstico Ambiental del HRC).

4.2.7.2.3. Material y métodos

Para el análisis de elementos y compuestos químicos, se tomaron muestras de músculo e hígado de tres especímenes de Garza blanca grande (*Casmerodius albus*) cazados en diferentes puntos del humedal (Tabla 4.2.7.2.1). Los especímenes recolectados fueron sometidos a necropsia en el Instituto de Patología Animal de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la UACh, para obtener los tejidos a analizar. Esos tejidos fueron lavados con abundante agua desionizada, sonicados para eliminar eventuales restos de sedimentos adheridos y luego secados por liofilización, para finalmente ser pulverizados. Las muestras preparadas para análisis de metales pesados (*i.e.,* Hierro, Aluminio, Manganeso, Cobre, Zinc, Plomo, Cadmio, Arsénico y Mercurio) se atacaron mediante digestión ácida en microondas para posteriormente ser analizadas por Espectroscopía de Absorción Atómica de Llama. Debido a su baja concentración en esta matriz, el Plomo se analizó por ICP-MS y/o Espectroscopía de Absorción Atómica con horno de grafito.

Tabla 4.2.7.2.1. Fechas y sectores de caza de especímenes de Garza blanca grande (*Casmerodius albus*) para estudios de concentraciones de elementos y compuestos químicos en sus tejidos corporales. Los valores en paréntesis corresponden a número de ejemplares cazados por sector.

sectores de captura	**verano 2015 febrero**	**primavera 2015 noviembre**	**primavera 2016 diciembre**	**primavera 2017 noviembre**	**verano 2019 marzo**
eje central del río Cruces (sector estuarial)					
Santa María		10-11-2015 (1)	19-12-2016 (3)	27-11-2017 (1)	
Santa Clara	19-02-2015 (1)	10-11-2015 (1)			
Tres Bocas	21-02-2015 (1)	11-11-2015 (1)			
Punucapa	22-02-2015 (2)				
San Luis			21-12-2016 (1)	22-11-2017 (1)	
San Pedro				27-11-2017 (1)	
El Molino					20-03-2019 (1)
ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)					
río Pichoy		18-11-2015 (1)			
río San Ramón				22-11-2017 (1)	
Río Santa María					24-03-2019 (1)
Cuyinhue, río San Jose					24-03-2019 (1)

Las muestras para análisis de AOX y EOX se analizaron mediante titulación microcoulombimétrica (Norma Europea EN ISO 9562 y EN 1485, respectivamente), luego de la adsorción de los compuestos halogenados en carbón activado y extracción con solvente, respectivamente. Las muestras para análisis de Dioxinas y Furanos fueron analizadas en el

Laboratorio de Dioxinas LADIOX, de la Universidad de Concepción, mediante Cromatografía Gaseosa de Alta Resolución-Espectrometría de Masa de Alta Resolución (HRGC-HRMS), de acuerdo al método EPA 1613.

4.2.7.2.4. Resultados

Metales pesados

Las Tablas 4.2.7.2.2 a 4.2.7.2.10 y Figuras 4.2.7.2.1 y 4.2.7.2.2 muestran la variabilidad interanual en las concentraciones de metales pesados en tejido muscular y hepático de Garza blanca grande, respectivamente.

En general, las concentraciones de metales pesados fueron más elevadas en tejido hepático que en tejido muscular. Al igual que en años anteriores los metales con mayor concentración en estos tejidos fueron el Hierro, Cobre y Zinc (Tablas 4.2.7.2.2, 4.2.7.2.5 y 4.2.7.2.6, respectivamente). Por el contrario, los elementos que presentaron las concentraciones más bajas fueron el Plomo, el Mercurio y el Manganeso, este último, detectado por primera vez en tejido muscular durante el cuarto año de Monitoreo Ambiental del HRC (Tablas 4.2.7.2.7, 4.2.7.2.10 y 4.2.7.2.4, respectivamente); mientras que el Aluminio, el Cadmio (excepto verano 2015 en tejido hepático) y el Arsénico no han sido detectados hasta ahora (Tablas 4.2.7.2.3, 4.2.7.2.8 y 4.2.7.2.9, respectivamente).

Tabla 4.2.7.2.2. Concentraciones de Hierro en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera), 2017 (primavera) y 2019 (otoño). Los valores en paréntesis son desviaciones estándar (dos lecturas para cada garza). ***** = cantidad de muestra insuficiente para lectura de concentraciones de Hierro.

campaña	**sectores de captura**	**Hierro (µg g-1)**	
		músculo	**hígado**
febrero 2015	Punucapa (eje central del HRC)	253,4 (23,7)	1674,6
	Tres Bocas (eje central del HRC)	333,7 (3,3)	2283,8
	Santa Clara (eje central del HRC)	291,9 (3,5)	1343,9
	Punucapa (eje central del HRC)	209,3 (0,9)	622,5
	promedio	**272,1 (53,2)**	**1481,2 (692,3)**
noviembre 2015	Santa Clara (eje central del HRC)	224,7 (0,9)	614,8 (8,3)
	Santa María (eje central del HRC)	267,3 (8,9)	1498,0 (59,9)
	Tres Bocas (eje central del HRC)	214,0 (3,3)	2058,6 (103,5)
	Río Pichoy (río tributario del HRC)	252,5 (1,7)	968,9 (11,4)
	promedio	**239,6 (24,6)**	**1285,0 (630,6)**
diciembre 2016	Santa María (eje central del HRC)	301,8 (6,6)	1432,8
	Santa María (eje central del HRC)	221,9 (10,3)	888,2
	Santa María (eje central del HRC)	146,7 (2,2)	*
	San Luis (eje central del HRC)	249,7 (14,3)	*
	promedio	**230,0 (64,7)**	**1160,5 (385,1)**
noviembre 2017	San Ramón (río tributario del HRC)	209,3 (15,2)	*****
	San Luis (eje central del HRC)	193,0	*****
	San Pedro (eje central del HRC)	181,3	*****
	Santa María (eje central del HRC)	176,3	*****
	promedio	**190,0 (14,7)**	
marzo 2019	El Molino (eje central del río Cruces)	226,3 (3,7)	761,3
	río Santa María (río tributario del HRC)	219,2	1422,2
	Cuyinhue (río tributario del HRC)	261,3 (2,2)	1228,2
	promedio	**235,5 (22,5)**	**1137,2 (339,7)**

Tabla 4.2.7.2.3. Concentraciones de Aluminio en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera), 2017 (primavera) y 2019 (otoño). Los valores en negrilla corresponden al límite de cuantificación del método utilizado. ***** = cantidad de muestra insuficiente para lectura de concentraciones de Aluminio.

campaña	**sectores de captura**	**Aluminio (µg g-1)**	
		músculo	**hígado**
febrero 2015	Punucapa (eje central del HRC)	**0,5**	**0,5**
	Tres Bocas (eje central del HRC)	**0,5**	**0,5**
	Santa Clara (eje central del HRC)	**0,5**	**0,5**
	Punucapa (eje central del HRC)	**0,5**	**0,5**
noviembre 2015	Santa Clara (eje central del HRC)	**0,5**	**0,5**
	Santa María (eje central del HRC)	**0,5**	**0,5**
	Tres Bocas (eje central del HRC)	**0,5**	**0,5**
	Pichoy (río tributario del HRC)	**0,5**	**0,5**
diciembre 2016	Santa María (eje central del HRC)	**0,5**	**0,5**
	Santa María (eje central del HRC)	**0,5**	**0,5**
	Santa María (eje central del HRC)	**0,5**	**0,5**
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	**0,5**	**0,5**
noviembre 2017	San Ramón (río tributario del HRC)	**0,5**	*****
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	**0,5**	*****
	San Pedro (eje central del HRC)	**0,5**	*****
	Santa María (eje central del HRC)	**0,5**	*****
marzo 2019	El Molino (eje central del río Cruces)	**0,5**	**0,5**
	río Santa María (río tributario del HRC)	**0,5**	**0,5**
	Cuyinhue (río tributario del HRC)	**0,5**	**0,5**

Tabla 4.2.7.2.4. Concentraciones de Manganeso en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera), 2017 (primavera) y 2019 (otoño). Los valores en negrilla, corresponden al límite de detección del método utilizado. Los valores en paréntesis son desviaciones estándar (dos lecturas para cada garza). ***** = cantidad de muestra insuficiente para lectura de concentraciones de Manganeso.

campaña	**sectores de captura**	**Manganeso (µg g-1)**	
		músculo	**hígado**
febrero 2015	Punucapa (eje central del HRC)	**0,10**	11,0
	Tres Bocas (eje central del HRC)	**0,10**	11,9
	Santa Clara (eje central del HRC)	**0,10**	17,6
	Punucapa (eje central del HRC)	**0,10**	12,4
	promedio		**13,2 (3,0)**
noviembre 2015	Santa Clara (eje central del HRC)	**0,10**	14,5 (0,6)
	Santa María (eje central del HRC)	**0,10**	13,6 (0,0)
	Tres Bocas (eje central del HRC)	**0,10**	8,9 (0,6)
	Pichoy (río tributario del HRC)	**0,10**	10,6 (0,2)
	promedio		**11,9 (2,6)**
diciembre 2016	Santa María (eje central del HRC)	**0,10**	12,9
	Santa María (eje central del HRC)	**0,10**	8,7
	Santa María (eje central del HRC)	**0,10**	*
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	**0,10**	*
	promedio		**10,8 (2,9)**
noviembre 2017	San Ramón (río tributario del HRC)	**0,40**	*****
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	**0,40**	*****
	San Pedro (eje central del HRC)	**0,40**	*****
	Santa María (eje central del HRC)	**0,40**	*****
marzo 2019	El Molino (eje central del río Cruces)	2,2 (0,7)	9,9
	río Santa María (río tributario del HRC)	2,9	9,9
	Cuyinhue (río tributario del HRC)	3,5 (0,0)	10,8
	promedio	**2,9 (0,7)**	**10,2 (0,5)**

Tabla 4.2.7.2.5. Concentraciones de Cobre en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera), 2017 (primavera) y 2019 (otoño). Los valores en paréntesis son desviaciones estándar (dos lecturas para cada garza). ***** = cantidad de muestra insuficiente para lectura de concentraciones de Cobre.

campaña	sectores de captura	Cobre (µg g-1)	
		músculo	hígado
febrero 2015	Punucapa (eje central del HRC)	12,1 (0,1)	20,2
	Tres Bocas (eje central del HRC)	14,5 (0,0)	18,6
	Santa Clara (eje central del HRC)	12,6 (1,4)	18,8
	Punucapa (eje central del HRC)	12,2 (0,4)	52,0
	promedio	**12,9 (1,1)**	**27,4 (16,4)**
noviembre 2015	Santa Clara (eje central del HRC)	13,7 (0,3)	28,4 (1,0)
	Santa María (eje central del HRC)	14,4 (0,3)	32,7 (0,3)
	Tres Bocas (eje central del HRC)	11,5 (0,2)	22,5 (0,1)
	Pichoy (río tributario del HRC)	16,5 (0,1)	21,2 (0,2)
	promedio	**14,0 (2,1)**	**26,2 (5,3)**
diciembre 2016	Santa María (eje central del HRC)	15,3 (0,0)	174,8
	Santa María (eje central del HRC)	8,0 (0,0)	41,3
	Santa María (eje central del HRC)	9,5 (0,1)	*
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	13,5 (0,1)	*
	promedio	**11,6 (3,4)**	**108,0 (94,4)**
noviembre 2017	San Ramón (río tributario del HRC)	16,1 (0,4)	*
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	16,4	*
	San Pedro (eje central del HRC)	13,7	*
	Santa María (eje central del HRC)	15,1	*
	promedio	**15,3 (1,2)**	
marzo 2019	El Molino (eje central del río Cruces)	16,4 (0,2)	19,2
	río Santa María (río tributario del HRC)	15,0	17,7
	Cuyinhue (río tributario del HRC)	17,3 (0,2)	17,8
	promedio	**16,2 (1,2)**	**18,2 (0,8)**

Tabla 4.2.7.2.6. Concentraciones de Zinc en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera), 2017 (primavera) y 2019 (otoño). Los valores en paréntesis son desviaciones estándar (dos lecturas para cada garza). ***** = cantidad de muestra insuficiente para lectura de concentraciones de Zinc.

campaña	**sectores de captura**	**Zinc (µg g-1)**	
		músculo	**hígado**
febrero 2015	Punucapa (eje central del HRC)	80,6 (1,2)	91,3
	Tres Bocas (eje central del HRC)	69,9 (0,2)	104,1
	Santa Clara (eje central del HRC)	52,6 (0,2)	91,8
	Punucapa (eje central del HRC)	87,5 (0,0)	153,0
	promedio	**72,6 (15,2)**	**110,1 (29,2)**
noviembre 2015	Santa Clara (eje central del HRC)	77,5 (1,3)	89,1 (1,4)
	Santa María (eje central del HRC)	91,5 (0,4)	125,6 (0,2)
	Tres Bocas (eje central del HRC)	69,9 (0,7)	80,9 (3,8)
	Pichoy (río tributario del HRC)	92,3 (1,7)	90,7 (1,4)
	promedio	**82,8 (11,0)**	**96,5 (19,8)**
diciembre 2016	Santa María (eje central del HRC)	52,2 (1,1)	100,9
	Santa María (eje central del HRC)	55,9 (0,0)	77,2
	Santa María (eje central del HRC)	54,9 (0,2)	*
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	51,4 (1,0)	*
	promedio	**53,6 (2,1)**	**89,1 (16,7)**
noviembre 2017	San Ramón (río tributario del HRC)	51,8 (0,6)	*
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	52,5	*
	San Pedro (eje central del HRC)	72,4	*
	Santa María (eje central del HRC)	57,4	*
	promedio	**58,5 (9,6)**	
marzo 2019	El Molino (eje central del río Cruces)	41,5 (0,1)	69,5
	río Santa María (río tributario del HRC)	47,1	68,8
	Cuyinhue (río tributario del HRC)	43,8 (0,4)	74,3
	promedio	**44,1 (2,8)**	**70,9 (3,0)**

Tabla 4.2.7.2.7. Concentraciones de Plomo en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera) 2017 (primavera) y 2019 (otoño). Los valores en negrilla corresponden al límite de cuantificación del método utilizado. ***** = cantidad de muestra insuficiente para lectura de concentraciones de Plomo.

campaña	**sectores de captura**	**Plomo (µg g-1)**	
		músculo	**hígado**
verano 2015	Punucapa (eje central del HRC)	0,01 (0,01)	0,02
	Tres Bocas (eje central del HRC)	0,05 (0,01)	0,02
	Santa Clara (eje central del HRC)	0,08 (0,01)	0,03
	Punucapa (eje central del HRC)	0,02 (0,01)	0,34
	promedio	**0,04 (0,03)**	**0,10 (0,2)**
primavera 2015	Santa Clara (eje central del HRC)	0,16 (0,07)	0,05 (0,0)
	Santa María (eje central del HRC)	0,05 (0,01)	0,06 (0,0)
	Tres Bocas (eje central del HRC)	0,06 (0,02)	0,05 (0,0)
	Pichoy (río tributario del HRC)	0,04 (0,01)	0,05 (0,0)
	promedio	**0,08 (0,05)**	**0,05 (0,0)**
primavera 2016	Santa María (eje central del HRC)	0,04 (0,02)	0,02
	Santa María (eje central del HRC)	0,03 (0,00)	0,02
	Santa María (eje central del HRC)	0,03 (0,01)	*
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	0,05 (0,00)	*
	promedio	**0,04 (0,01)**	**0,02 (0,0)**
primavera 2017	San Ramón (río tributario del HRC)	0,07 (0,01)	*
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	0,02	*
	San Pedro (eje central del HRC)	0,04	*
	Santa María (eje central del HRC)	0,03	*
	promedio	**0,04 (0,02)**	
marzo 2019	El Molino (eje central del río Cruces)	**0,015**	0,02
	río Santa María (río tributario del HRC)	**0,015**	0,02
	Cuyinhue (río tributario del HRC)	**0,015**	**0,015**
	promedio		**0,02 (0,0)**

Tabla 4.2.7.2.8. Concentraciones de Cadmio en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera),2017 (primavera) y 2019 (otoño). Los valores en negrilla corresponden al límite de detección y de cuantificación del método utilizado y en paréntesis la desviación estándar (dos lecturas para cada garza). ***** = cantidad de muestra insuficiente para lectura de concentraciones de Cadmio.

campaña	**sectores de captura**	**Cadmio (µg g-1)**	
		músculo	**hígado**
febrero 2015	Punucapa (eje central del HRC)	**0,01**	0,20
	Tres Bocas (eje central del HRC)	**0,01**	0,24
	Santa Clara (eje central del HRC)	**0,01**	0,31
	Punucapa (eje central del HRC)	**0,01**	**0,01**
	promedio		**0,19 (0,1)**
noviembre 2015	Santa Clara (eje central del HRC)	**0,01**	**0,01**
	Santa María (eje central del HRC)	**0,01**	**0,01**
	Tres Bocas (eje central del HRC)	**0,01**	**0,01**
	Pichoy (río tributario del HRC)	**0,01**	**0,01**
	promedio		
diciembre 2016	Santa María (eje central del HRC)	**0,01**	**0,01**
	Santa María (eje central del HRC)	**0,01**	**0,01**
	Santa María (eje central del HRC)	**0,01**	*
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	**0,01**	*
	promedio		
noviembre 2017	San Ramón (río tributario del HRC)	**0,03**	*****
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	**0,03**	*****
	San Pedro (eje central del HRC)	**0,03**	*****
	Santa María (eje central del HRC)	**0,03**	*****
	promedio		
marzo 2019	El Molino (eje central del río Cruces)	**2,0**	**2,0**
	río Santa María (río tributario del HRC)	**2,0**	**2,0**
	Cuyinhue (río tributario del HRC)	**2,0**	**2,0**

Tabla 4.2.7.2.9. Concentraciones de Arsénico en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera), 2017 (primavera) y 2019 (otoño). Los valores en negrilla corresponden al límite de detección y de cuantificación del método utilizado y en paréntesis la desviación estándar (dos lecturas para cada garza). ***** = cantidad de muestra insuficiente para lectura de concentraciones de Arsénico.

campaña	**sectores de captura**	**Arsénico (µg g-1)**	
		músculo	**hígado**
febrero 2015	Punucapa (eje central del HRC)	**0,001**	**0,001**
	Tres Bocas (eje central del HRC)	**0,001**	**0,001**
	Santa Clara (eje central del HRC)	**0,001**	**0,001**
	Punucapa (eje central del HRC)	**0,001**	**0,001**
noviembre 2015	Santa Clara (eje central del HRC)	**0,001**	**0,001**
	Santa María (eje central del HRC)	**0,001**	**0,001**
	Tres Bocas (eje central del HRC)	**0,001**	**0,001**
	Pichoy (río tributario del HRC)	**0,001**	**0,001**
diciembre 2016	Santa María (eje central del HRC)	**0,001**	**0,001**
	Santa María (eje central del HRC)	**0,001**	**0,001**
	Santa María (eje central del HRC)	**0,001**	**0,001**
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	**0,001**	**0,001**
noviembre 2017	San Ramón (río tributario del HRC)	**0,001**	*****
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	**0,001**	*****
	San Pedro (eje central del HRC)	**0,001**	*****
	Santa María (eje central del HRC)	**0,001**	*****
marzo 2019	El Molino (eje central del río Cruces)	**1,5**	**1,5**
	río Santa María (río tributario del HRC)	**1,5**	**1,5**
	Cuyinhue (río tributario del HRC)	**1,5**	**1,5**

Tabla 4.2.7.2.10. Concentraciones de Mercurio en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera), 2017 (primavera) y 2019 (otoño). Los valores en paréntesis son desviaciones estándar (dos lecturas para cada garza). ***** = cantidad de muestra insuficiente para lectura de concentraciones de Mercurio.

campaña	sectores de captura	Mercurio (µg g-1)	
		músculo	hígado
febrero 2015	Punucapa (eje central del HRC)	1,3 (0,0)	2,1
	Tres Bocas (eje central del HRC)	1,0 (0,0)	1,5
	Santa Clara (eje central del HRC)	0,8 (0,0)	0,7
	Punucapa (eje central del HRC)	1,3 (0,1)	0,7
	promedio	**1,1 (0,2)**	**1,3 (0,7)**
noviembre 2015	Santa Clara (eje central del HRC)	1,9 (0,2)	3,4 (0,0)
	Santa María (eje central del HRC)	1,5 (0,0)	2,8 (0,0)
	Tres Bocas (eje central del HRC)	1,4 (0,0)	3,6 (0,0)
	Pichoy (río tributario del HRC)	1,7 (0,0)	2,4 (0,0)
	promedio	**1,6 (0,2)**	**3,1 (0,6)**
diciembre 2016	Santa María (eje central del HRC)	1,9 (0,2)	2,6
	Santa María (eje central del HRC)	0,6 (0,0)	2,7
	Santa María (eje central del HRC)	1,8 (0,1)	*
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	1,5 (0,1)	*
	promedio	**1,5 (0,6)**	**2,7 (0,1)**
noviembre 2017	San Ramón (río tributario del HRC)	2,6 (0,1)	*
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	3,3	*
	San Pedro (eje central del HRC)	1,9	*
	Santa María (eje central del HRC)	1,7	*
	promedio	**2,4 (0,7)**	
marzo 2019	El Molino (eje central del río Cruces)	1,1 (0,1)	1,5
	río Santa María (río tributario del HRC)	0,5	1,0
	Cuyinhue (río tributario del HRC)	1,5 (0,0)	2,2
	promedio	**1,0 (0,5)**	**1,6 (0,6)**

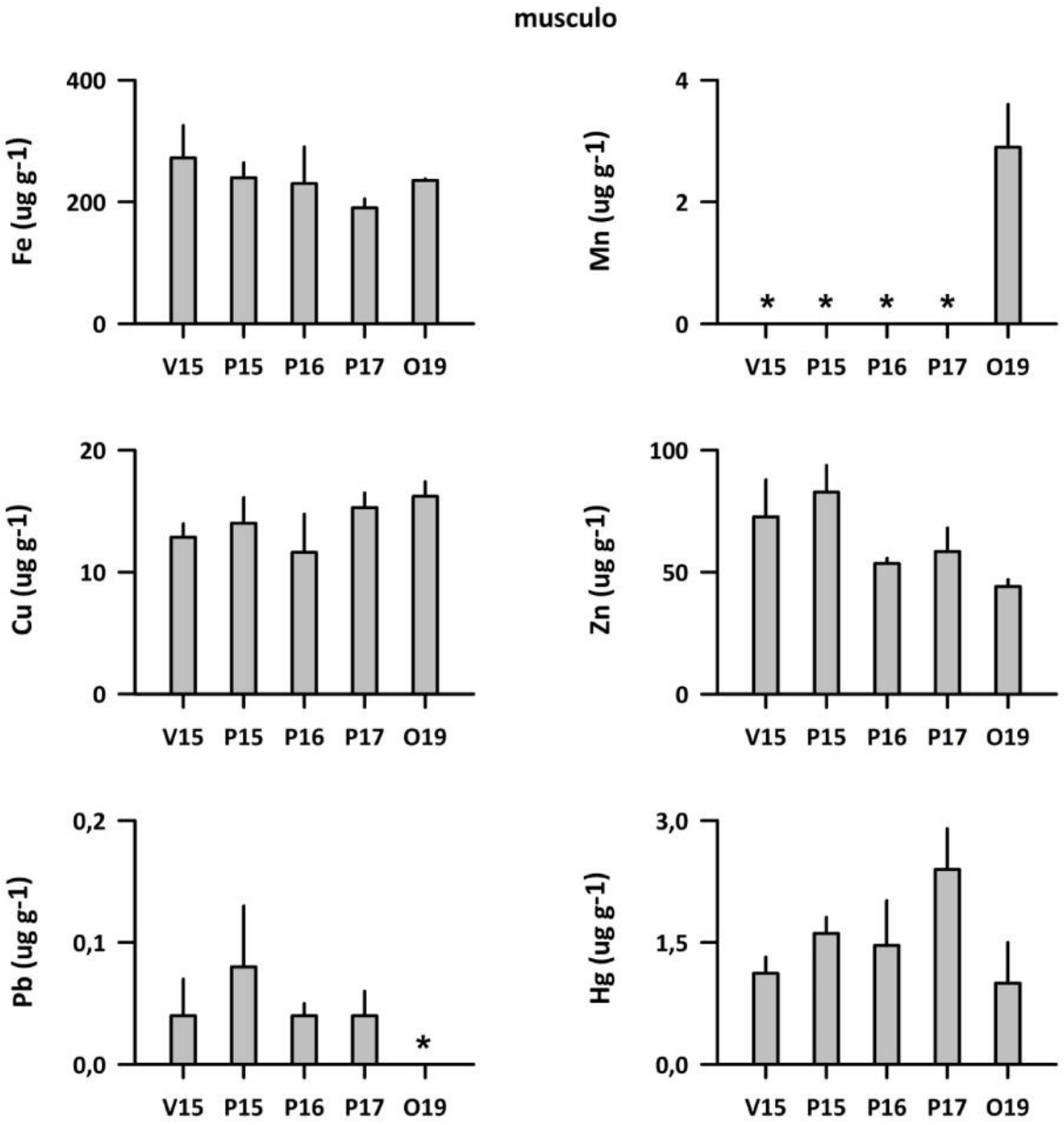


Figura 4.2.7.2.1. Concentraciones de metales pesados en tejidos musculares de *Casmerodius albus*, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P15, respectivamente), 2016 (primavera; P16), 2017 (primavera; P17) y 2019 (otoño; O19). Los valores son promedios con una desviación estándar. ***** = bajo el límite de detección del método utilizado.

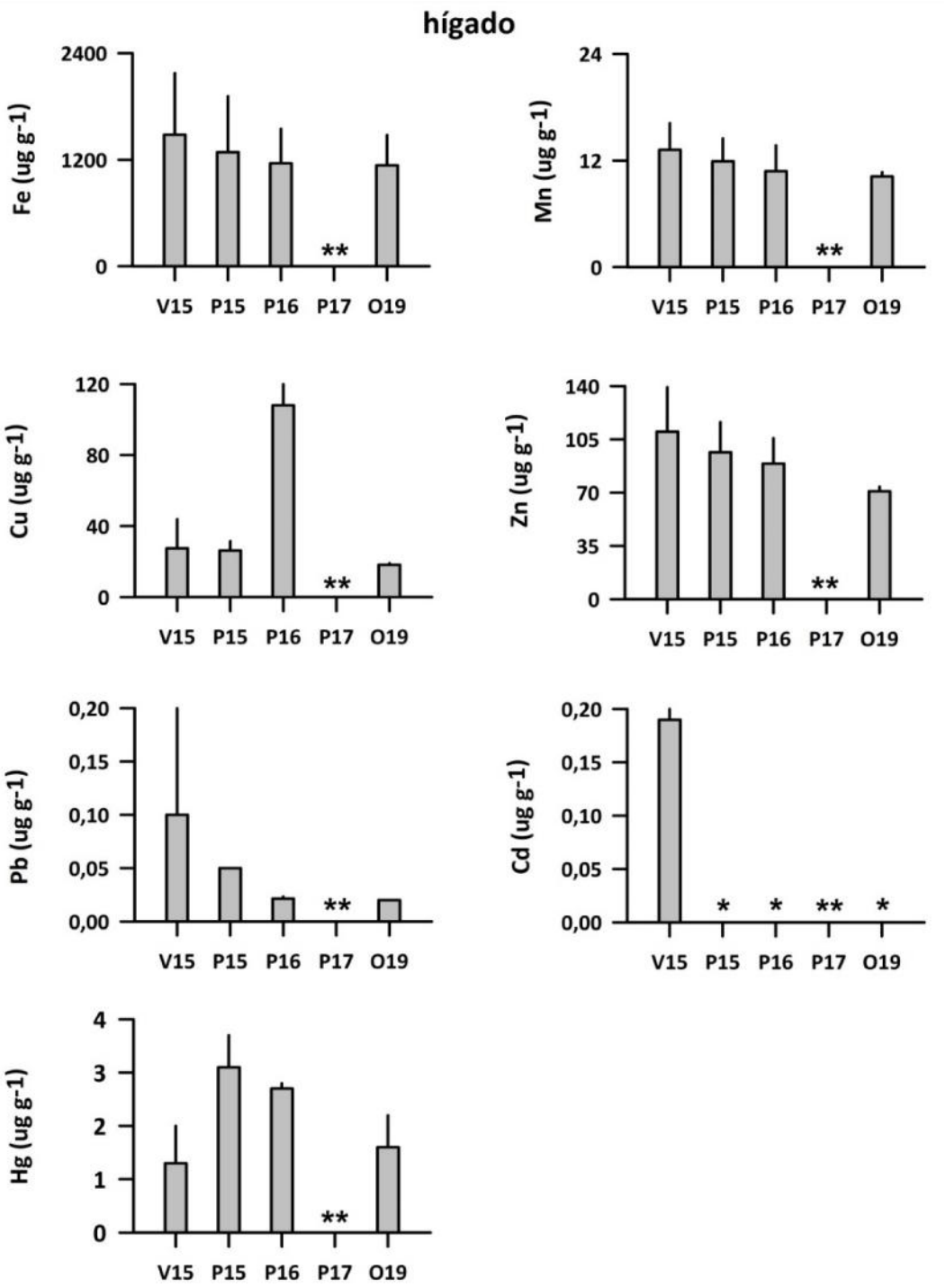


Figura 4.2.7.2.2. Concentraciones de metales pesados en tejidos hepáticos de *Casmerodius albus*, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P15, respectivamente), 2016 (primavera; P16), 2017 (primavera; P17) y 2019 (otoño; O19). Los valores son promedios con una desviación estándar. ***** = bajo el límite de detección del método utilizado. ** = cantidad de muestra insuficiente para lectura de concentraciones de metales pesados.

Las concentraciones de Hierro, Cobre, Plomo, Zinc y Mercurio detectadas en tejidos musculares de Garza blanca grande, presentaron diferencias significativas entre años ($p<0,05$) (Tabla 4.2.7.2.11).

Las concentraciones de Hierro, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el verano del año 2015 y primavera del año 2016 y las de Cobre durante el otoño del año 2019. El Zinc y el Plomo, presentaron concentraciones significativamente más altas durante la primavera y verano del año 2015 ($p<0,05$), a la vez que las de Mercurio fueron más altas durante la primavera del año 2017 (4.2.7.2.11).

Para el caso del tejido hepático, se detectaron tendencias interanuales significativas ($p>0,05$) en las concentraciones de Cobre y que fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante la primavera del año 2016. A su vez, las concentraciones de Mercurio fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante la primavera de los años 2015 y 2016 (Tabla 4.2.7.2.12).

Es importante mencionar que, para las garzas capturadas durante la primavera del año 2017, solo se midieron concentraciones de metales pesados en tejido muscular, debido a que la cantidad de muestra de tejido hepático no fue suficiente para realizar los análisis.

Tabla 4.2.7.2.11. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de metales pesados registrados en tejidos musculares de Garza blanca grande. El factor es Año (A) de muestreo (V15-P15-P16-P17-O19). Donde V=verano, P= primavera y O= otoño

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Hierro	Año (A)	4	19573,725	4893,431	2,863	**0,041**	V15 = P16 > P17
	Error	29	49571, 650	1709,367			
	Total	33	69145,375				
Cobre (**)	Año (A)	4	96,129	24,032	6,213	**<0,001**	O19 > P16 = V15
	Error	29	112,182	3,868			
	Total	33	208,311				
Zinc (**)	Año (A)	4	6621,937	1655,484	19,354	**<0,001**	V15=P15>P16=P17=O19
	Error	29	2480,601	85,538			
	Total	33	9102,538				
Plomo (*)	Año (A)	4	1,379	0,345	5,192	**0,003**	V15 = P15 > O19
	Error	29	1,925	0,0664			
	Total	33	3,304				
Mercurio	Año (A)	4	5,930	1,482	8,553	**<0,001**	P17>V15=P15=P16=O19
	Error	29	5,026	0,173			
	Total	33	10,956				

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a $\log_{10}$. (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA

Tabla 4.2.7.2.12. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de metales pesados registrados en tejidos hepáticos de Garza blanca grande. El factor es Año (A) de muestreo (V15-P15-P16-P17-O19). Donde V=verano, P= primavera y O= otoño.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Hierro	Año (A)	3	249965,7	83321,89	0,257	0,855	
	Error	13	4217261,1	324404,69			
	Total	16	4467226,7				
Manganeso	Año (A)	3	18,011	6,004	1,019	0,416	
	Error	13	76,563	5,889			
	Total	16	94,575				
Cobre (*)	Año (A)	3	0,591	0,197	6,647	**0,006**	P16 > V15 = P15 =O19
	Error	13	0,385	0,0296			
	Total	16	0,976				
Zinc (**)	Año (A)	3	0,0594	0,0198	3,105	0,064	
	Error	13	0,0829	0,00637			
	Total	16	0,142				
Plomo (**)	Año (A)	3	0,0155	0,00518	0,878	0,478	
	Error	13	0,0767	0,00590			
	Total	16	0,922				
Mercurio	Año (A)	3	10,883	3,628	11,590	**<0,001**	P15 = P16 > V15 = O19
	Error	13	4,069	0,313			
	Total	16	14,952				

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a $\log_{10}$. (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA.

Ácidos grasos

La Tabla 4.2.7.2.13 muestra las concentraciones de Ácidos grasos en tejidos musculares y hepáticos de *C. albus*. Para las garzas capturadas durante la primavera del año 2017, solo se midieron concentraciones de Ácidos grasos en tejido muscular, debido a que la cantidad de muestra de tejido hepático no fue suficiente para realizar los análisis.

Tabla 4.2.7.2.13. Concentraciones de Ácidos grasos en tejidos musculares y hepáticos de la Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera), 2017 (primavera) y 2019 (otoño). Los valores en paréntesis son desviaciones estándar (dos lecturas para cada garza). ***** = cantidad de muestra insuficiente para lectura de concentraciones de Ácidos grasos.

campaña	**sectores de captura**	**Ácidos grasos (µg g-1)**	
		músculo	**hígado**
febrero 2015	Punucapa (eje central del HRC)	1373,6 (564,7)	1870,1
	Tres Bocas (eje central del HRC)	1362,3 (122,9)	2123,3
	Santa Clara (eje central del HRC)	1673,5 (25,1)	1986,4
	Punucapa (eje central del HRC)	1999,6 (113,4)	2399,0
	promedio	**1602,3 (301,6)**	**2094,7 (227,7)**
noviembre 2015	Santa Clara (eje central del HRC)	2685,6 (39,9)	3468,7
	Santa María (eje central del HRC)	2386,8 (189,3)	3084,0
	Tres Bocas (eje central del HRC)	2482,6 (210,7)	3522,9
	Pichoy (río tributario del HRC)	2471,0 (115,1)	3723,4
	promedio	**2506,5 (126,8)**	**3449,8 (267,3)**
diciembre 2016	Santa María (eje central del HRC)	1262,5 (28,7)	1544,2
	Santa María (eje central del HRC)	1328,0 (20,7)	1740,8
	Santa María (eje central del HRC)	1388,0 (273,7)	*
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	1249,7 (60,9)	*
	promedio	**1307,0 (64,0)**	**1642,5 (139,0)**
noviembre 2017	San Ramón (río tributario del HRC)	2669,7	*
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	1726,9	*
	San Pedro (eje central del HRC)	1548,5	*
	Santa María (eje central del HRC)	2439,7	*
	promedio	**2096,2 (542,6)**	
marzo 2019	El Molino (eje central del río Cruces)	1574,6 (186,8)	2499,0
	río Santa María (río tributario del HRC)	1567,7	1870,3
	Cuyinhue (río tributario del HRC)	965,9 (116,6)	814,6
	promedio	**1369,4 (349,5)**	**1728,0 (851,2)**

Los análisis destinados a evaluar eventuales diferencias entre años revelaron diferencias interanuales significativas (p<0,05) (Tabla 4.2.7.2.14). Las concentraciones de Ácidos grasos detectadas en tejido muscular fueron significativamente más altas en garzas capturadas durante la estación primaveral de los años 2015 y 2017 (*cf.* Fig. 4.2.7.2.3); por otra parte, las concentraciones de Ácidos grasos en tejidos hepáticos fueron significativamente más altas en garzas capturadas durante la primavera del año 2015 (*cf.* Fig. 4.2.7.2.3)**.**

Tabla 4.2.7.2.14. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de Acidos grasos registrados en tejido muscular y hepático de Garza blanca grande. El factor es Año (A) de muestreo (V15-P15-P16-P17-O19). Donde V=verano, P= primavera y O= otoño.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Musculo (**)	Año (A)	4	7673742,8	1918435,7	20,966	**<0,001**	P15=P17>V14=P16=O19
	Error	28	2562035,6	91501,3			
	Total	32	10235778,3				
Hígado (**)	Año (A)	3	7259992,7	2419997,6	11,848	**0,002**	P15>V14=V16=O19
	Error	9	1838296,0	204255,1			
	Total	12	9098288,7				

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA.

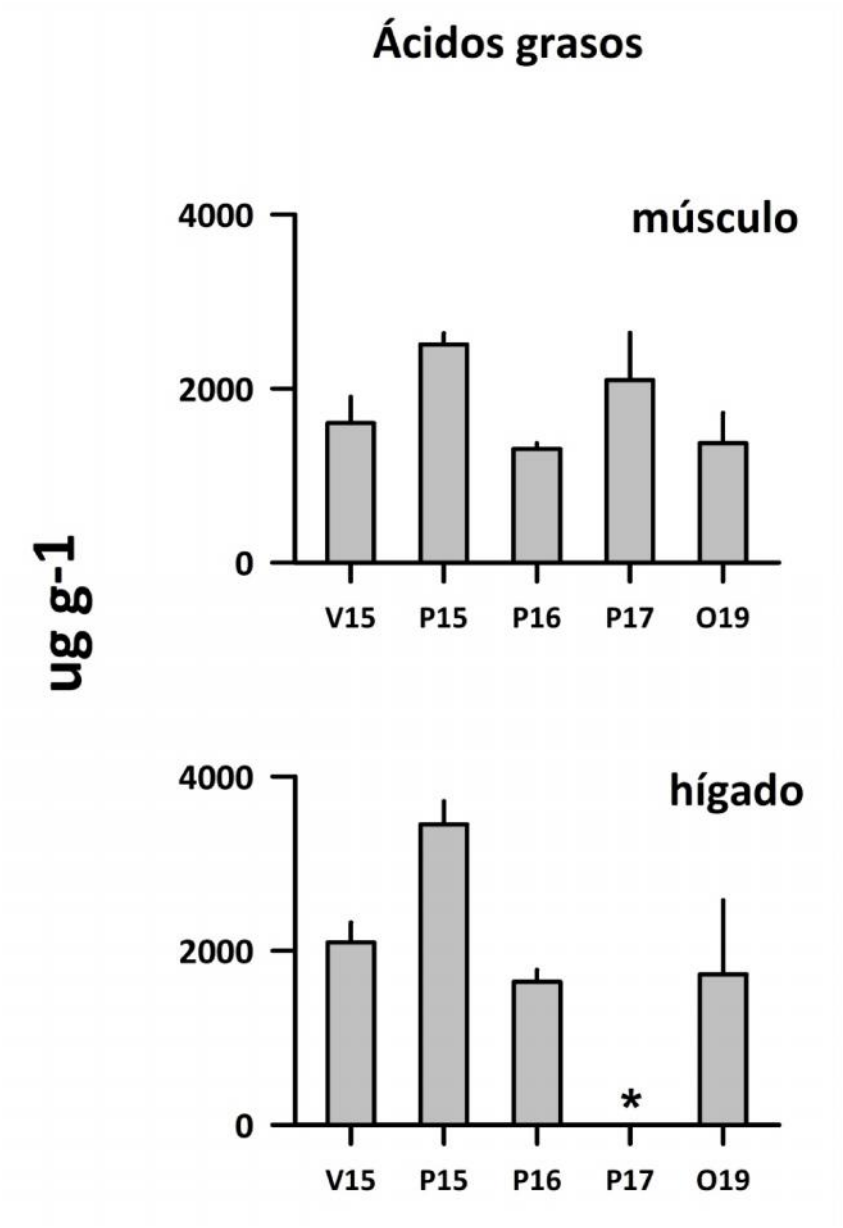


Figura 4.2.7.2.3. Concentraciones de Ácidos grasos en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande recolectados durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P15, respectivamente), 2016 (primavera; P16), 2017 (primavera; P17) y 2019 (otoño; O19). Los valores son promedios con una desviación estándar. ***** = cantidad de muestra insuficiente para lectura de concentraciones de Ácidos grasos.

Ácidos resínicos

La Tabla 4.2.7.2.15 muestra que, en todos los períodos de muestreo no se detectaron Ácidos resínicos en los tejidos analizados mediante la técnica utilizada (ver Material y métodos).

Tabla 4.2.7.2.15. Concentraciones de Ácidos resínicos en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera), 2017 (primavera) y 2019 (otoño). Los valores en negrilla corresponden al límite de detección del método utilizado. ***** = cantidad de muestra insuficiente para lectura de concentraciones de Ácidos resínicos.

campaña	sectores de captura	Ácidos resínicos (µg g-1)	
		músculo	hígado
febrero 2015	Punucapa (eje central del HRC)	**0,01**	**0,01**
	Tres Bocas (eje central del HRC)	**0,01**	**0,01**
	Santa Clara (eje central del HRC)	**0,01**	**0,01**
	Punucapa (eje central del HRC)	**0,01**	**0,01**
noviembre 2015	Santa Clara (eje central del HRC)	**0,01**	*
	Santa María (eje central del HRC)	**0,01**	*
	Tres Bocas (eje central del HRC)	**0,01**	*
	Pichoy (río tributario del HRC)	**0,01**	*
diciembre 2016	Santa María (eje central del HRC)	**0,01**	**0,01**
	Santa María (eje central del HRC)	**0,01**	**0,01**
	Santa María (eje central del HRC)	**0,01**	**0,01**
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	**0,01**	**0,01**
noviembre 2017	San Ramón (río tributario del HRC)	**0,007**	*
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	**0,007**	*
	San Pedro (eje central del HRC)	**0,007**	*
	Santa María (eje central del HRC)	**0,007**	*
marzo 2019	El Molino (eje central del río Cruces)	**0,007**	*
	río Santa María (río tributario del HRC)	*	*
	Cuyinhue (río tributario del HRC)	**0,007**	*

AOX

Las concentraciones de AOX medidas en tejido hepático fueron mayores a las medidas en tejido muscular de Garza blanca grande.

Tabla 4.2.7.2.16. Concentraciones de AOX en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera), 2017 (primavera) y 2019 (otoño). Los valores en paréntesis son desviaciones estándar (dos lecturas para cada garza). ***** = cantidad de muestra insuficiente para lectura de concentraciones de AOX.

campaña	sectores de captura	AOX (µg g-1)	
		músculo	hígado
febrero 2015	Punucapa (eje central del HRC)	11,8 (1,1)	26,1
	Tres Bocas (eje central del HRC)	10,7 (0,8)	18,6
	Santa Clara (eje central del HRC)	13,5 (3,4)	26,2
	Punucapa (eje central del HRC)	12,2 (1,7)	10,6
	promedio	**12,0 (1,2)**	**20,4 (7,4)**
noviembre 2015	Santa Clara (eje central del HRC)	8,9 (1,1)	32,3 (5,1)
	Santa María (eje central del HRC)	7,0 (0,8)	35,1 (5,1)
	Tres Bocas (eje central del HRC)	18,4 (3,4)	52,6 (0,0)
	Pichoy (río tributario del HRC)	6,7 (0,9)	32,2 (12,8)
	promedio	**10,3 (5,5)**	**38,1 (9,8)**
diciembre 2016	Santa María (eje central del HRC)	13,5 (0,8)	16,8
	Santa María (eje central del HRC)	15,4 (0,8)	12,6
	Santa María (eje central del HRC)	9,6 (0,6)	*
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	9,1 (0,4)	*
	promedio	**11,9 (3,1)**	**14,7 (3,0)**
noviembre 2017	San Ramón (río tributario del HRC)	7,1 (0,1)	*
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	9,9 (0,2)	*
	San Pedro (eje central del HRC)	13,0	*
	Santa María (eje central del HRC)	12,2 (0,5)	*
	promedio	**10,6 (2,6)**	
marzo 2019	El Molino (eje central del río Cruces)	15,5	52,3
	río Santa María (río tributario del HRC)	13,7 (0,3)	46,6
	Cuyinhue (río tributario del HRC)	19,0 (1,3)	61,2
	promedio	**16,1 (2,7)**	**53,4 (7,4)**

Las concentraciones de AOX encontradas en tejido muscular fueron significativamente más altas (p<0,05) en garzas capturadas el otoño del año 2019 (Tabla 4.2.7.2.17) (*cf.* Fig. 4.2.7.2.4). A su vez, las concentraciones de AOX encontradas en tejido hepático fueron significativamente más altas (p<0,05) en garzas capturadas durante la primavera del año 2015 y otoño del año 2019 (Tabla 4.2.7.2.17) (*cf.* Fig. 4.2.7.2.4). El año 2017 no se ingresó al análisis estadístico ya que la muestra de hígado no fue suficiente para detectar este compuesto.

Tabla 4.2.7.2.17. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de AOX en tejido muscular y hepático de Garza blanca grande. El factor es Año (A) de muestreo (V15-P15-P16-P17-O19). Donde V=verano, P= primavera y O= otoño.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Musculo (*)	Año (A)	4	133,647	33,412	2,918	**0,037**	O19>P17=P15
	Error	31	354,900	11,448			
	Total	35	488,547				
Hígado	Año (A)	3	2739,293	913,098	12,915	**<0,001**	O19=P15>V15=P16
	Error	13	919,109	70,701			
	Total	16	3658,403				

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a $\log_{10}$.

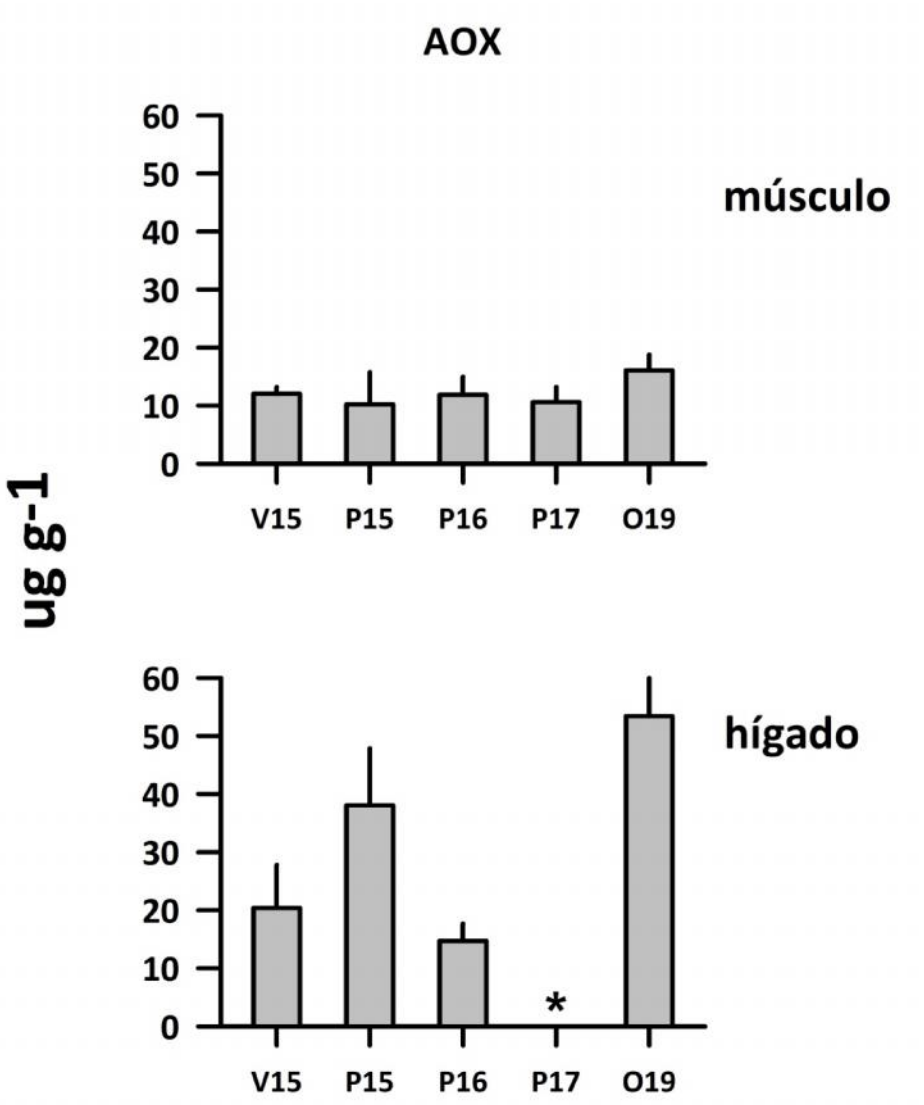


Figura 4.2.7.2.4. Concentraciones de AOX en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande recolectadas durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P15, respectivamente), 2016 (primavera; P16), 2017 (primavera; P17) y 2019 (otoño; O19). Los valores son promedios con una desviación estándar. * = cantidad de muestra insuficiente para lectura de concentraciones de AOX.

Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos

Las Tablas 4.2.7.2.18 y 4.2.7.2.19 y Figura 4.2.7.2.5, muestran las concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs en tejidos musculares y hepáticos, respectivamente. Durante el año 2019 no se realizaron análisis de Dioxinas en tejido hepático, debido a que la cantidad de tejido recolectado fue insuficiente para este tipo de estudios.

Tabla 4.2.7.2.18. Concentraciones de Dioxinas, Furanos y ETQs en tejidos musculares de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera), 2017 (primavera) y 2019 (otoño). Los valores en paréntesis son desviaciones estándar (dos lecturas para cada garza). * = una lectura solamente.

campaña	sectores de captura	Dioxinas (ng g^{-1})	Furanos (ng g^{-1})	EQTs (ng g^{-1})
febrero 2015	Santa Clara (eje central del río Cruces)	0,00275 (0,00007)	0,00235 (0,00035)	0,00144 (0,00003)
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	0,00505 (0,00078)	0,00460 (0,00056)	0,00199 (0,00034)
	Punucapa (eje central del río Cruces)	0,00155 (0,00007)	0,00110 (0,00028)	0,00080 (0,00011)
	Punucapa (eje central del río Cruces)	0,00060 (0,00014)	0,00105 (0,00007)	0,00041 (0,00000)
	promedio	**0,00249 (0,00192)**	**0,00228 (0,00166)**	**0,00116 (0,00070)**
noviembre 2015	Santa María (eje central del río Cruces)	0,01280 (0,01485)	0,00145 (0,00035)	0,00074 (0,00094)
	Santa Clara (eje central del río Cruces)	0,00950 (0,00127)	0,00085 (0,00049)	0,00112 (0,00080)
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	0,00190 (0,00071)	0,00155 (0,00092)	0,00062 (0,00033)
	río Pichoy (río tributario del HRC)	0,02085 (0,00559)	0,00240 (0,00014)	0,00268 (0,00030)
	promedio	**0,01126 (0,00785)**	**0,00156 (0,00064)**	**0,00129 (0,00095)**
diciembre 2016	Santa María (eje central del río Cruces)	0,00407 (0,00046)	0,00229 (0,00064)	0,00213 (0,00024)
	Santa María (eje central del río Cruces)	0,00207 (*)	0,00127 (*)	0,00036 (*)
	Santa María (eje central del río Cruces)	0,00193 (*)	0,00133 (*)	0,00109 (*)
	San Luis (eje central del río Cruces)	0,00474 (0,00005)	0,00165 (0,00082)	0,00169 (0,00010)
	promedio	**0,00320 (0,00142)**	**0,00164 (0,00047)**	**0,00132 (0,00077)**
noviembre 2017	San Ramón (río tributario del HRC)	0,00416 (0,00012)	0,00252 (0,00007)	0,00332 (0,00017)
	San Luis (eje central del río Cruces)	0,00431 (0,00098)	0,00128 (0,00087)	0,00282 (0,00001)
	San Pedro (eje central del río Cruces)	0,01635 (0,00071)	0,00142 (0,00039)	0,00343 (0,00019)
	Santa María (eje central del río Cruces)	0,00320 (0,00060)	0,00062 (0,00005)	0,00085 (0,00005)
	promedio	**0,00701 (0,00625)**	**0,00146 (0,00079)**	**0,00261 (0,00120)**
campaña	**sectores de captura**	**Dioxinas (ng g^{-1})**	**Furanos (ng g^{-1})**	**EQTs (ng g^{-1})**
marzo 2019	El Molino (eje central del río Cruces)	0,00505 (0,00049)	0,00147 (0,00060)	0,00209 (0,00024)
	río Santa María (río tributario del HRC)	0,00282 (*)	0,00089 (*)	0,00096 (*)
	Cuyinhue (río tributario del HRC)	0,00335 (0,00046)	0,00237 (0,00064)	0,00119 (0,00017)
	promedio	**0,00374 (0,00117)**	**0,00158 (0,00075)**	**0,00141 (0,00060)**

Tabla 4.2.7.2.19. Concentraciones de Dioxinas, Furanos y ETQs en tejidos hepáticos de Garza blanca grande, recolectados durante la primavera de los años 2016, 2017. No fue posible realizar análisis similares durante el verano y primavera del año 2015 y otoño del año 2019, ya que la cantidad de tejido hepático recolectado fue insuficiente para este tipo de estudios. (*) = una lectura solamente.

campaña	**sectores de captura**	**Dioxinas (ng g^{-1})**	**Furanos (ng g^{-1})**	**EQTs (ng g^{-1})**
diciembre 2016	Santa María	0,00584 (*)	0,00140 (*)	0,00135 (*)
	Santa María y Fuerte San Luis	0,00557 (*)	0,00195 (*)	0,00183 (*)
	promedio	**0,00571 (0,00019)**	**0,00167 (0,00039)**	**0,00159 (0,00034)**
noviembre 2017	San Ramón y Santa María	0,03616 (*)	0,00461 (*)	0,00683 (*)
	Fuerte San Luís y San Pedro	0,00694 (*)	0,00230 (*)	0,00236 (*)
	promedio	**0,02155 (0,02066)**	**0,00345 (0,00163)**	**0,00460 (0,00316)**

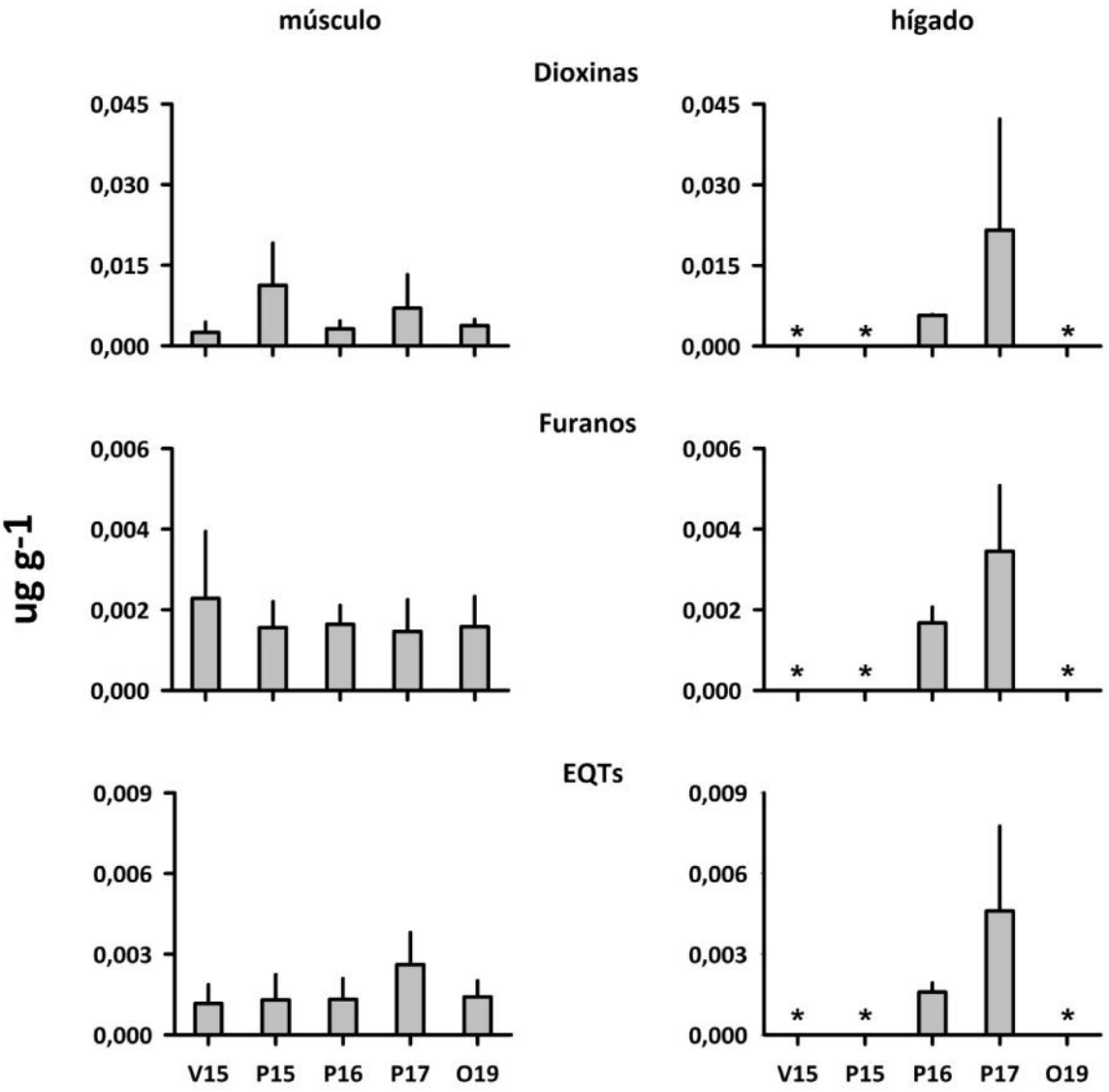


Figura 4.2.7.2.5. Concentración de Dioxinas, Furanos y EQTs en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande recolectados durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P15, respectivamente), 2016 (primavera; P16), 2017 (primavera; P17) y 2019 (otoño; O19). Los valores son promedios con una desviación estándar. ***** = cantidad de muestra insuficiente para lectura de concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs.

Las concentraciones de Dioxinas en tejido muscular de *C. albus* fueron significativamente más altas (p<0,05) en garzas capturadas durante la primavera del año 2015 (Tabla 4.2.7.2.20). No se detectaron diferencias interanuales significativas (p>0,05) en las concentraciones de Furanos, a la vez que las concentraciones de EQTs en tejido fueron significativamente más altas (p<0,05) en las garzas capturadas durante el año 2017 (Tabla 4.2.7.2.20) (*cf*. Fig. 4.2.7.2.5).

Tabla 4.2.7.2.20. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs en tejido muscular de Garza blanca grande. El factor es Año (A) de muestreo (V15-P15-P16-P17-V19). Donde V=verano y P= primavera.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Dioxinas	Año (A)	4	1,545	0,386	3,327	**0,023**	P15 > V14
	Error	30	3,483	0,116			
	Total	34	5,028				
Furanos	Año (A)	4	0,00000317	0,00000792	0,793	0,539	
	Error	30	0,0000300	0,00000999			
	Total	34	0,0000331				
EQTs	Año (A)	4	0,0000104	0,0000261	3,472	**0,019**	P17>V15=P15
	Error	30	0,0000226	0,00000752			
	Total	34	0,0000330				

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*)= Datos transformados a $\log_{10}$.

Las concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs medidas en tejidos hepáticos de *C. albus* fueron más altas durante la primavera del año 2017 en comparación con la primavera del año 2015 (Fig. 4.2.7.2.5). Esto aun cuando los análisis de ANDEVA no detectaron diferencias significativas entre períodos (p>0,05). Durante el año 2019 no se realizaron análisis de Dioxinas en tejido hepático, debido a que la cantidad de tejido recolectado fue insuficiente para este tipo de estudios.

Las Tablas 4.2.7.2.21 y 4.2.7.2.22 y Figura 4.2.7.2.6, muestran las concentraciones de Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PeCDD en tejidos musculares y hepáticos de garzas. Durante el año 2019 no se realizaron análisis de Dioxinas en tejido hepático, debido a que la cantidad de tejido recolectado fue insuficiente para este tipo de estudios.

Tabla 4.2.7.2.21. Concentraciones de Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PeCDD en tejidos de músculo de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera), 2017 (primavera) y 2019 (otoño). Los valores en paréntesis son desviaciones estándar (dos lecturas para cada garza). (*) = una lectura solamente.

campaña	sectores de captura	2.3.7.8-TCDD (ng g^{-1})	1.2.3.7.8-PeCDD (ng g^{-1})
febrero 2015	Santa Clara (eje central del río Cruces)	0,00040 (0,00000)	0,00080 (0,00000)
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	0,00050 (0,00028)	0,00105 (0,00007)
	Punucapa (eje central del río Cruces)	0,00015 (0,00007)	0,00055 (0,00007)
	Punucapa (eje central del río Cruces)	0,00015 (0,00007)	0,00015 (0,00007)
	promedio	**0,00030 (0,00018)**	**0,00064 (0,00038)**
noviembre 2015	Santa María (eje central del río Cruces)	0,00020 (0,00028)	0,00040 (0,00056)
	Santa Clara (eje central del río Cruces)	0,00040 (0,00000)	0,00050 (0,00070)
	Tres Bocas (eje central del río Cruces)	0,00020 (0,00000)	0,00020 (0,00028)
	río Pichoy (río tributario del HRC)	0,00075 (0,00007)	0,00145 (0,00021)
	promedio	**0,00039 (0,00026)**	**0,00064 (0,00056)**
diciembre 2016	Santa María (eje central del río Cruces)	0,00078 (0,00001)	0,00096 (0,00021)
	Santa María (eje central del río Cruces)	0,00005 (*)	0,00018 (*)
	Santa María (eje central del río Cruces)	0,00009 (*)	0,00077 (*)
	Fuerte San Luis (eje central del río Cruces)	0,00050 (0,00002)	0,00086 (0,00001)
	promedio	**0,00036 (0,00035)**	**0,00069 (0,00035)**
noviembre 2017	San Ramón (río tributario del HRC)	0,00123 (0,00004)	0,00146 (0,00090)
	San Luis (eje central del río Cruces)	0,00114 (0,00008)	0,00133 (0,00017)
	San Pedro (eje central del río Cruces)	0,00084 (0,00005)	0,00163 (0,00019)
	Santa María (eje central del río Cruces)	0,00023 (0,00001)	0,00045 (0,00003)
	promedio	**0,00086 (0,00045)**	**0,00122 (0,00053)**
marzo 2019	El Molino (eje central del río Cruces)	0,00111 (0,00011)	0,00071 (0,00008)
	río Santa María (río tributario del HRC)	0,00030 (*)	0,00049 (*)
	Cuyinhue (río tributario del HRC)	0,00034 (0,00002)	0,00056 (0,00022)
	promedio	**0,00058 (0,00057)**	**0,00059 (0,00016)**

Tabla 4.2.7.2.22. Concentraciones de Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PeCDD en tejidos hepáticos de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2016 (primavera) y primavera 2017 (primavera). Los valores en paréntesis son desviaciones estándar (dos lecturas para cada garza). (*) = una lectura solamente.

campaña	**sectores de captura**	**2.3.7.8-TCDD (ng g-1)**	**1.2.3.7.8-PCDD (ng g-1)**
diciembre 2016	Santa María	0,00031 (*)	0,00073 (*)
	Santa María y Fuerte San Luis	0,00048 (*)	0,00088 (*)
	promedio	**0,00040 (0,00012)**	**0,00081 (0,00011)**
noviembre 2017	San Ramón y Santa María	0,00153 (*)	0,00300 (*)
	Fuerte San Luís y San Pedro	0,00064 (*)	0,00109 (*)
	promedio	**0,00109 (0,00063)**	**0,00205 (0,00135)**

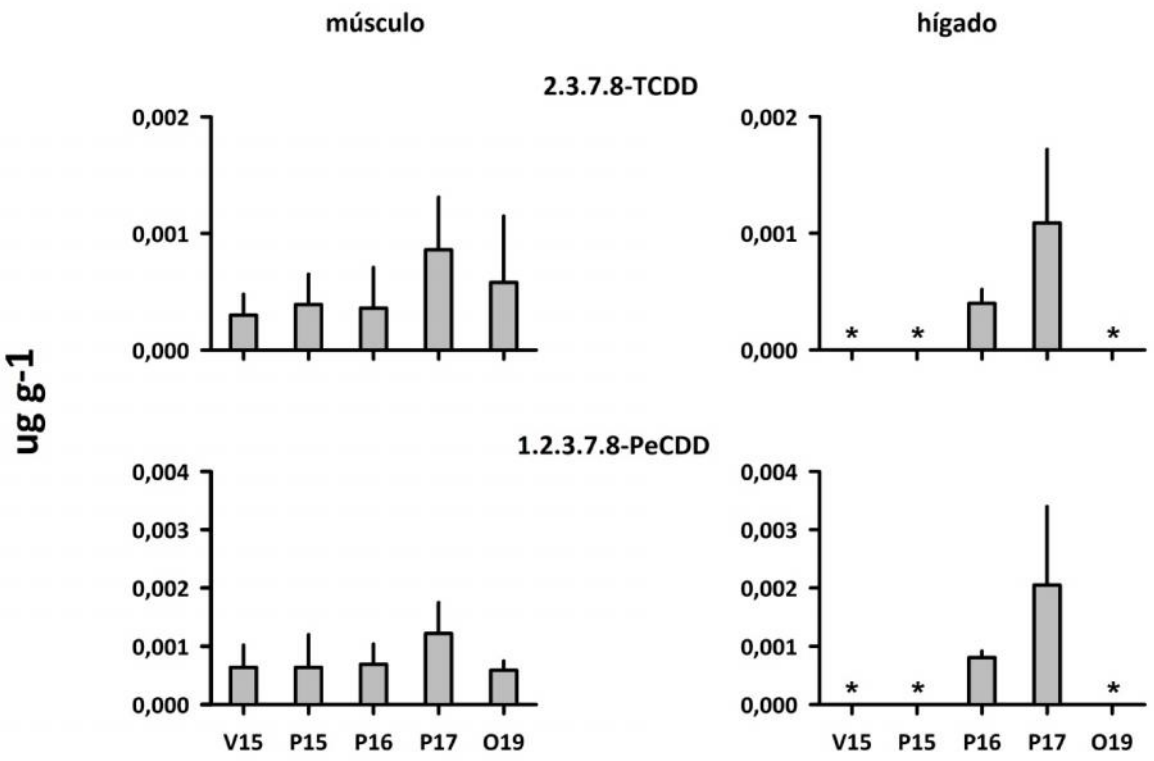


Figura 4.2.7.2.6. Concentraciones de las Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PeCDD en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P15, respectivamente), 2016 (primavera; P16), 2017 (primavera; P17) y 2019 (otoño; O19). Los valores son promedios con una desviación estándar. ***** = cantidad de muestra insuficiente para lectura de concentraciones de estas Dioxinas.

Los análisis de ANDEVA indican que las concentraciones de Dioxina 2.3.7.8-TCDD medida en tejido muscular de garzas capturadas durante la primavera del año 2017 fueron significativamente más altas ($p<0,05$), que en garzas capturadas durante el verano del año 2015 (Fig. 4.2.7.2.6). A su vez la Dioxina 1.2.3.7.8-PeCDD no presentó diferencias significativas ($p<0,05$) interanuales (Tabla 4.2.7.2.23 y Fig. 4.2.7.2.6).

Durante la primavera del año 2017, se observó que las concentraciones de las Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PeCDD fueron más altas en tejidos hepáticos que en tejido muscular (Fig. 4.2.7.2.6).

Tabla 4.2.7.2.23. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de las Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PeCDD en tejido muscular de Garza blanca grande. El factor es Año (A) de muestreo (V15-P15-P16-P17-O19). Donde V=verano, P= primavera y O= otoño

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
2.3.7.8-TCDD	Año (A)	4	0,00000156	0,00000391	3,608	**0,016**	P17 > V15
	Error	30	0,00000325	0,00000108			
	Total	34	0,00000482				
1.2.3.7.8-PeCDD	Año (A)	3	0,00000204	0,00000510	2,547	0,060	
	Error	31	0,00000601	0,00000200			
	Total	34	0,00000805				

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho.

4.2.7.2.5. Conclusiones

- En general, las concentraciones de metales pesados en garzas fueron más elevadas en tejido hepático que en tejido muscular. Los metales con mayor concentración en estos tejidos fueron el Hierro, Cobre y Zinc y los de concentraciones más bajas fueron el Plomo y el Mercurio. El Aluminio y el Arsénico no han sido detectados hasta ahora. El Manganeso fue detectado por primera vez en tejido muscular durante el cuarto año del Programa de Monitoreo.
- Se han detectado tendencias interanuales ($p>0,05$), al comparar las concentraciones de Hierro, Cobre, Plomo, Zinc y Mercurio en los tejidos musculares examinados; las concentraciones de Fe, Zn y Pb fueron más altas el año 2015, las de Hg el año 2017 y las de Cu el año 2019.
- No se detectaron tendencias interanuales ($p>0,05$) en las concentraciones de metales pesados en los tejidos hepáticos de *C. albus*, con excepción de las concentraciones de Cobre que fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante la primavera del año 2016, y las de Mercurio significativamente más altas ($p<0,05$) durante la primavera de los años 2015 y 2016.
- No se detectaron Ácidos resínicos durante el cuarto año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC.
- Las concentraciones de AOX medidas en tejido hepático fueron mayores a las medidas en tejido muscular de Garza blanca grande. Las concentraciones de AOX encontradas en tejido muscular fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el otoño del año 2019. A su vez, las concentraciones de AOX en tejido hepático fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en garzas capturadas durante el otoño del año 2019 y primavera del año 2015.
- Las concentraciones de Dioxinas en tejido muscular presentaron diferencias interanuales, siendo estas significativamente ($P<0,05$) más altas en garzas capturadas durante la primavera del año 2015. Por el contrario, los Furanos registradas en tejidos musculares de *C. albus* no muestran tendencias interanuales definidas. Las

concentraciones de EQTs presentaron diferencias significativas ($p<0,05$) siendo estas más altas en garzas capturadas durante la primavera del año 2017.

- Las concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs medidas en tejidos hepáticos de *C. albus* fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante la primavera del año 2017 en comparación con la primavera del año 2016.
- Durante el año 2019 se detectó nuevamente la presencia de las Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PeCDD en tejidos musculares de *C. albus*. Los análisis de ANDEVA indican que las concentraciones de la Dioxina 2.3.7.8-TCDD fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en garzas capturadas durante la primavera del año 2017. Por el contrario, la Dioxina 1.2.3.7.8-PeCDD no presentó diferencias interanuales definidas.

4.2.7.3 Composición de la comunidad, condición corporal y eficacia biológica de la avifauna de las riberas

4.2.7.3.1 Antecedentes

El Humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC), es uno de los humedales australes más importantes para la conservación de la naturaleza debido principalmente a sus poblaciones de aves acuáticas (*e.g.,* Schlatter *et al.*, 2002). Por ello, parte del HRC está catalogado como Sitio Ramsar y también como Santuario de la Naturaleza en el marco de la legislación chilena, albergando una gran variedad de hábitats. La extensión del eje central del humedal a lo largo es de aproximadamente 25 kilómetros lineales, genera diferencias ecológicas notables produciendo una alta heterogeneidad de hábitat, lo que se asocia *a priori* con una elevada biodiversidad (Ward, 1998). En este contexto, las poblaciones de aves son un componente esencial de los humedales, debido a que se sitúan en el ápice de las cadenas tróficas siendo los principales consumidores, tanto herbívoros como carnívoros (*e.g.*, Navedo *et al.,* 2015).

A escala de paisaje se pueden reconocer cuatro grandes ambientes para las aves en el HRC: aguas libres, áreas pantanosas, zonas de vegetación palustre y bosque fluvial asociado. El humedal representa de hecho un área esencial para la conservación del

mediático Cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*) (*e.g.*, Lagos *et al.,* 2008). Sin embargo, la presencia y abundancia poblacional de otras especies de aves principalmente asociadas a las riberas, menos icónicas, de hábitos más crípticos y/o con poblaciones más escasas asociadas al humedal son, en la mayoría de los casos, desconocidos hasta la fecha (*e.g.*, Victoriano *et al.,* 2006). Este déficit de conocimiento básico representa un impedimento esencial para poder evaluar los efectos de cualquier cambio estructural, ambiental y/o de usos del suelo sobre las comunidades de aves que habitan en las riberas del humedal.

En este Capítulo, se describen los resultados finales del seguimiento sistemático de la avifauna asociada a las riberas del humedal y que comenzara durante el primer año del Programa Ambiental del HRC (abril 2015 – marzo 2016) y está enfocado en el estudio de (i) parámetros reproductivos de una especie modelo (Garza cuca *Ardea cocoi*), (ii) densidad y cambios poblacionales de otra especie modelo (Becasina *Gallinago magellanica*), y (iii) estructura de la comunidad, condición corporal individual de las aves y supervivencia aparente en las siguientes especies modelo: Siete colores *Tachuris rubigastra*, Cachudito *Anairetes parulus*, Trabajador *Phleocrytes melanops*, Fío-fío *Elaenia albiceps*, Chirihue *Sicalis luteola,* Trile *Agelasticus thilius* y Run-run *Hymenops perspicillata*). Todos los parámetros medidos en (i), (ii) y (iii) pueden ser utilizados como indicadores de calidad del hábitat del HRC.

Como se mencionó anteriormente, el presente Capítulo hace referencia a los resultados obtenidos sobre la avifauna asociada a las riberas del HRC y sus ríos tributarios, en el contexto del Programa de Monitoreo Ambiental considerando todos los muestreos realizados desde octubre de 2015 hasta diciembre de 2019.

4.2.7.3.2 Objetivos

• Obtener información básica de referencia sobre las comunidades de aves asociadas a las riberas del HRC, para poder evaluar eventuales futuros cambios estructurales y/o funcionales en el humedal.

• Desarrollar e implementar un sistema de indicadores y rangos de variación de los mismos, para la valoración de potenciales cambios estructurales y/o funcionales en el HRC en relación con diferentes grupos de aves de los ambientes predefinidos.

4.2.7.3.3 Materiales y métodos

Se han aplicado tres aproximaciones metodológicas para obtener información básica de referencia de los diferentes grupos taxonómicos que componen la comunidad de aves acuáticas *sensu lato*, aves zancudas, playeras y palustres asociadas a las riberas del humedal. Esta información biológica se integrará junto con otros componentes esenciales de la biodiversidad monitoreados en el marco del presente informe, y servirá para analizar a posteriori la variabilidad estacional e interanual de diferentes parámetros asociados a la calidad del agua del humedal en cada una de las zonas y sectores seleccionados para este estudio.

Algunos de los índices propuestos se basan en parámetros que necesitan ser medidos de forma sistemática a largo plazo, idealmente en un período de, al menos, cuatro-cinco años. Las áreas donde se está llevando a cabo el monitoreo de cada uno de los distintos tipos de hábitats que se desglosan a continuación han sido seleccionadas en base a su tipología y localización espacial (Fig. 4.2.7.3.1).

Las especies objetivo se han seleccionado teniendo en cuenta la información disponible en otras zonas sobre algún taxón específico, así como las propias capturas realizadas hasta el momento. En este sentido, las especies que aparecen con mayor frecuencia y abundancia en las capturas, son utilizadas como especies modelo para garantizar una potencia suficiente de los análisis estadísticos que se realicen *a posteriori*.

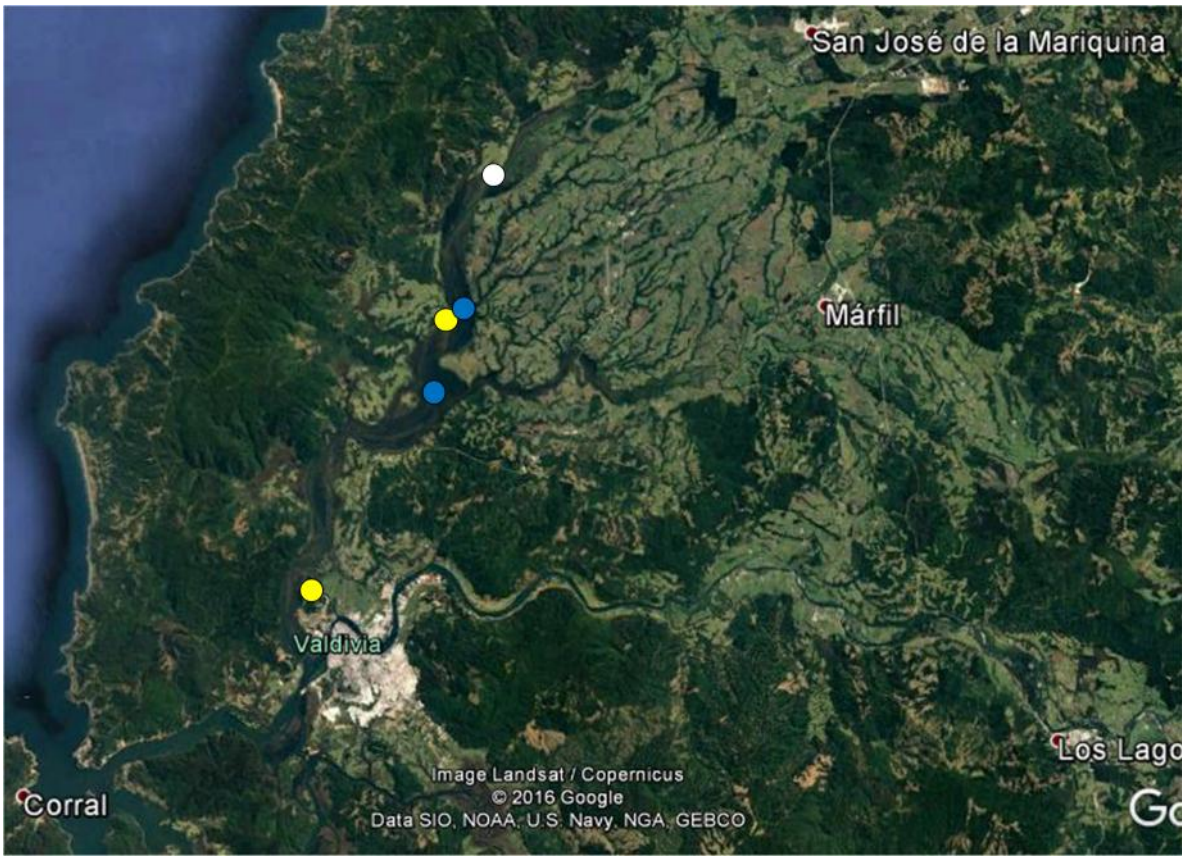


Figura 4.2.7.3.1. Ubicación general de los sitios de muestreo seleccionados para realizar el monitoreo de la avifauna asociada a las riberas del Humedal río Cruces. Los puntos amarillos indican las áreas de captura de aves canoras (Orden Paseriformes) con redes de niebla; los puntos azules indican la ubicación de las colonias de garza cuca *Ardea cocoi* objeto del monitoreo; y el punto blanco el área de praderas inundables seleccionadas para el estudio de las becasinas *Gallinago magellanica*.

A continuación, se describen en detalle las características y diseños de muestreo para obtener la información asociada al monitoreo de las especies modelo seleccionadas en cada uno de los tres hábitats considerados.

- **Bosque inundado (Hualve)**

Se llevó a cabo el monitoreo reproductivo de la garza cuca *Ardea cocoi*, como modelo para evaluar la calidad del humedal para las especies de aves ictiófagas con nidificación colonial (Garza grande *Ardea alba* y Garza chica *Egretta thula*).

Tras realizar pruebas preliminares en octubre y noviembre del año 2015 con una cámara Go-pro para tratar de registrar el contenido de los nidos en las garceras seleccionadas, se descartó el uso de esta metodología por su elevada relación entre esfuerzo empleado (horas·persona^{-1}) y resultado (n° de nidos muestreados·hora^{-1}) para medir el éxito reproductor, al menos en estas colonias de bosques inundados. Alternativamente, y tras realizar las primeras pruebas en diciembre del año 2015, se diseñó y desarrolló un monitoreo mensual durante el período reproductivo de la especie modelo sobrevolando los nidos con un Dron tipo Hexacopter. El protocolo metodológico empleado resultó muy eficaz para evaluar el contenido de los nidos sin incidir en el comportamiento normal de los adultos (para más detalles ver Anexo correspondiente).

La colonia localizada más al sur del área de estudio se encuentra ubicada en árboles de escasa altura y con los nidos situados a un nivel relativamente bajo, en comparación con la colonia localizada más al norte, cuyos árboles son de elevado porte lo que permite a las garzas ubicar sus nidos a una altura considerable sobre el espejo de agua (*circa* 10 m). Durante las tres temporadas reproductivas que se reportan en este informe final se realizaron tres prospecciones por temporada en cada una de las dos colonias reproductivas seleccionadas (Fig. 4.2.7.3.1), identificándose *a posteriori* nidos activos mediante el análisis de los videos registrados. Se consideró un nido activo aquel donde se observa un individuo incubando. Para cada nido identificado se registró su contenido de forma cuantitativa, utilizándose la siguiente clasificación: n° huevos, n° pollos pequeños (hasta 4 semanas) y n° pollos grandes (más de 4 semanas) (*sensu* Marion, 1979), que se pueden considerar ya pollos volanderos. De esta forma, se calculó *a posteriori* el éxito reproductivo (n° pollos volanderos por pareja con éxito) y la productividad general (n° pollos volanderos por pareja que inició la reproducción) de cada colonia.

- **Praderas inundables**

Se realizaron recorridos mensuales a pie por el área de muestreo para monitorear las densidades de la becasina común *Gallinago magellanica* (Miller *et al.,* 2020), seleccionada como especie modelo para evaluar la calidad del HRC para las aves que habitan las praderas inundables de las riberas del humedal. Se ha seleccionado una sola zona debido a la escasa disponibilidad relativa de este hábitat en el HRC. Se diseñó un sistema de transectos lineales con una longitud total de 2,490 metros, para cubrir la superficie del hábitat potencial, estimado en aproximadamente 15 hectáreas y dividido en dos sectores con diferentes características en términos de humedad general del sustrato (Fig. 4.2.7.3.2). El método utilizado es el denominado **Itinerario de Intercepción** (ver Tellería, 1986): *i.e.*, a lo largo de un transecto lineal de una longitud predeterminada (L) se estima la distancia (r) a la que un individuo objeto de muestreo (en este caso, becasinas) abandona su posición estática, debido al paso del observador. Para cada individuo detectado (i), esta distancia de huida o distancia de detección (r_i) permite estimar la densidad (D) (ver Tellería, 1986), según: $D = (1 / 2L) * \sum (1 / r_i)$.

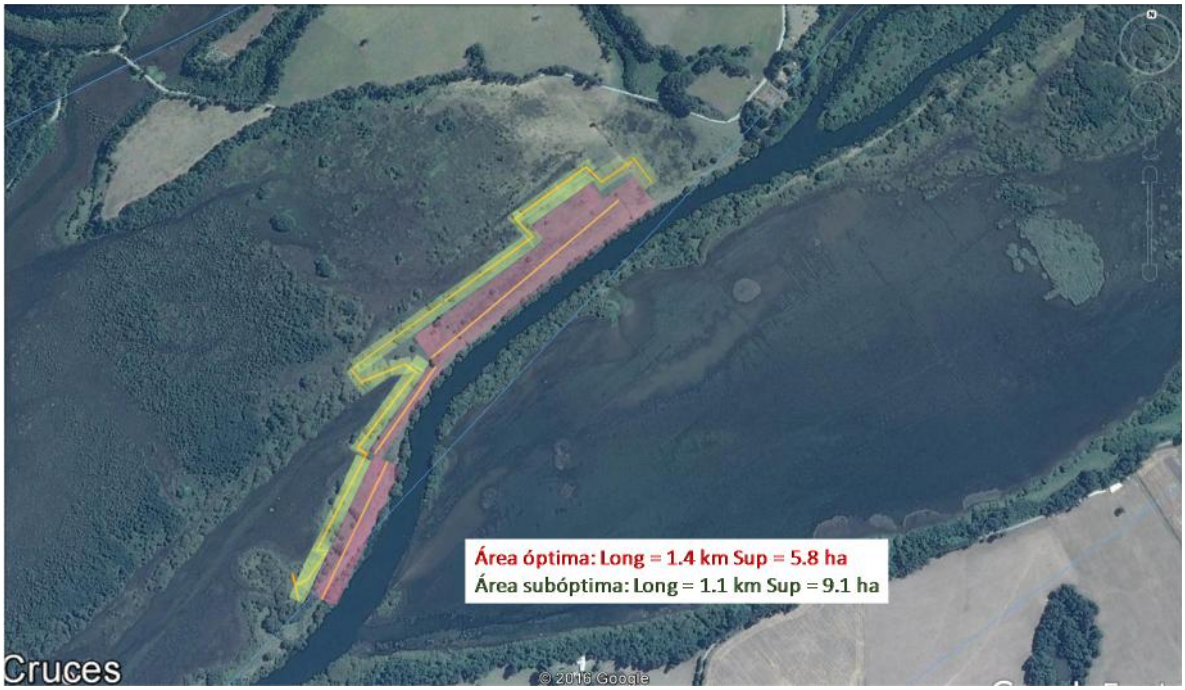


Figura 4.2.7.3.2. Transectos y superficies de hábitat potencial para becasina común *Gallinago magellanica*, en las dos zonas predefinidas *a priori* según características de humedad del sustrato.

• **Vegetación palustre (pajonales)**

Para obtener información básica de referencia sobre las comunidades de aves palustres asociadas a estos humedales y poder realizar aproximaciones comparativas, se realizaron muestreos sistematizados con redes de niebla. Aunque los conteos directos mediante diferentes aproximaciones metodológicas pueden aportar una descripción general sobre la composición de las comunidades de aves (e.g., Silva *et al.,* 2016), para poder evaluar abundancias relativas en áreas cerradas, como es la vegetación palustre en la orla de los humedales, la captura con redes de niebla es el método más recomendable (Arizaga *et al.,* 2011).

Los muestreos mensuales sistematizados y con esfuerzo constante (uso de redes de niebla, con un total de 108 m, extendidas desde el amanecer durante 5 horas consecutivas) comenzaron durante noviembre del año 2015 en las dos áreas seleccionadas como zonas testigo: Teja Norte (TN) y Santa María (SM) (Fig. 4.2.7.3.1). Ambas zonas están constituidas por pajonales y/o hábitats de etapa emergida formada principalmente por pantano de cortadera (*Loto-Cyperetum eragrostidae*) (San Martín *et al.,* 1993). No obstante, la diversidad a escala de microhábitat es mayor en el área de captura de SM, siendo TN un hábitat de pajonal con gran potencia y, por tanto, mucho más homogéneo.

La mayoría de los individuos capturados fueron marcados mediante anillos metálicos (Resoluciones Exentas SAG 8632/2015, SAG 7219/2016; y posteriores renovaciones anuales); se exceptúa al Picaflor chico *Sephanoides sephaniodes* para el que no había anillos *ad hoc* disponibles (a partir de octubre de 2018 se comenzaron a anillar; McFadden *et al.,* 2019). Se obtuvo una muestra de sangre de algunos ejemplares de las especies modelo. La muestra se obtuvo desde la vena braquial; luego de obtenida, la muestra fue centrifugada durante 10 minutos a 10,000 rpm para separar el plasma de las células. Este plasma se mantuvo refrigerado hasta ser analizado en el Laboratorio de Patología Clínica Veterinaria de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Austral de Chile.

Para todos los individuos capturados se registraron sus medidas biométricas y, en la medida de lo posible y en base a la coloración del plumaje y estado de la muda, su clase de edad (juvenil o adulto). Para las especies con dimorfismo sexual aparente se registró además el sexo de los individuos. Adicionalmente, se extrajo una muestra de sangre (alícuota: máximo 0.3 ml) de aquellas especies modelo que por su tamaño lo permiten, esencialmente Trile, Chirihue y Run-run. Con esta información se estimaron las variables que a continuación se indican y se han realizado comparaciones entre sectores incluyendo cuatro temporadas completas: abundancia específica relativa (nº capturas·jornada^{-1}), condición corporal aparente (Índice Escalado de Masa Corporal; Peig & Green, 2010), concentración de metabolitos plasmáticos (β-OH Butirato, Triglicéridos y Fructosamina) (*e.g.*, Lyons *et al.,* 2008) y estimación de la supervivencia adulta aparente (Ø = método de captura-marcaje-recaptura; Thomson *et al.,* 2009).

4.2.7.3.4 Resultados

- **Bosque inundado**

Durante las temporadas de cría del año 2016, 2017 y 2018, se monitorearon con alta precisión un total de 120 nidos de Garza cuca, distribuidos en dos colonias (A y B) ubicadas en el entorno de Santa María (Fig. 4.2.7.3.1). La puesta modal de la especie fue de 3 huevos, con un máximo de 5, siendo muy similar en ambas colonias e idéntica a la reportada en un estudio de esta especie en Argentina (Pretelli *et al.,* 2012).

En la colonia B (la más grande) se monitoreó el éxito reproductivo de un total de 84 nidos acumulados a lo largo de las tres temporadas, cuyas parejas produjeron un total de 125 pollos volanderos. Casi dos terceras partes de los nidos controlados tuvieron éxito (*i.e.*, al menos un pollo volandero). Por su parte, de los 36 nidos monitoreados en la colonia A (la más pequeña) 25 nidos tuvieron éxito, produciendo un total de 62 pollos volanderos (detalles en Tabla 4.2.7.3.1).

Tabla 4.2.7.3.1 Parámetros reproductivos (promedio ± DT) medidos en las temporadas de cría 2016, 2017 y 2018 en dos colonias de garza cuca *Ardea cocoi* en el HRC.

Colonia	nidos activos	nidos exitosos	puesta modal	% eclosión	éxito reproductor	productividad
A	36	25	3	83 ± 18	2.6 ± 0.7	1.6
B	84	61	3	74 ± 20	2.2 ± 0.7	1.5

El éxito reproductor de la Garza cuca en el HRC (promedio 2.3 ± 0.7 pollos volantones por nido exitoso) fue similar entre temporadas (Kruskal-Wallis $H_{2,85}$ = 4.73; p = 0.09). Sin embargo, fue mayor en la colonia más pequeña con diferencias marginalmente significativas (U Mann-Whitney Z = 1.98; p = 0.05), siendo estas diferencias más notables en las dos últimas temporadas (Fig. 4.2.7.3.3).

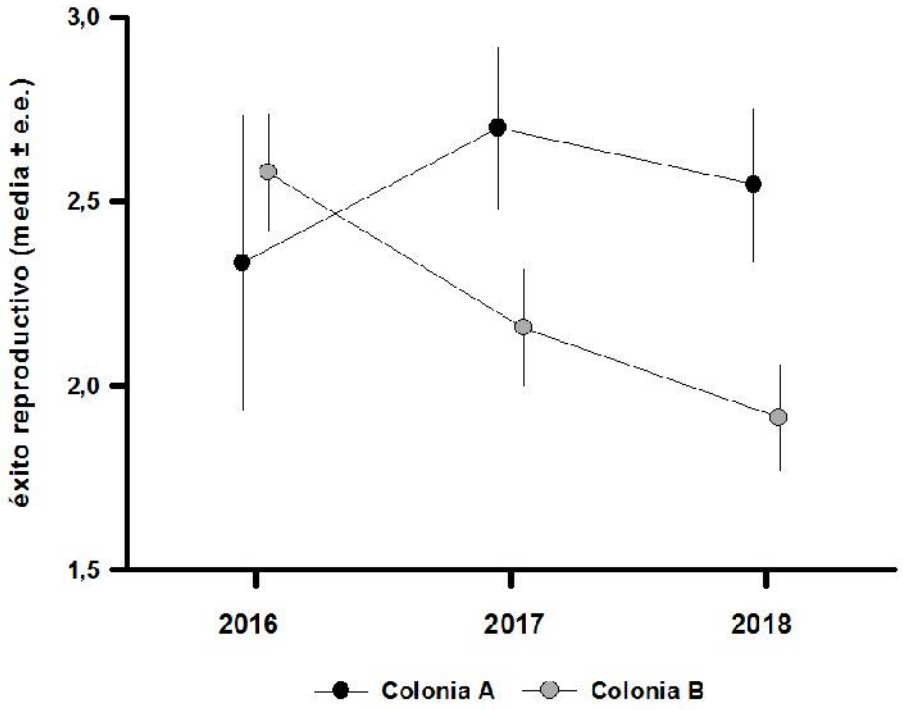


Figura 4.2.7.3.3. Número de pollos volantones producidos en cada una de las dos colonias estudiadas a lo largo de tres temporadas, por cada pareja de Garza cuca que fue exitosa en la reproducción (*i.e.* al menos produjo un pollo volantón; ver texto para detalles específicos).

En general las garzas produjeron en promedio 1.6 pollos volantones por cada pareja que inició la reproducción. Esta productividad es prácticamente igual a la registrada en una colonia estudiada en Chile central (1.7) (González-Acuña *et al.,* 2008), y mucho mayor que la reportada para una colonia en Argentina (0.6), cuyas causas principales de fracaso estuvieron relacionadas en ese caso con la escasez de alimento (Pretelli *et al.,* 2012).

- **Praderas inundables (*)**

Durante el período noviembre 2015-diciembre 2019, se realizaron muestreos mensuales (n=41) en el área seleccionada. No se pudieron realizar algunos muestreos por impedimentos logísticos. Se produjeron un total de 255 intercepciones de Becasina común, detectándose hasta 294 ejemplares. La gran mayoría de las intercepciones fueron individuales (80%), localizándose una única vez un bando mayor de 4 becasinas (14 ejemplares el 18 de mayo 2016). La distancia promedio de detección (±EE) fue 13.9 ± 0.6 metros, siendo similar entre estaciones y entre años (ANOVA; $P > 0.45$ en todos los casos).

La densidad promedio (±EE) estimada a lo largo del estudio fue de 1.6 ± 0.2 (rango: 0.2 – 6.3) becasinas·ha^{-1}. Casi todas las intercepciones se produjeron en el sector predefinido con una mayor humedad general del sustrato (Fig. 4.2.7.2.4), siendo 1.3 ± 0.2 becasinas·ha^{-1} la densidad en esta zona de hábitat más óptimo. Estas densidades son más de un orden de magnitud superior al promedio registrado durante el período invernal para otra especie de becasina *G. delicata*, en la zona baja del río Mississippi (USA) (8.0 ind·km^{-2} (4.6 – 14.2) en el año 2009 y 2.1 ind·km^{-2} (1.5 – 3.1) en el año 2010; Carroll & Krementz, 2014).

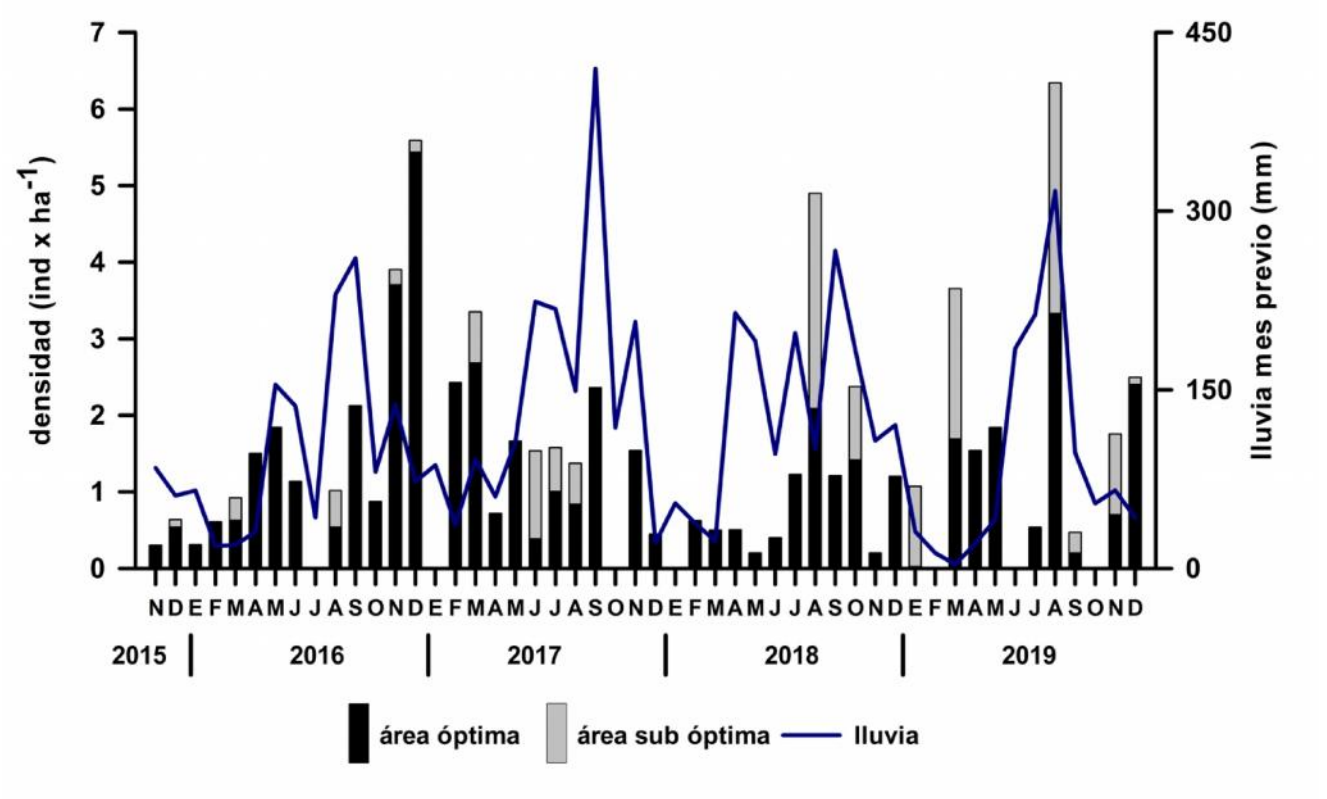


Figura 4.2.7.3.4. Densidad mensual estimada de becasinas en el área óptima y sub óptima predefinidas en la zona monitoreada durante los muestreos realizados en el período noviembre 2015 – diciembre 2019 (ver texto para detalles específicos), en relación a la precipitación acumulada durante el mes previo al conteo.

Los datos obtenidos durante cuatro temporadas completas muestran marcadas oscilaciones mensuales sin un claro patrón fenológico (Fig. 4.2.7.3.4), y una gran variabilidad interanual. Sin embargo, cuando se agrupan los datos por estaciones la densidad resulta muy similar (Kruskal-Wallis $H_{3,43} = 0.40$; $p = 0.93$) (Fig. 4.2.7.3.5). Las condiciones generales del hábitat inferidas en base a la precipitación en el mes del conteo, así como la acumulada durante uno, dos y tres meses previos no tuvieron una relación estadísticamente significativa con la densidad estimada de becasinas (Spearman; $P > 0.34$ en todos los casos), a diferencia de lo que lo que ocurre en otras zonas con una especie afín (*e.g.*, Cline & Haig, 2011).

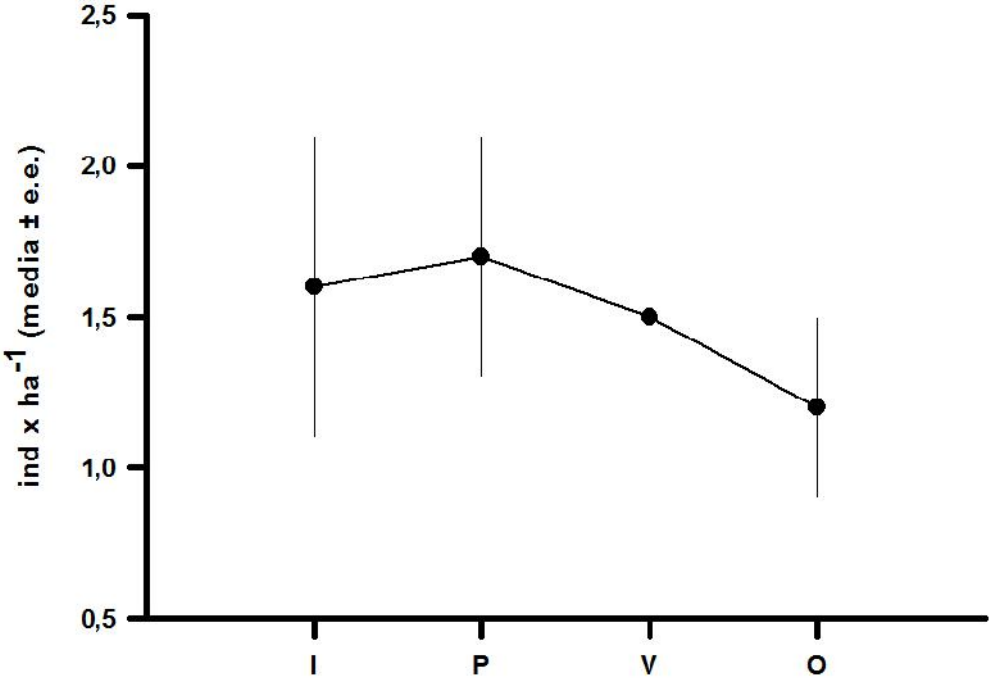


Figura 4.2.7.3.5. Densidad estacional de becasinas en la zona monitoreada durante los muestreos realizados en el período noviembre 2015 – diciembre 2019 (ver texto para detalles específicos).

Estas oscilaciones mensuales podrían entonces indicar que la zona alberga individuos migrantes, que es un área de reproducción y/o que puede ser utilizada de forma temporal por individuos de zonas aledañas. En este sentido un estudio realizado con una especie similar de becasina *G. delicata* en USA, muestra que los individuos de esta especie realizan movimientos estacionales importantes variando su 'rango de hogar' entre 1 y 7.5 km^2 (Cline & Haig, 2011).

Las becasinas que habitan el centro y sur de Chile, recientemente reconocida como especie *G. magellanica* separándola de *G. paraguiae* (Miller *et al.*, 2020) se reproducen durante la primavera austral, como lo muestra la localización de la mayoría de los huevos entre agosto y noviembre (Van Gils *et al.,* 2020). En el norte de Argentina y Uruguay se registran además llegadas de individuos procedentes de Tierra del Fuego durante el período

abril-julio (Van Gils *et al.,* 2020). Cabe destacar que se han encontrado varios nidos activos durante los recorridos (J. Ruiz *obs pers*), lo que confirma la reproducción de esta especie en el área de estudio. En este sentido y según las densidades estimadas en la época de reproducción (sep-nov), la abundancia promedio en la zona sería de 25 becasinas (rango 3-58), por lo que serían varias las parejas que se estarían reproduciendo en este sector, con grandes variaciones interanuales. Por su parte, la zona podría albergar durante algunos inviernos individuos migratorios procedentes de zonas más australes (Van Gils *et al.,* 2020), aspecto que debería ser estudiado en el futuro.

De cualquier modo, la gran variabilidad interanual de la densidad sugiere que el área monitoreada varía en sus condiciones generales, y que en determinados períodos es capaz de albergar una población notable de becasinas que, probablemente, utilicen otras zonas similares en el HRC. En este sentido según la estimación de densidad obtenida, la mayor abundancia en el sector monitoreado (*circa* 15 ha) podría ascender a cerca de 95 becasinas.

(*) A fecha de entrega del informe final se ha completado un manuscrito científico sobre las variaciones en las abundancias relativas de becasinas en el área monitoreada que será sometido a una revista de corriente principal (Web of Science) en el mes de mayo 2020.

- **Vegetación palustre (pajonales)**

Durante cuatro ciclos anuales completos (noviembre 2015-diciembre 2019) se han registrado 1609 capturas, 1506 de ellas correspondientes a 1278 ejemplares de 22 especies del Orden Passeriformes (Tabla 4.2.7.3.2). No se han tenido en cuenta para los subsiguientes análisis 54 controles, esto es, aves capturadas dos veces durante una misma jornada de anillamiento, además de 44 capturas de Picaflor chico, 3 de Chuncho *Glaucidium nanum* y 2 de Huairavillo *Ixobrichus involucris*. El promedio (±EE) de capturas por unidad de esfuerzo fue básicamente el mismo en ambas zonas (3.1 ± 0.3 aves·h^{-1}), siendo la especie más abundante el Siete colores, aunque su contribución a la abundancia total fue mucho mayor en TN (68%) que en SM (27%). Las siguientes especies fueron capturadas en ambas

zonas con regularidad y abundancia suficiente para poder realizar comparaciones entre ambos sectores muestreados: Siete colores (N=770), Fío-fío (N=147), Cachudito (N=145) y Trabajador (N=86). Las especies capturadas incluyen dos migratorias (*E. albiceps* y *H. perspicillata*), así como otras que disminuyen drásticamente en número durante el invierno y que requiere seguir muestreando para poder dilucidar si realizan movimientos periódicos anuales (*e.g.*, *S. luteola*).

Tabla 4.2.7.3.2. Capturas de aves en cada uno de los sectores seleccionados de vegetación palustre durante los muestreos realizados en el período noviembre 2015 – diciembre 2019 (ver texto para detalles específicos). * no considerada en los cálculos de riqueza de especies y diversidad.

Especies	**Santa María**	**Teja Norte**
Cachudito	91	54
Chercán	52	3
Chercán de las Vegas	11	15
Chincol	1	
Chirihue	84	2
Churrín de la Mocha		4
Chuncho *	1	2
Churrín del Sur	2	3
Colilarga	24	25
Comesebos	1	
Diucón	2	1
Fío-fío	99	48
Huairavillo *		2
Jilguero	47	1
Mirlo	1	2
Picaflor *	35	9
Rayadito	3	11
Run-run	15	5
Sietecolores	192	578
Tijeral	1	4
Tordo	1	
Trabajador	13	60
Trile	18	20
Viudita	2	4
Zorzal austral	6	
Total general	**702**	**853**

Composición, estacionalidad y diversidad de la comunidad de aves en los pajonales

Los pajonales y etapas sucesionales de vegetación palustre presentes en las riberas del HRC, albergan al menos 22 especies de aves Passeriformes. Diez de ellas están presentes regularmente en ambos sectores, estructurando por ello la comunidad de aves. En SM se registró la presencia de cuatro especies que no fueron capturadas en TN, mientras que una única especie (*Eugralla paradoxa*) fue capturada solamente en este último sector. De forma general, en el HRC se registra un incremento de las capturas aparejado al aumento de la riqueza específica en diciembre y enero, reduciéndose en febrero (Fig. 4.2.7.3.6). Además, destaca el posterior incremento de abundancia que se registra de forma consistente en marzo y abril, debido al aumento notable de capturas de Siete colores (Fig. 4.2.7.3.7).

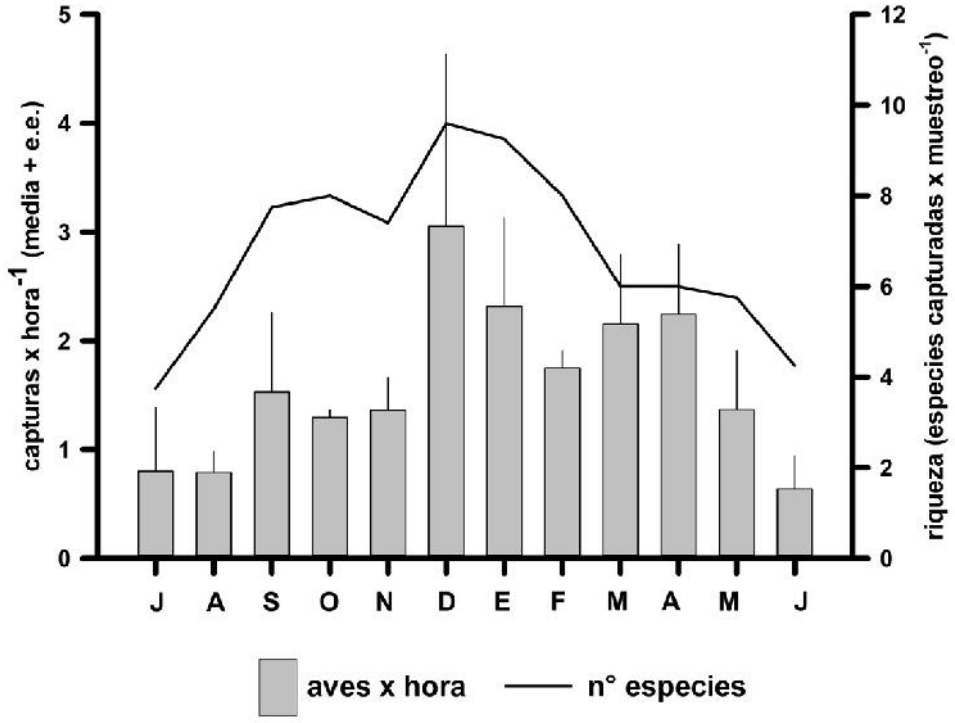


Figura 4.2.7.3.6. Evolución mensual del número de capturas por hora y la riqueza específica, en el conjunto de ambos sectores durante los muestreos realizados en el período noviembre 2015 – diciembre 2019 (ver texto para detalles específicos).

Asumiendo que el método seleccionado es el óptimo para evaluar la abundancia relativa de las diferentes especies de aves paseriformes en estas zonas (Arizaga *et al.,* 2011), las cinco especies más regulares y abundantes en el HRC muestran distintas fenologías (Fig. 4.2.7.3.7). En primer lugar, el Siete colores, una especie residente y la más abundante en las áreas de vegetación palustre muestreadas en el HRC, muestra un pico de abundancia desde el mes de enero hasta mayo, ambos inclusive, manteniéndose mucho más bajo desde junio hasta diciembre.

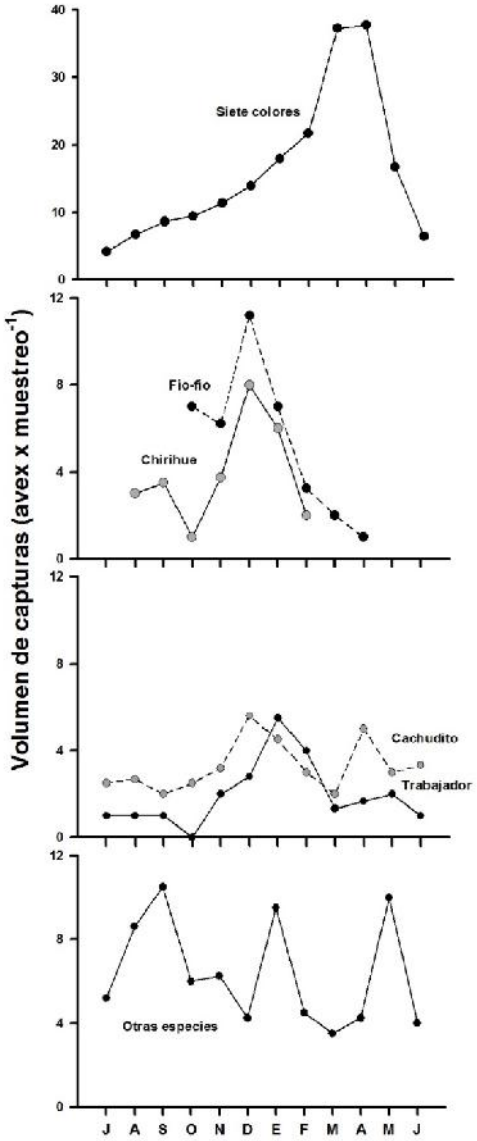


Figura 4.2.7.3.7. Evolución mensual del número promedio de capturas de las especies más abundantes en el HRC, durante los muestreos realizados en el período noviembre 2015 – diciembre 2019 (ver texto para detalles específicos).

El aumento de la abundancia en los meses de enero y febrero corresponde, al menos en buena parte, a los juveniles nacidos recientemente y que abandonan el nido en estas fechas, incrementándose notablemente su presencia en las capturas. Sin embargo, las mayores abundancias durante los meses de marzo y abril podrían responder a un agrupamiento de la población adulta incluyendo los potenciales reclutas en bandadas postreproductivas, común en aves Passeriformes en otro tipo de ambientes (*e.g.*, Vergara & Marquet, 2007). Este sería un aspecto desconocido de la biología del Siete Colores que había pasado desapercibido hasta este estudio.

Por su parte, las abundancias de Fío-fío siguen el típico patrón de una especie migradora Neotropical en Chile, muy similar al encontrado para esta misma especie en zonas incluso más australes (Jiménez *et al.,* 2016). Aparece en las capturas a finales de octubre y sobre todo durante noviembre, mostrando un pico de abundancia en diciembre y enero para disminuir gradualmente su abundancia hasta el mes de abril, cuando se capturan los últimos individuos. En este caso, el pico de abundancia de diciembre no se puede asociar a la captura de juveniles del año, puesto que éstos recién aparecen en las capturas en enero, pero sobre todo en febrero. Por ello, una explicación alternativa podría estar relacionada con un incremento de la actividad en el HRC de las aves adultas reproductoras, lo que incremento sus desplazamientos para alimentarse y llevar comida al nido.

Paralelamente, las otras dos especies residentes en el HRC para las que se puede inferir la fenología en base a las capturas analizadas, Cachudito y Trabajador, muestran ambas un ligero aumento al principio del verano, diciembre y enero, posiblemente asociado a un incremento en la actividad de los adultos reproductores en esa época. Cabe destacar el gran número de capturas que se producen de Cachudito en los meses más crudos del invierno (Fig. 4.2.7.3.7), que podrían reflejar la presencia de algunos individuos que se desplazan desde otras zonas hasta el HRC. Por último, es interesante el patrón del Chirihue, que aparece únicamente en las capturas entre agosto y febrero, desapareciendo

completamente a partir de entonces. Aunque no es una especie migratoria (Couve *et al.,* 2017), estos resultados probablemente reflejan desplazamientos estacionales hacia otros hábitats durante el invierno.

Abundancia temporal relativa

Como cabría esperar en una comunidad formada por animales con elevada capacidad de desplazamiento incluyendo además algunas especies migratorias, la abundancia relativa de aves asociadas a pajonales y vegetación pionera de ribera presenta marcadas variaciones intraanuales. Adicionalmente, los patrones periódicos de abundancia anual son diferentes en cada una de las zonas evaluadas (Fig. 4.2.7.3.8). Sin embargo, aunque muestra ciertas variaciones interanuales, especialmente en SM, no se observa ninguna tendencia general durante el período evaluado (nov 2015 – dic 2019).

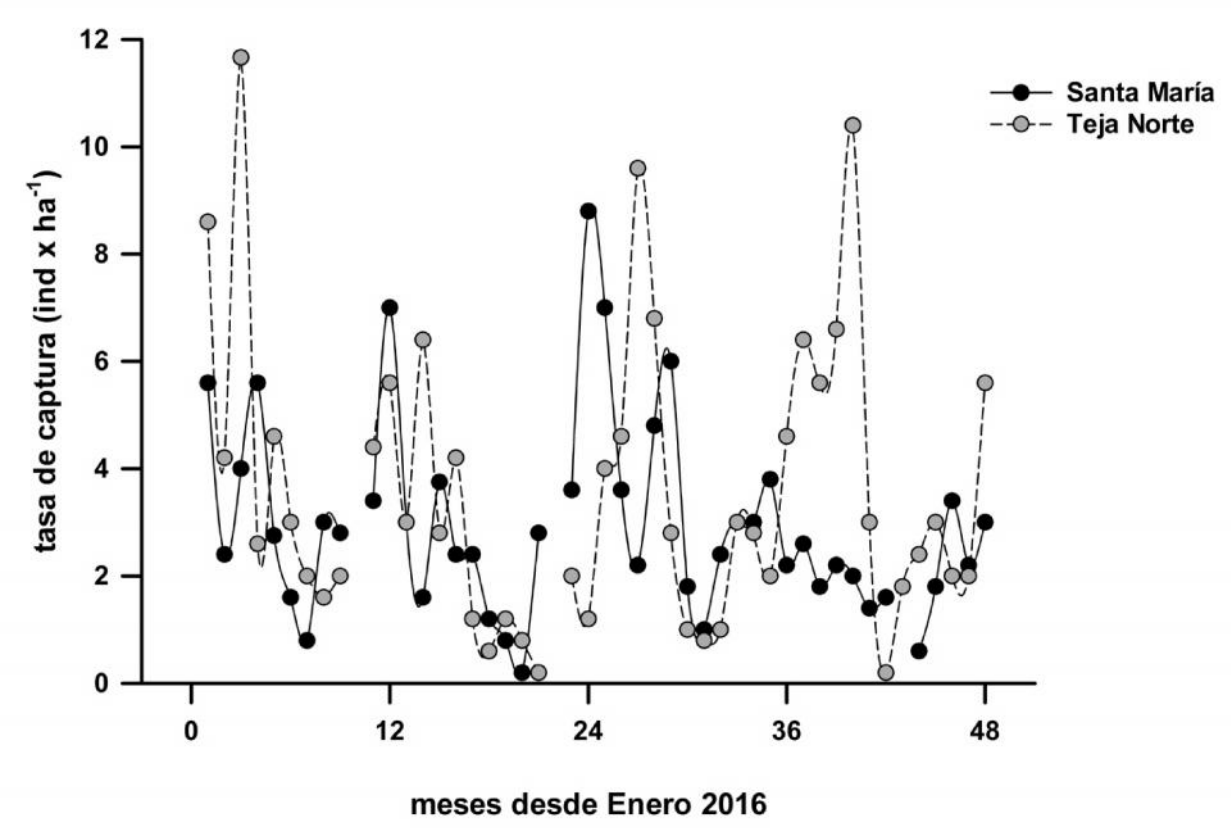


Figura 4.2.7.3.8. Evolución de la tasa de captura (aves por hora) en Teja Norte (TN) y Santa María (SM) durante los muestreos realizados en el período 2016-2019 (ver texto para detalles específicos).

Diversidad

Por su parte el índice de biodiversidad de Shannon-Wiener (H´) basado en las abundancias relativas de las distintas especies de aves paseriformes osciló entre 0.73 y 2.15, y fue significativamente mayor en SM que en TN (Student t = 3.076; p < 0.03) a lo largo de todo el ciclo anual (Fig. 4.2.7.3.9).

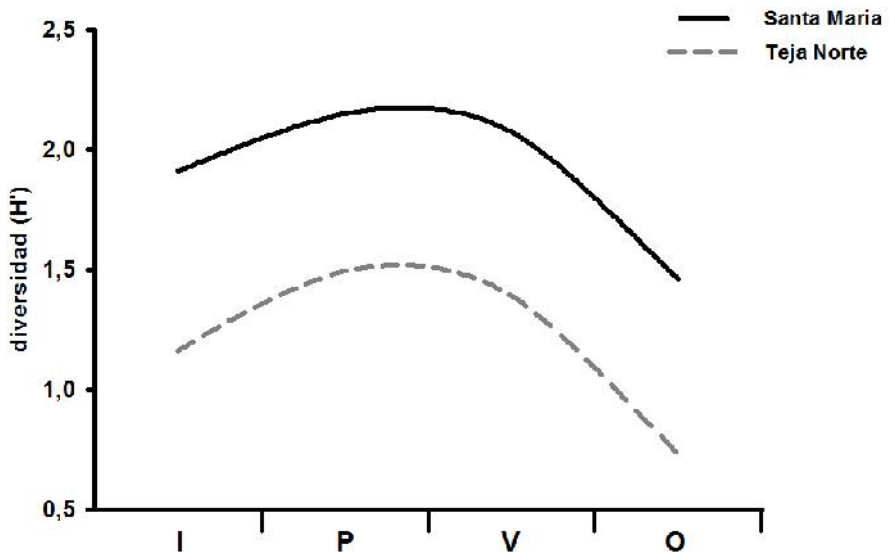


Figura 4.2.7.3.9. Evolución estacional de la diversidad asociada a las comunidades de aves paseriformes en dos áreas del HRC durante muestreos realizados en el período noviembre 2015 – diciembre 2019 (ver texto para detalles específicos).

La variación estacional en la diversidad fue similar en ambas zonas, siendo mínima en otoño, aumentando en invierno y manteniéndose básicamente constante durante el resto del año. Esta variación estacional de la riqueza y la biodiversidad está relacionada con el patrón fenológico de las distintas especies (Fig. 4.2.7.3.7). En otoño, los desplazamientos migratorios generan un recambio en la composición de las comunidades de aves en los pajonales del HRC. Desaparecen algunas especies migratorias que llegan únicamente a reproducirse en verano y a su vez aumenta ostensiblemente el número de individuos de la especie más abundante en el sistema, lo que produce una disminución generalizada en la diversidad asociada a la comunidad de aves paseriformes en el HRC.

Condición corporal

A pesar de que el pequeño tamaño de las especies modelo impide en muchos casos extraer la cantidad mínima necesaria para la cuantificación de los metabolitos con la metodología analítica disponible, se analizaron 32 muestras de sangre de diferentes especies, 9 en TN y 23 en SM. Aunque el tamaño muestral fue escaso, *a priori* las aves que habitan los pajonales y vegetación de ribera del HRC presentan niveles de metabolitos plasmáticos en rangos de variación similares a los obtenidos en otros estudios con especies de hábitats similares en otras regiones (*e.g.*, Wagner *et al.,* 2014). Para el Fío-fío la única especie para la que se pueden realizar comparaciones específicas (N=12), las diferencias observadas entre ambas zonas son muy similares a las registradas para el conjunto de especies. En particular para β-OH Butirato (BHB), estas diferencias entre zonas fueron marginalmente significativas en esta especie ($F = 4.07$; $P = 0.07$), y no estuvieron relacionadas con la época de captura.

Aunque las diferencias no son estadísticamente significativas, los mayores niveles de BHB en el área de SM podrían estar indicando que las aves estarían sometidas a períodos más frecuentes de ayuno que en TN en los días previos a las capturas. Por su parte, los mayores niveles de Fructosamina en TN estarían abundando en esta relación, indicando en general una mejor alimentación de estas aves en una ventana temporal más larga. Ambos parámetros sugieren, por tanto, que la funcionalidad de ambas zonas para el Fío-fío, y quizás para otras especies, puede ser diferente. Una posible explicación podría ser que TN sea un área principalmente de alimentación para el Fío-fío y SM un área de reproducción, donde los individuos capturados estén sometidos a períodos frecuentes de ayuno relacionados con la incubación y alimentación más limitada durante la alimentación de los pollos. Para otras especies es necesario continuar con la toma de muestras para poder obtener un número suficiente como para poder realizar estas comparaciones. De cualquier modo, los resultados obtenidos hasta ahora permiten establecer ya los valores promedio y rangos de variación de estos tres metabolitos para una especie representativa del humedal

que realiza migraciones de media distancia, conectando el HRC con otras zonas de Sudamérica, probablemente la cuenca del Amazonas (Jiménez et al., 2016).

Por otra parte, para la especie más abundante en ambas áreas del HRC y, por lo tanto, potencialmente utilizable como indicador de la calidad del hábitat, se ha realizado un esfuerzo específico adicional para evaluar su condición corporal aparente. Dado que su pequeño tamaño (5-9 g) impide extraer la cantidad de sangre necesaria para analizar los metabolitos plasmáticos con los medios analíticos que están a disposición a día de hoy en el laboratorio de referencia, se ha calculado el Índice Escalado de Masa Corporal (en adelante SMI; Peig & Green, 2010) para explorar potenciales diferencias entre ambas zonas del HRC.

Tal y como apuntaban los análisis preliminares realizados con una submuestra de individuos adultos (Valle, 2018), los resultados finales obtenidos analizando tanto aves adultas (n = 494) como individuos juveniles (n = 121) indican que existen diferencias significativas entre ambas zonas en la condición corporal de la especie más abundante (ANOVA $F = 7.61$; $p < 0.01$), siendo mayor en TN (Fig. 4.2.7.3.10).

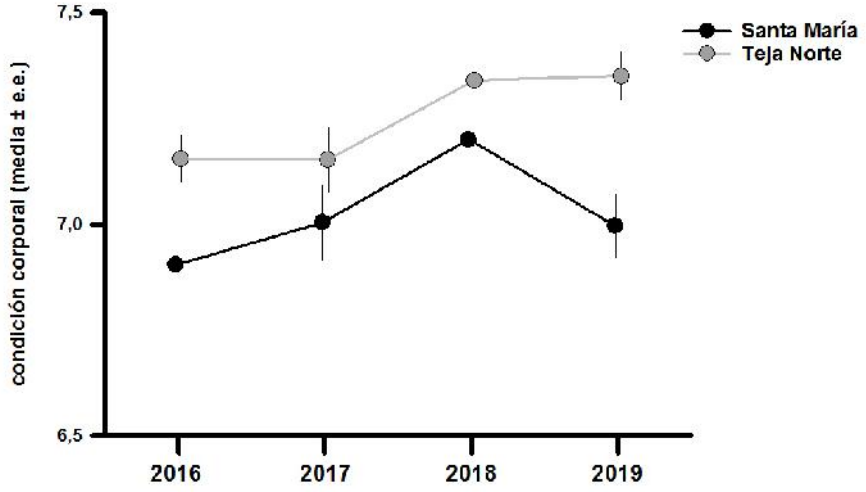


Figura 4.2.7.3.10. Condición corporal individual de Siete Colores en Teja Norte (TN) y Santa María (SM) durante el período 2016-2019 (ver texto para detalles específicos).

Sin embargo, juveniles y adultos muestran una condición corporal similar ($F = 0.16$; $p = 0.70$) y, a pesar de las variaciones interanuales, no se registran diferencias significativas entre años durante el período de estudio ($F = 2.18$; $p = 0.09$). Además, ninguna de las interacciones entre estos tres factores resulta significativa. Todo esto indica que las características específicas del hábitat en Teja Norte le confieren mayor calidad relativa para la especie más abundante en el HRC.

Supervivencia aparente

Se registraron un total de 234 recapturas correspondientes a 156 individuos de nueve especies. Teniendo en cuenta que se han capturado y marcado un total de 1260 individuos de 22 especies, la tasa de recaptura general es de 0.12, siendo dos puntos más alta si se consideran únicamente los individuos de las nueve especies que tienen al menos una recaptura. En general se registró un mayor porcentaje de recapturas en SM que en TN para casi todas las especies (Tabla 4.2.7.3.3).

Tabla 4.2.7.3.3. Individuos recapturados por especie (%) en dos áreas del HRC durante muestreos realizados en el período noviembre 2015 – diciembre 2019 (ver texto para detalles específicos).

Especies	Santa María	Teja Norte
Cachudito	0.27	0.20
Chercán	0.09	0.00
Chercán de las vegas	0.25	0.19
Chirihue	0.02	0.00
Colilarga	0.21	0.31
Fío-fío	0.14	0.10
Siete colores	0.21	0.13
Trabajadir	0.20	0.04
Viudita	0.00	0.33
TOTAL	**0.13**	**0.12**

Para las especies más representadas en la muestra, esto es, las más abundantes en el sistema (Arizaga *et al.,* 2011), la tasa de recaptura en SM es superior que en TN, mientras que las especies menos representadas aparecen con una mayor tasa de recaptura en TN.

De forma general destaca la alta tasa de recaptura (>20%) para varias especies residentes en el HRC, que además son las únicas para las que algunos individuos se han recapturado en varias temporadas sucesivas a lo largo de estos cuatro ciclos anuales completos. Estos resultados estarían indicando una elevada territorialidad de los individuos de estas especies en las zonas muestreadas, similar a lo reportado en otros humedales australes (Lara *et al.,* 2011). Esta elevada tasa de recaptura permitirá realizar estimas de supervivencia adulta aparente (Ø = método de captura-marcaje-recaptura; *cf.* Thomson *et al.,* 2009) para cada especie una vez controlada su probabilidad de recaptura anual.

En base a las recapturas obtenidas en diferentes temporadas, la probabilidad de recaptura anual, esto es, la probabilidad de que un individuo que haya sobrevivido de una temporada a la siguiente sea recapturado en el sistema de estudio, para el Fío-fío, Siete colores y Cachudito es aparentemente menor del 30%. Por lo tanto, la tasa de supervivencia anual sería mucho mayor que la tasa de recaptura anual estimada, 0.14 en SM y 0.21 en TN (Tabla 4.2.7.2.4). No obstante, estos resultados deben ser tomados con cautela hasta poder modelar adecuadamente la supervivencia analizando más temporadas consecutivas (Thomson *et al.,* 2009).

Tabla 4.2.7.3.4. Tasa de recaptura anual (promedio±DT) de las cuatro especies más abundantes en dos áreas del HRC durante muestreos realizados en el período noviembre 2015 – diciembre 2019 (ver texto para detalles específicos).

Especies	Santa María	Teja Norte
Cachudito	0.16 ± 0.18	0.14 ± 0.14
Colilarga	0.20 ± 0.35	0.62 ± 0.40
Siete colores	0.08 ± 0.36	0.09 ± 0.07
Fío-fío	0.09 ± 0.08	-

A modo de ejemplo, de los 9 Fío-fíos capturados y marcados en la primera temporada de muestreo (2015-2016; primera cohorte) en SM, únicamente se recapturó uno de ellos en la segunda temporada (2016-2017). Sin embargo, en la tercera temporada (2017-2018) se recapturó uno de esos individuos marcados de la primera cohorte.

Asimismo, ni un solo de los Fío-fíos capturados en TN fue recapturado la temporada subsiguiente. Sin embargo, varios fueron recapturados a lo largo del monitoreo. Con la información de las recapturas que se sigan obteniendo en próximas temporadas para el Fío-fío (abril), se tendrá una primera estima de la probabilidad de recaptura de la primera cohorte para poder empezar así a estimar la supervivencia anual aparente. Siguiendo la misma aproximación, con la información de la tasa de recaptura de las diferentes cohortes y su probabilidad de recaptura se tendrá finalmente la tasa de supervivencia anual aparente para las especies más abundantes en las capturas (**).

(**) A fecha de entrega del informe final se está terminando de analizar la información y modelando la supervivencia anual aparente del Siete Colores en ambas zonas de estudio.

4.2.7.3.5. Discusión general

Este Programa de Monitoreo ha permitido obtener información básica de referencia por primera vez en Chile sobre la estructura de los ensambles, las variaciones en las abundancias relativas a lo largo del ciclo anual y la calidad del hábitat para diferentes especies de aves palustres que habitan un humedal austral tipo estuarial. Hasta la fecha, únicamente existe un estudio publicado sobre la biología de una de estas especies en humedales chilenos (Lara *et al.,* 2011), por lo que la contribución realizada al conocimiento general de la biodiversidad a escala país es muy relevante.

En este sentido, las aves palustres presentan una elevada diversidad funcional: distintas especies están involucradas en diferentes procesos dentro del humedal, por lo que pueden responder a diferentes variaciones en la calidad del hábitat (Cadotte *et al.,* 2011). Esto es principalmente debido a que son especies móviles, de vida corta, consumidores secundarios que utilizan diferentes recursos tróficos y presentan fuertes variaciones poblacionales relacionadas con las estaciones (fenología), además de fluctuaciones

interanuales relacionadas con la disponibilidad de alimento y la climatología. Adicionalmente en los pajonales habitan especies residentes y migratorias, que desaparecen en ciertos períodos del año.

Por ello, en comparación con otros métodos, los monitoreos utilizando redes de niebla en humedales son los que permiten evaluar con mayor precisión las tendencias poblacionales a largo plazo a través de índices de abundancia relativa en las capturas (Peach *et al.,* 1998; Osenkowski *et al.,* 2012). Simultáneamente, según se van completando años continuados de monitoreo, el método de captura-recaptura permite estimar con elevada precisión (i) la productividad anual de las especies más abundantes, esto es, cómo ha resultado la temporada reproductiva; (ii) la condición corporal individual; y (iii) la supervivencia aparente de los individuos en una población; parámetros esenciales para evaluar la eficacia biológica (fitness) en poblaciones animales.

En este contexto, el estudio a largo plazo de las poblaciones de aves de pajonales, es crucial para poder separar los efectos potenciales de las actividades humanas de variaciones naturales asociadas a climatología o disponibilidad de recursos en el HRC, entre otros. Por ejemplo, periódicamente existen años en los que las abundancias de aves son muy bajas debido a los efectos de las oscilaciones climáticas globales, como el 'Northern Oscillation Index' o 'El Niño Southern Oscillation', que pueden ser detectadas básicamente con estos programas con esfuerzo constante a largo plazo (Ballard *et al.,* 2003). Adicionalmente, las aves palustres son elementos funcionales clave que proveen diferentes servicios ecosistémicos (Sekercioglu, 2006) en los humedales.

Adicionalmente, el Programa de Monitoreo ha permitido establecer cuál es la productividad anual a escala poblacional de la Garza cuca una especie carnívora (ictiófaga) que se produce en el HRC, así como un valor de densidad promedio de la Becasina común, otra especie carnívora (invertebrados) en un pastizal de orilla, a lo largo de varios ciclos anuales consecutivos. Tanto la productividad actual de las colonias de garzas como la

densidad de becasinas pueden ser utilizadas como indicadores de calidad del estado del humedal durante el período (2015-2019) en futuras evaluaciones.

4.2.7.3.6. Conclusiones

• La productividad general de las dos colonias de Garza cuca *Ardea cocoi* monitoreadas durante tres temporadas (en promedio unos 40 nidos por temporada) fue de 1.6 pollos volantones por cada pareja que inició la reproducción. Se registraron ciertas variaciones (marginalmente significativas) en el éxito reproductivo entre colonias y años.

• Las zonas de praderas inundables albergan durante todo el año poblaciones de la Becasina común *Gallinago magellanica*. En el sector de muestreo, la densidad promedio es 1.6 becasinas por hectárea, con variaciones muy notables que no parecen estar relacionadas con la pluviosidad acumulada. En determinados períodos el sector monitoreado podría albergar casi 100 becasinas. Se ha certificado la reproducción regular de esta especie en la zona seleccionada para el Programa de Monitoreo en el HRC.

• La estructura del ensamble de la comunidad de aves Passeriformes del humedal, es en general diversa y se asocia al grado de heterogeneidad de la vegetación emergente, presentando a lo largo del ciclo anual una mayor diversidad en Santa María. Dentro de cada sector, se registraron oscilaciones estacionales regulares derivadas de la fenología de las diferentes especies, sin grandes variaciones interanuales de muestreo, incluyendo a las especies migratorias.

• El Siete colores *Tachuris rubrigastra* es sin duda la especie dominante en estos hábitats, estando el ensamble comunitario compuesto durante el ciclo anual por 10 especies regulares (*i.e.* estructurales) y otras 12 que aparecen de forma irregular (*i.e.* acompañantes). Aparentemente la especie más abundante parece agruparse y realizar desplazamientos postreproductivos.

• Hasta el final de este Programa de Monitoreo, se habían recapturado el 12% de los individuos marcados en ambas zonas del HRC (la mayoría perteneciente a cuatro

especies estructurales), siendo el porcentaje de recapturas muy similar en todas las temporadas. La probabilidad de recaptura es aparentemente menor al 30%. El continuar con monitoreos similares a este, permitiría ajustar parámetros de abundancia y recaptura para estimar la tasa de supervivencia anual de especies de aves Passeriformes que habitan las riberas del HRC (incluyendo residentes y migratorias).

• Se ha estimado la condición corporal aparente de las dos especies más abundantes en el ensamble (Siete colores y Fío-fío), registrándose valores más altos en Teja Norte. Estas diferencias apoyan la adecuada selección de ambas zonas de muestreo en el HRC para la evaluación de la calidad de los pajonales para la comunidad de aves palustres.

4.2.7.3.7. Referencias

Arizaga J, Deán JI, Vilches A, Alonso D, Mendiburu A (2011) Monitoring communities of small birds: a comparison between mist-netting and counting. Bird Study 58(3):291-301

Cadotte MW, Carscadden K, Mirotchnick N (2011) Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. Journal of Applied Ecology 48(5):1079-1087

Carroll JM, Krementz DG (2014) Density and abundance of Wilson's snipe *Gallinago delicata* in winter in the Lower Mississippi Flyway, USA. Wildlife Biology 20(2):108-114

Cline BB, Haig SM (2011) Seasonal movement, residency, and migratory patterns of Wilson's snipe (*Gallinago delicata*). The Auk 128(3):543-555

Couvé E, Vidal CF, Ruiz J (2016) Aves de Chile, sus Islas Oceánicas y Península Antártica: Una Guía de Campo Ilustrada. Fantástico Sur, Punta Arenas

González-Acuña D, Figueroa RA, González A, Barrientos C, Ardiles K, Moreno L (2008) Biología reproductiva de la Garza Cuca (*Ardea cocoi*) en el centro-sur de Chile. Ornitología Neotropical 19:485-493

Jiménez JE, Jahn AE, Rozzi R, Seavy NE (2016) First documented migration of individual White-crested Elaenias (*Elaenia albiceps chilensis*) in South America. The Wilson Journal of Ornithology 128(2):419-425

Lagos NA, Paolini P, Jaramillo E, Lovengree C, Duarte C, Contreras H (2008) Environmental processes, water quality degradation, and decline of waterbird populations in the río Cruces wetland, Chile. Wetlands 28(4):938-950

Lara J, Barrientos C, Ardiles K, Moreno L, Figueroa RA, González-Acuña D (2011) Biología reproductiva del trabajador (*Phleocryptes melanops*) en el centro-sur de Chile. Ornitología Neotropical 22:121-130

Marion L (1979) La croissance corporelle du heron cendre (*Ardea cinerea*) du Bretagne. Approche de la signification ecologique. L'Oiseau et la Revue Française d'Ornithologie 49:1-30

McFadden TN, Biscarra G, Ruiz J, Navedo JG (2019) Recommended band sizes and a novel technique for sexing immature green-backed firecrown hummingbirds (*Sephanoides sephaniodes*). Ornitologia Neotropical 30:179-184

Miller EH, Areta JI, Jaramillo A, Imberti S, Matus R (2020) Snipe taxonomy based on vocal and non-vocal sound displays: the South American Snipe is two species. Ibis 162(3):968-990. https://doi.org/10.1111/ibi.12795

Navedo JG, Hahn S, Parejo M, Abad-Gómez JM, Gutiérrez JS, Villegas A, Sánchez-Guzmán JM, Masero JA (2015) Unravelling trophic subsidies of agroecosystems for biodiversity conservation: food consumption and nutrient recycling by waterbirds in Mediterranean rice fields. Science of the Total Environment 511:288-297

Osenkowski JE, Paton PW, Kraus D (2012) Using long-term constant-effort banding data to monitor population trends of migratory birds: a 33-year assessment of adjacent coastal stations. The Condor 114(3):470-481

Peach WJ, Baillie SR, Balmer DE (1998) Long-term changes in the abundance of passerines in Britain and Ireland as measured by constant effort mist-netting. Bird Study 45(3):257-275

Peig J, Green AJ (2010) The paradigm of body condition: a critical reappraisal of current methods based on mass and length. Functional Ecology 24(6):1323-1332

Pretelli MG, Josens ML, Escalante AH (2012) Breeding biology at a mixed-species colony of great egret and cocoi heron in a pampas wetland of Argentina. Waterbirds 35(1):35-43

San Martín C, Medina R, Ojeda P, Ramírez C (1993) La biodiversidad vegetacional del Santuario de la Naturaleza "Río Cruces" (Valdivia, Chile). Acta Botánica Malacitana 18:259-279

Schlatter RP, Navarro RA, Corti P (2002) Effects of El Niño southern oscillation on numbers of black-necked swans at Río Cruces Sanctuary, Chile. Waterbirds 25:114-122

Sekercioglu CH (2006) Increasing awareness of avian ecological function. Trends in Ecology and Evolution 21(8):464-471

Silva CP, Sepúlveda R, Barbosa O (2016) Nonrandom filtering effect on birds: species and guilds response to urbanization. Ecology and Evolution 6(11):3711-3720

Tellería JL (1986) Manual para el censo de los vertebrados terrestres. Raíces, Madrid

Thomson DL, Cooch EG, Conroy MJ (2008) Modeling demographic processes in marked populations. Springer, New York

Valle C (2018) Estructura de las comunidades de aves Passeriformes y calidad del hábitat en el Humedal del Río Cruces. Trabajo de Fin de Grado en Biología – Mención Biodiversidad. Universidad Austral de Chile/Universitat de Barcelona

Van Gils J, Wiersma P, Kirwan GM (2020) South American Snipe (*Gallinago paraguaiae*). In: Del Hoyo, J, Elliott A, Sargatal J, Christie DA,.de Juana EE (eds) Handbook of the Birds of the World Alive. Lynx, Barcelona

Vergara PM, Marquet PA (2007) On the seasonal effect of landscape structure on a bird species: the thorn-tailed rayadito in a relict forest in northern Chile. Landscape Ecology 22(7):1059-1071

Victoriano PF, González AL, Schlatter R (2006) Estado de conocimiento de las aves de aguas continentales de Chile. Gayana 70(1):140-162

Wagner DN, Green DJ, Pavlik M, Cooper J, Williams TD (2014) Physiological assessment of the effects of changing water levels associated with reservoir management on fattening rates of Neotropical migrants at a stopover site. Conservation Physiology 2(1):10.1093/conphys/cou017

Ward JV (1998) Riverine landscapes: Biodiversity patterns, disturbance regimes, and aquatic conservation. Biological Conservation 83(3):269-278

4.2.8. MAMÍFEROS ACUÁTICOS

4.2.8.1. Antecedentes

La presencia o ausencia de mamíferos acuáticos en humedales, ha sido utilizada para describir el estado de salud ambiental de estos ecosistemas acuáticos; es decir, estos vertebrados pueden ser utilizados como bioindicadores de calidad ambiental, como es el caso del Huillín en las riberas del humedal del río Cruces (Oporto, 2006, 2009). Por otra parte, mamíferos acuáticos como el Coipo han sido mencionados como controladores de la composición vegetacional en humedales, reduciendo la propagación de plantas acuáticas emergentes y/o natantes (Crooks, 2002; Carter & Leonard, 2002; Guichón, 2003). En lo que compete a la presencia de especies invasoras en humedales chilenos - como es el caso del Visón - esta afectaría negativamente a las poblaciones de especies nativas a tal punto que tales especies son consideradas como causa relevante de extinciones de especies después de la pérdida de hábitat (Wilcove *et al.*, 1998; Crego & Jiménez, 2013), lo que pone en riesgo la conservación de la biodiversidad local.

En este Capítulo se entrega información obtenida de censos realizados a lo largo de las riberas del (HRC) y en parte de los ríos Calle Calle y Valdivia, durante el quinto año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2019 - abril 2020). También se comparan estos resultados con los resultados obtenidos durante los cuatro primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2015 - marzo 2019) y durante el Programa de Diagnóstico Ambiental ya ejecutado en el mismo humedal.

4.2.8.2. Objetivos

- Evaluar la presencia de coipos (*Myocastor coypus*), huillines (*Lontra provocax*) y visones (*Neovison vison*), en las riberas del HRC y partes de los ríos Calle Calle y Valdivia, durante el quinto año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2019 - abril 2020). Comparar los resultados obtenidos durante el quinto año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, con los de los cuatro primeros años de

este programa (abril 2015 - marzo 2019) y con los del Programa de Diagnóstico Ambiental realizado en el mismo humedal (abril 2014 - marzo 2015).

4.2.8.3. Material y métodos

La Tabla 4.2.8.1 muestra las fechas en la cual se realizaron las salidas a terreno para el eventual avistamiento de coipos, huillines y visones en las riberas del área de estudio (Fig.4.2.8.1 y Tabla 1 de ANEXO).

Tabla 4.2.8.1. Fechas de salidas a terreno efectuadas para eventuales avistamientos de coipos, huillines y visones durante el desarrollo del programa de Monitoreo y Diagnóstico Ambiental del HRC (*cf*. Tabla 1 de ANEXO).

año y Programa	período	períodos de avistamientos
Quinto año Monitoreo Ambiental	abril 2019 – abril 2020	06 - 08 mayo 2019
		25 - 27 junio 2019
		25 - 27 septiembre 2019
		10 - 12 diciembre 2019
		08 - 10 abril 2020
Cuarto año Monitoreo Ambiental	abril 2018 - marzo 2019	18 - 20 abril 2018
		17 - 19 julio 2018
		02 - 05 octubre 2018
		18 - 19 enero 2019
Tercer año Monitoreo Ambiental	abril 2017 - marzo 2018	09 - 11 mayo 2017
		04 - 06 julio 2017
		11 - 13 octubre 2017
		14 - 16 febrero 2018

Segundo año Monitoreo Ambiental	abril 2016 - marzo 2017	28 - 30 abril 2016 13 - 15 julio 2016 28 - 30 noviembre 2016 25 - 27 enero 2017
Primer año Monitoreo Ambiental	abril 2015 - marzo 2016	28 - 30 septiembre 2015 28 - 30 noviembre 2015 27 - 29 enero 2016
Diagnóstico Ambiental	abril 2014 - marzo 2015	15 - 17 enero 2015

La Figura 4.2.8.1 muestra los sectores de muestreo, para evaluar la eventual presencia de mamíferos acuáticos. En cada uno de los mismos, se revisaron polígonos ordenados visualmente a lo largo de las riberas y cuyas longitudes aproximadas fueron de 500 m. Los censos así realizados, permitieron realizar registros continuos de coipos, huillines y visones a lo largo de todas las riberas del área de estudio.

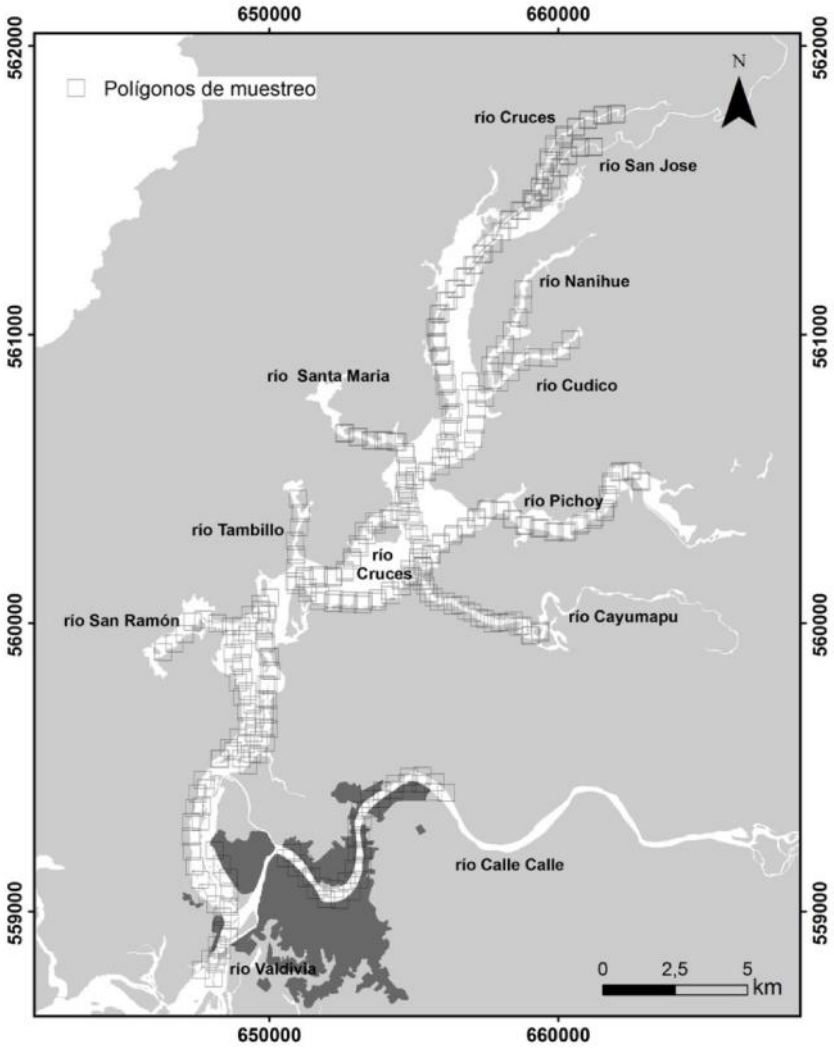


Figura 4.2.8.1. Distribución de polígonos de aproximadamente 500 m de longitud, destinados a evaluar la eventual presencia y distribución espacial de los mamíferos acuáticos en las riberas del área de estudio (ver Material y métodos).

Los puntos iniciales y finales de cada polígono fueron georeferenciados en coordenadas UTM (huso WGS-84) con un GPS (Global Position System) GARMIN 60CSx. Para estas actividades se utilizaron dos tipos de embarcaciones (ambas conducidas a una velocidad aproximada de 5-6 nudos): lancha de fibra de vidrio, modelo Robalo y con cabina para pasajeros, eslora de 7,7 m y motor Mariner de 50 HP, durante meses de otoño e invierno y bote de goma Zodiac, modelo Skua 490, eslora 4,9 m y motor Suzuki de 60 HP, durante meses de primavera y verano.

En complemento a las campañas destinadas específicamente al avistamiento de mamíferos acuáticos, se registró todo avistamiento directo de coipos, huillines y visones, así como también la actividad biológica de los mismos (*e.g.* huellas, madrigueras, fecas, comederos, etc.), en salidas a terreno destinadas a otros objetivos que no fueran los recorridos programados del Monitoreo Ambiental del HRC para el avistamiento de mamíferos acuáticos. Todos estos datos han sido incluidos en la Tabla 2 del ANEXO de este Capítulo.

4.2.8.4. Resultados

La Figura 4.2.8.2, muestra el número de avistamientos directos de mamíferos acuáticos durante el desarrollo de la totalidad de recorridos realizados durante el transcurso del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (ver también Tabla 1 del ANEXO).

Durante todas las campañas del quinto año del Programa de Monitoreo, se observaron coipos y solo durante la campaña de septiembre 2019 se registró de modo simultáneo, la presencia de las tres especies objeto de estudio (cuatro Coipos, un Visón y un Huillín) (Fig. 4.2.8.2). Durante las campañas correspondientes al quinto año del Programa de Monitoreo, junio fue el mes donde se registró el mayor número de coipos (13 individuos), situación similar a la observada durante el año 2018 en el mismo mes (11 individuos) (Fig. 4.2.8.2). Los datos recopilados durante este estudio, muestran un aumento progresivo en las abundancias de esta especie a través del tiempo; por el contrario, el número de avistamientos de huillines y visones se mantiene relativamente estable y de modo esporádico, especialmente para el caso del Huillín (Fig. 4.2.8.2).

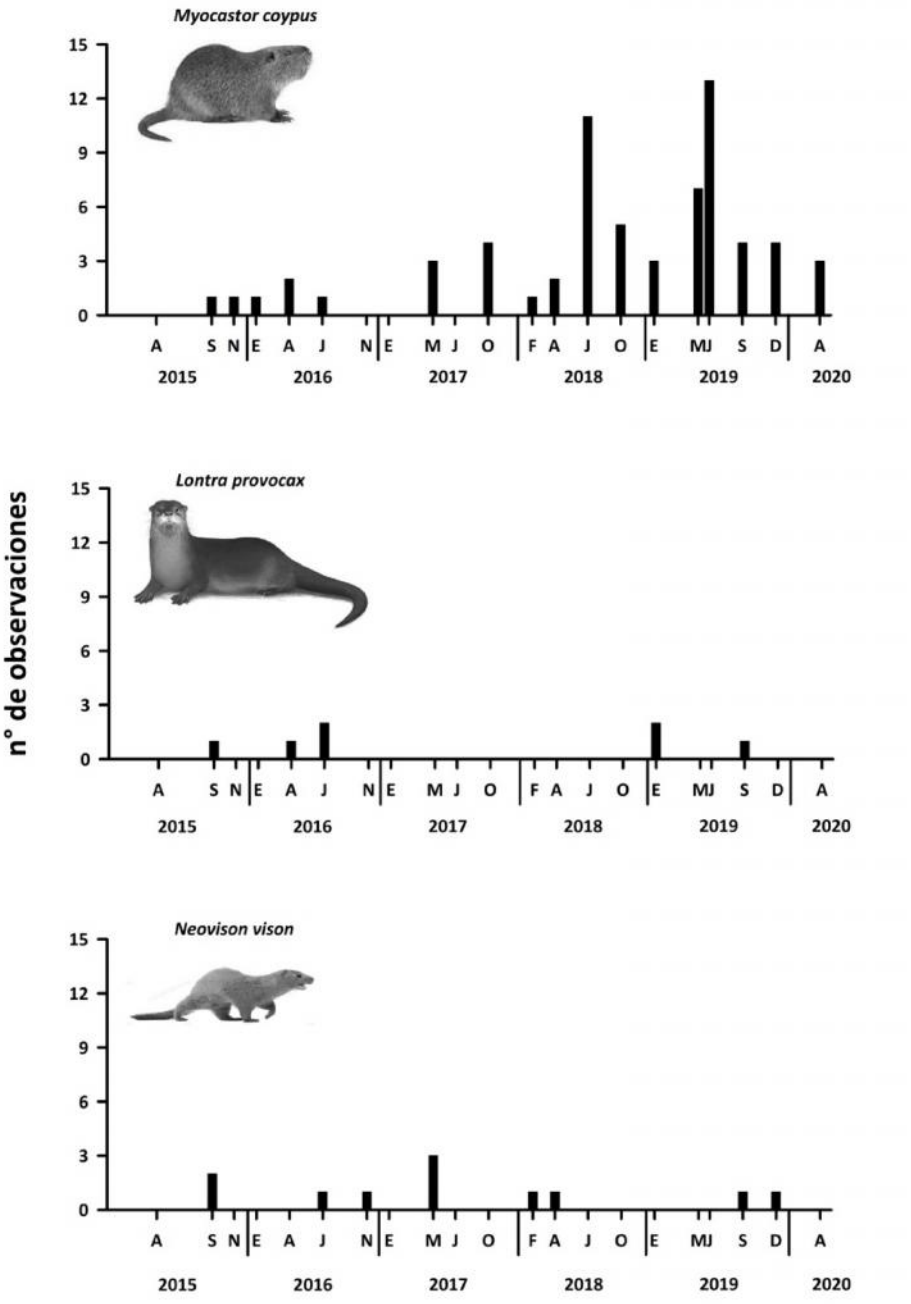


Figura 4.2.8.2. Número de avistamientos de Coipo (*Myocastor coypus*), Huillín (*Lontra provocax*) y Visón (*Neovison vison*), realizados durante los recorridos planificados como parte de las actividades del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC y destinadas al eventual avistamiento de estos mamíferos acuáticos.

Las Figuras 4.2.8.3 a 4.2.8.5 muestran los avistamientos de mamíferos acuáticos en el área de estudio durante el período de estudio. Entre abril 2015 y octubre 2017, la mayor parte de las observaciones de coipos ocurrieron en el sector medio del HRC (alrededor de Isla Rialejo), a la vez que durante los años 2018 y 2019 la distribución aumento hacia el norte y sur de este sector (Fig. 4.2.8.3). Los avistamientos de huillines y visones tuvieron menor frecuencia que los de coipos: los primeros ocurrieron en ríos tributarios y en el canal mareal Cau Cau (Fig. 4.2.8.4), a la vez que los segundos en la porción superior del eje central del HRC, ríos tributarios y canal mareal Cau Cau (Fig. 4.2.8.4).

La frecuencia de avistamientos de coipos, huillines y visones en recorridos realizados para actividades aparte de las consideradas para el estudio de la presencia de mamíferos acuáticos en el HRC, muestra que durante el cuarto y quinto año del Programa de Monitoreo ocurrió un aumento notorio en la frecuencia de avistamientos de coipos, en relación a lo observado durante los tres primeros años del programa (ver Tabla 2 de ANEXO).

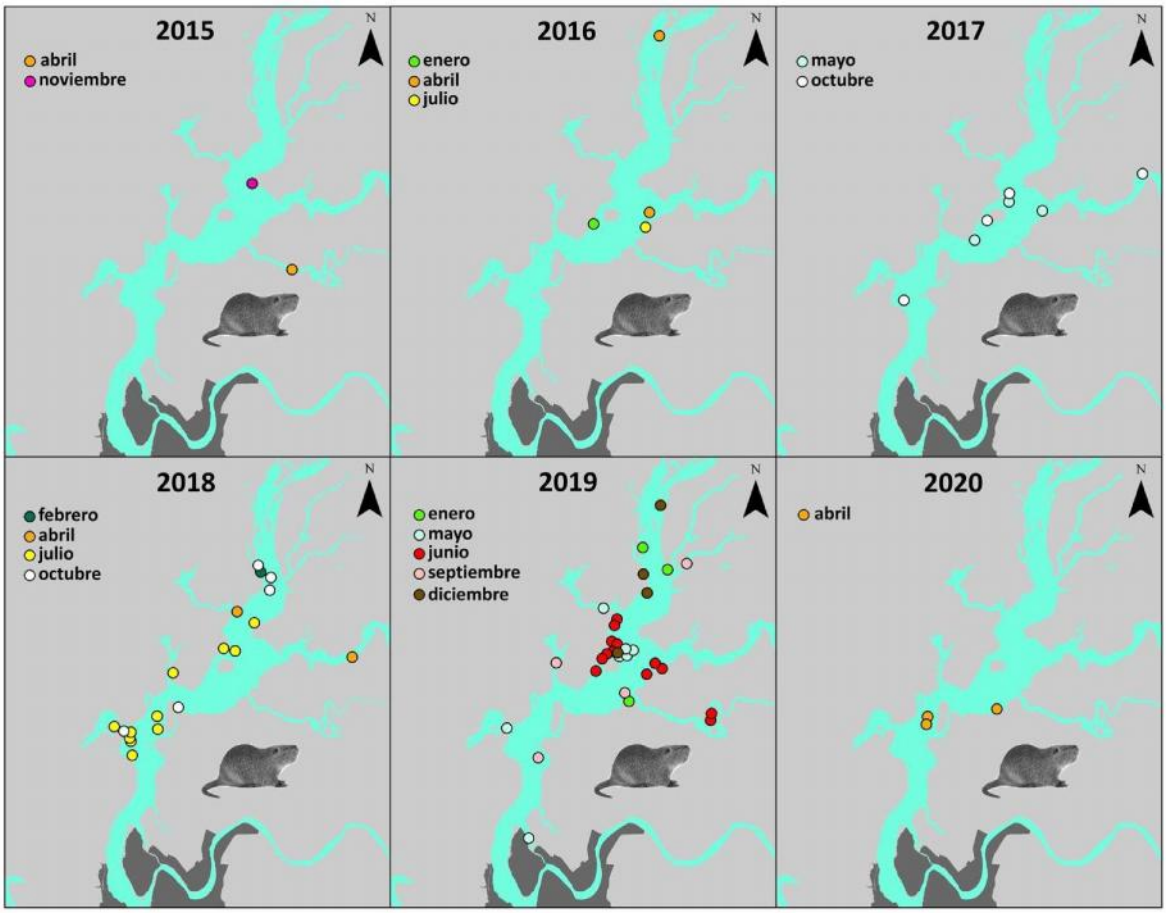


Figura 4.2.8.3. Variabilidad espacio- temporal del Coipo (*Myocastor coypus*), en base a los avistamientos de los cinco años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC. Solo se indican los meses donde se detectó la presencia de esta especie.

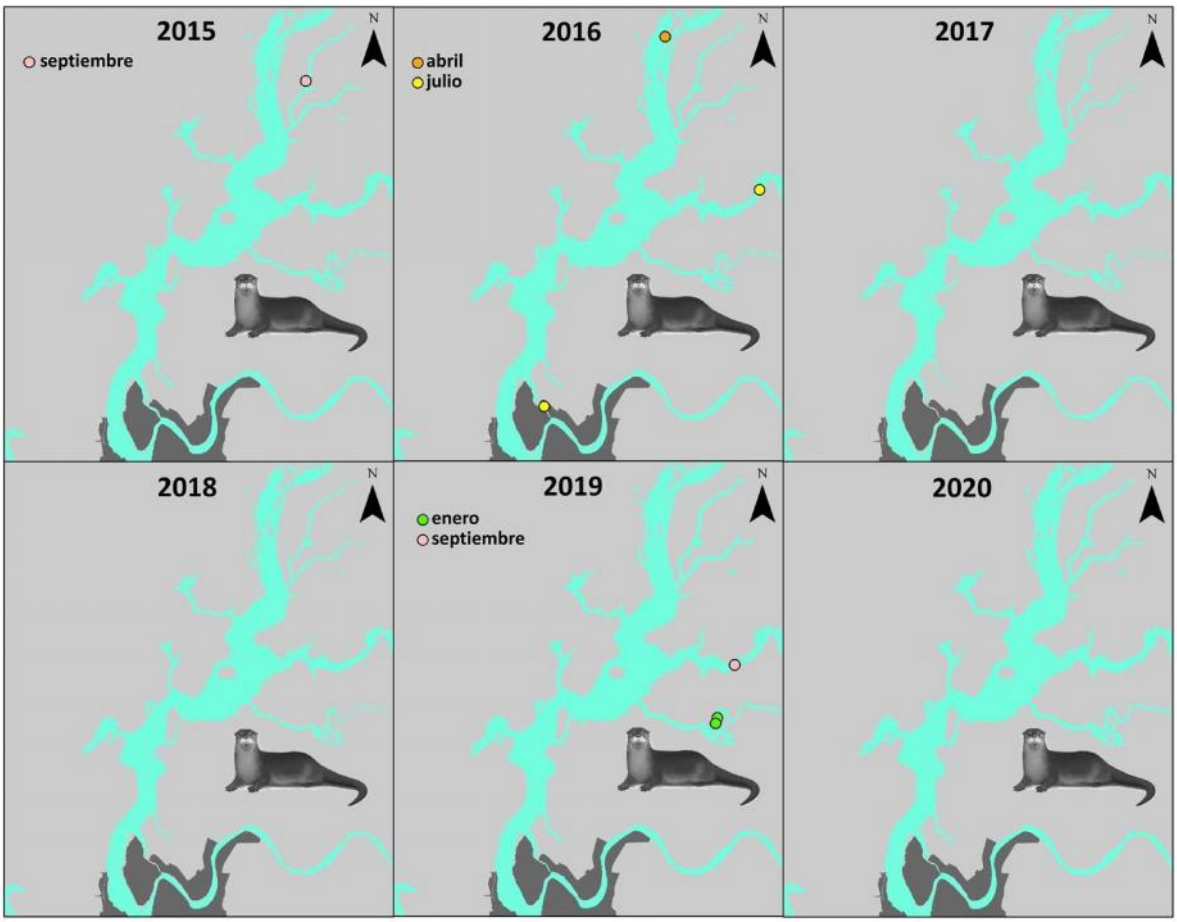


Figura 4.2.8.4. Variabilidad espacio- temporal del Huillín (*Lontra provocax*), en base a los avistamientos de los cinco años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC. Solo se indican los meses donde se detectó la presencia de esta especie.

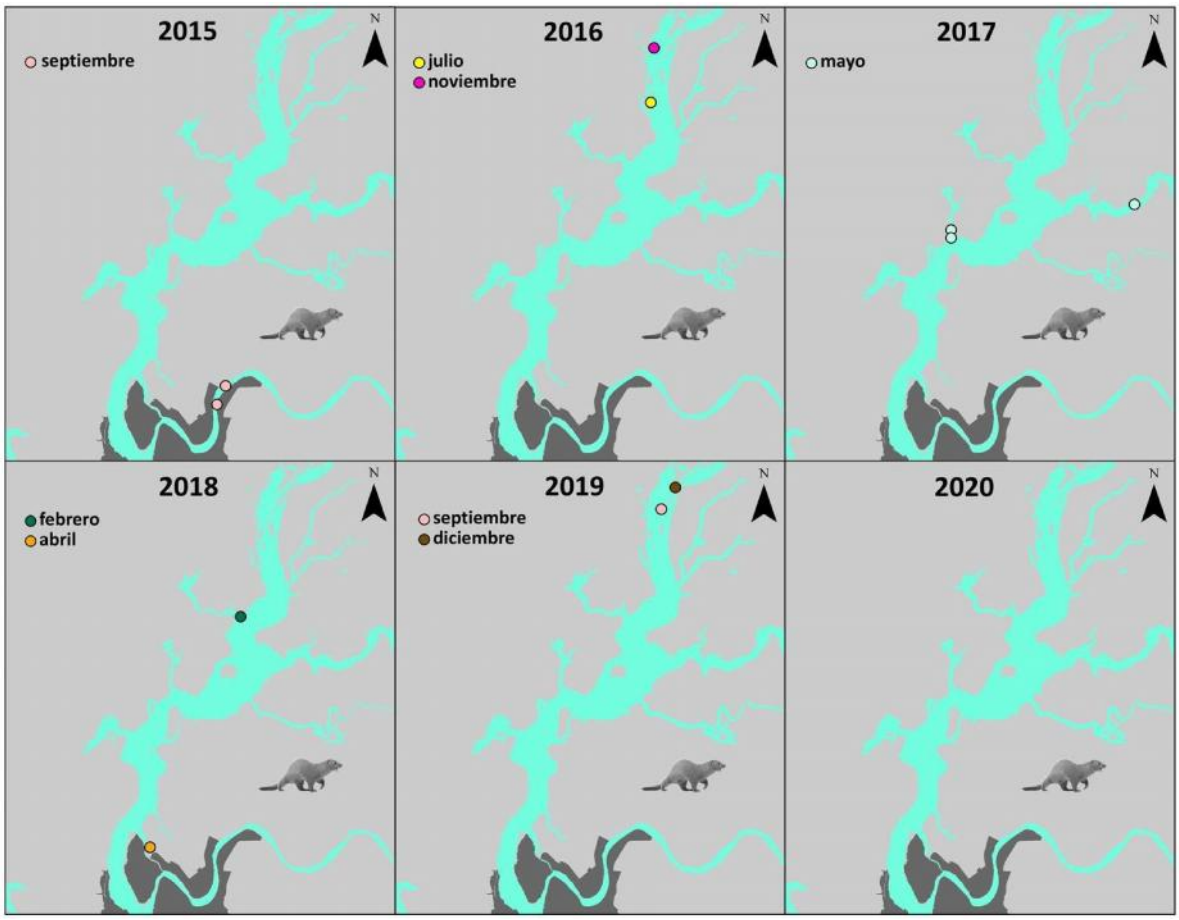


Figura 4.2.8.5. Variabilidad espacio- temporal de Visón (*Neovison vison*), en base a los avistamientos de los cinco años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC. Solo se indican los meses donde se detectó la presencia de esta especie.

4.2.8.5. Conclusiones

- La mayor parte de los avistamientos exitosos de coipos ha sido en la parte media y superior del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios; *i.e.*, aguas arriba del sector Punucapa.
- Las observaciones de huillines se han registrado principalmente en los ríos tributarios y fuera del HRC (canal mareal Cau Cau).
- En contraste a lo anterior, los avistamientos exitosos de visones - aun cuando escasos - cubren un mayor rango geográfico que los de coipos y huillines; (*i.e.,* se ha observado a esta especie en la porción superior y media del HRC), en un río tributario del mismo (*i.e*., río Pichoy) y fuera del humedal *(i.e.,* canal mareal Cau Cau y río Calle - Calle).
- Destaca la frecuencia de avistamientos no exitosos de mamíferos acuáticos durante los meses de verano, situación que puede estar relacionada a la expansión que ocurre hacia el interior del humedal durante el período estival por parte de las actividades turísticas. En contraste a esto, durante los meses de junio y julio la frecuencia de observaciones de mamíferos -particularmente de coipos - ha sido mayor. Los estudios hasta ahora realizados sobre la dinámica ambiental del humedal, no permiten elaborar una hipótesis plausible a lo mencionado en el párrafo anterior.

4.2.8.6. Referencias

Carter, J., B. Leonard. 2002. A review of the literature on the worldwide distribution, spread of, and efforts to eradicate the coypu (*Myocastor coypus*). Wildlife Society Bulletin, 30:162-175.

Crooks, J. 2002. Characterizing ecosystem-level consequences of biological invasions: the role of ecosystem engineers. OIKOS 97: 153–166.

Crego, R., J. Jimenez. 2013. Informe sobre estudio piloto de aspectos ecológicos del visón Americano (*Neovison vison*) exótico en isla Navarino, Chile. 50 pp.

Guichón, M. 2003. Tesis Doctoral: Distribución espacial, comportamiento y estructura de poblaciones del coipo *Myocastor coypus* en la cuenca del Río Luján (Buenos Aires, Argentina). www.digital.bl.fcen.uba.ar.

Oporto, J. 2006. Prospección del Huillín (*Lontra provocax*) en la zona media del río Cruces, Provincia de Valdivia. Corporación Terra Australis. 2006. 31 pp.

Oporto, J. 2009. Monitoreo del Huillín (*Lontra provocax*) y su hábitat en la zona de influencia de la planta Valdivia de Celulosa Arauco y Constitución, Región de los Ríos. 70 pp.

Wilcove, D.S., D. Rothstein, J. Dubow, A. Phillips., E. Losos. 1998. Threats to imperiled quantifying species in the United States. BioScience 48: 607–615.

ANEXOS

Tabla 1. Avistamientos de mamíferos acuáticos en el área de estudio.

programas y campañas	número de especímenes	sectores de avistamientos
Quinto año Programa de Monitoreo (abril 2019 – marzo 2020)		
06 - 08 mayo 2019	7 coipos	uno en río San Ramón, uno en río Santa María, uno en canal mareal Cau Cau y cuatro en río Cruces, al norte de Isla Rialejo.
25 – 27 junio 2019	13 coipos	uno en balsa de Isla Rialejo, dos en río Cayumapu, dos en desembocadura de río Santa Maria, tres en desembocadura de río Pichoy y cinco al norte de Isla Rialejo.
25 – 27 septiembre 2019	4 coipos	uno en Isla La Culebra, uno en río Tambillo, uno en río Chorocamayo y uno en río Cudico.
	1 huillín	uno en río Pichoy.
	1 visón	uno en río Cruces, sector San Luis.
10 – 12 diciembre 2019	4 coipos	uno río Cruces, sector San Luis, uno en sector norte de Isla Rialejo y dos en río Cruces, sector Santa María.
	1 visón	uno en río Cruces, sector San Luis.
8 – 10 abril 2020	3 coipos	dos en sector norte Vuelta La Culebra y uno en sector medio río Chorocamayo.
Cuarto año Programa de Monitoreo (abril 2018 – marzo 2019)		
18 - 20 abril 2018	2 coipos	uno nadando en porción media de río Pichoy, el otro en totorales de desembocadura río Santa María.
	1 visón	posado en ribera de canal mareal Cau Cau, cercano a Jardín Botánico UACh.
17 - 19 julio 2018	11 coipos	dos en totorales de Vuelta La Culebra, dos posados sobre tronco en Isla Rialejo (letrero CONAF), tres en

		totorales desembocadura río San Ramón, uno en totorales interior río San Ramón, uno en totorales río Cruces, sector norte Punucapa, uno en totorales interior río Tambillo y uno en totorales río Cruces, sector Santa María.
02 - 05 octubre 2018	5 coipos	uno en totorales entrada río San Ramón, uno en totorales porción sur río Chorocamayo y tres en totorales río Cruces, sector San Martín.
18- 19 enero 2019	3 coipos	uno en totorales desembocadura río Cayumapu, uno en totorales porción sur río Nanihue y uno en totorales río Cruces, sector San Martín.
	2 huillines	Nadando entre praderas de *Ludwigia peploides* y Loto en sector medio de río Cayumapu.
Tercer año Programa de Monitoreo (abril 2017 - marzo 2018)		
09- 11 mayo 2017	3 Coipos	en totorales río Cruces, cercanos a Isla Rialejo.
	3 visones	uno aguas arriba del río Pichoy, dos en la desembocadora del río Tambillo.
11- 13 octubre 2017	4 coipos	uno en la desembocadura del río San Ramón, cercano a Punucapa, dos cercanos a la isla Rialejo y uno aguas arriba del río Pichoy.
14-16 febrero 2018	1 coipo	río Cruces, sector Santa Maria.
	1 visón	en la desembocadora del río Santa María.
Segundo año Programa de Monitoreo (abril 2016 - marzo 2017)		
28 - 30 abril 2016	2 coipos	uno en totorales cercanos a desembocadura del río Pichoy (hacia sector Plaza de Armas) y otro en totorales río San José, frente a Cuyinhue.

	1 huillín	en río Cruces, frente sector San Martín.
13 - 15 julio 2016	1 coipo	en totorales ubicados entre las desembocaduras de los ríos Pichoy y Cayumapu.
	2 huillines	uno en canal mareal Cau Cau, frente a Facultad de Medicina UACh y otro en río Pichoy, aguas abajo del puente Pichoy.
	1 visón	en río Cruces, sector San Martín.
28 - 30 noviembre 2016	1 visón	en río Cruces, aguas abajo del Fuerte San Luis.

Primer año Programa de Monitoreo (abril 2015 - marzo 2016)		
28 - 30 septiembre 2015	1 coipo	en totorales del río Cayumapu, aguas abajo del sector la isla.
	1 huillín	en río Nanihue.
	2 visones	uno en río Calle Calle, aguas arriba playa Collico y otro en el mismo río, pero aguas arriba puente Santa Elvira.
28 - 30 noviembre 2015	1 coipo	en totorales río Cruces, sector Plaza de Armas.
27 - 29 enero 2016	1 coipo	en totorales rio Cruces, cerca de Isla Rialejo.

Tabla 2. Registros de avistamientos y signos de presencia de Coipo (*Myocastor coypus*), Huillin (*Lontra provocax*) y Visón (*Neovison vison)* en el área del HRC y porciones de los ríos Calle Calle y Valdivia, durante el desarrollo del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (abril 2014 - marzo 2015) y los cinco años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2015 abril 2020).

Quinto año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2019 - abril 2020)							
Sector avistamiento	**fecha**	**coordenadas**		**especies**			**observaciones**
		X	**Y**	**Coipo**	**Huillín**	**visón**	
río Chorocamayo	13/05/2019	653153	5600683	X			1 posado en totorales
río Cruces, norte Isla Rialejo	15/06/2019	655668	5603214	X			5 individuos entre totorales
río Cruces, norte Isla Rialejo	15/06/2019	654491	5603789	X			1 posado sobre letrero CONAF
río Cruces, Santa María	15/06/2019	656232	5607026	X			1 posado en totorales
río Cruces, sector San Luis	15/06/2019	658740	5614469	X			1 nadando
desembocadura río Pichoy	15/06/2019	656924	5603332	X			3 posados en totorales
río Cruces, norte Isla Rialejo	26/06/2019	654432	5603856	X			5 posados en totorales
río Cruces, sector Santa Clara	26/06/2019	653003	5602621	X			4 posados en totorales
sector sur Isla Rialejo	26/06/2019	653502	5603457	X			1 costado barcaza
desembocadura río Pichoy	02/07/2019	657232	5603806	X			4 posados en totorales
río San Ramón	02/07/2019	648449	5599818	X			6 posados en totorales del río
vega Santa Clara	03/07/2019	652546	5602104	X			2 posados en totorales
sector norte Isla Rialejo	03/07/2019	654491	5603789	X			2 posados en totorales
río Chorocamayo	03/07/2019	652309	5600745	X			1 nadando
entrada río Tambillo	10/07/2019	651030	5601882	X			1 posado en totorales
río Cruces, norte Isla Rialejo	10/07/2019	654476	5603737	X			3 posados en totorales
río Chorocamayo	10/07/2019	654193	5601104	X			1 posado en totorales
río San Ramón	10/07/2019	648174	5599966	X			2 posados en totorales
planicie La Dehesa	15/07/2019	649896	5599397	X			1 caminando
norte Vuelta La Culebra	15/07/2019	649798	5600480	X			2 posados en totorales
entrada río Tambillo	15/07/2019	651030	5601882	X			5 posados en totorales
río San Ramón	15/07/2019	648174	5599966	X			3 posados en totorales

vega Santa Clara	06/08/2019	652546	5602104	X	1 nadando
balsa Isla Rialejo	06/08/2019	653781	5603566	X	1 posado en la balsa
río San Ramón	06/08/2019	648174	5599966	X	5 posados en totorales
muelle río Chorocamayo	08/08/2019	654135	5600881	X	1 posado en totorales
río Cruces, norte Isla Rialejo	08/08/2019	654476	5603737	X	2 posados en totorales
río Cruces, norte Isla Rialejo	08/08/2019	654491	5603789	X	5 posados en totorales
río Cruces, Tres Bocas	13/08/2019	650966	5601359	X	4 posados en totorales
río Cruces, sector San Pedro	13/08/2019	650293	5600928	X	1 nadando
río San Ramón	13/08/2019	647789	5600264	X	9 posados sobre totorales
muelle río Chorocamayo	15/08/2019	654135	5600881	X	1 posado en totorales
río San Ramón	15/08/2019	647789	5600264	X	3 posados en totorales
norte Vuelta La Culebra	27/08/2019	650029	5600889	X	5 posados en totorales
río Cruces, sector San Pedro	27/08/2019	650293	5600928	X	5 posados en totorales
río Cruces, Tres Bocas	27/08/2019	650966	5601359	X	1 nadando
río Chorocamayo sur	27/08/2019	651213	5601331	X	1 posado en totorales
río Chorocamayo centro	27/08/2019	652148	5600936	X	1 posado en totorales
norte Vuelta La Culebra	29/08/2019	650029	5600889	X	1 nadando
Isla Rialejo	29/08/2019	653880	5603460	X	1 posado sobre la balsa
río Tambillo	31/08/2019	650916	5602863	X	1 posado en totorales
río Chorocamayo	31/08/2019	654434	5601093	X	3 posados sobre totorales
río Cruces, sector San Pedro	31/08/2019	650293	5600928	X	1 nadando
río Tambillo	12/09/2019	650831	5602427	X	1 posado en totorales
río Cruces, norte Isla Rialejo	12/09/2019	654476	5603737	X	3 posados en totorales
río Chorocamayo medio	12/09/2019	653109	5600649	X	1 posado en totorales
río San Ramón	12/09/2019	648174	5599966	X	2 posados sobre totorales
río Cruces, norte Isla Rialejo	14/09/2019	654439	5603732	X	12 posados sobre totorales
río Tambillo	14/09/2019	650966	5602340	X	2 posados sobre totorales
muelle río Chorocamayo	16/09/2019	654135	5600881	X	1 posado en muelle

río Cruces, sector San Ramón	16/09/2019	649092	5599636	X			1 posado en totorales
Vuelta La Culebra	28/09/2019	649794	5599313	X			3 posados en totorales
río Cruces, sector Punucapa	28/09/2019	648847	5598318	X			1 nadando
Isla Rialejo	01/10/2019	653880	5603460	X			1 posado sobre la balsa
río Chorocamayo	05/10/2019	654085	5600930	X			1 posado en totorales
Vuelta La Culebra	08/10/2019	649911	5598028	X			2 posados en totorales
vega camarones Santa Clara	28/11/2019	652546	5602104	X			1 posado en totorales
Isla La Culebra	31/01/2020	649839	5598742			X	1 caminando sobre totora
Isla Rialejo	31/01/2020	653880	5603460	X			1 caminando costado barcaza

Cuarto año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2018 marzo 2019).

sector	fecha	coordenadas		especies			observaciones
		X	Y	coipo	huillín	visón	
río Pichoy	21/06/2018	657027	5603480	X			1 individuo entre totorales
río Santa María	11/07/2018	654659	5604562	X			1 individuo entre totorales
río Cruces, Isla Rialejo norte	11/07/2018	654453	5603715	X			5 individuos entre totorales
río Cruces, Isla Rialejo sur	11/07/2018	653353	5603424	X			1 individuo en totorales
río Cruces, Santa Clara	11/07/2018	652868	5602128	X			2 individuos entre totorales
río Cruces, Tres Bocas	11/07/2018	651198	5601557	X			2 individuos entre totorales
río Tambillo	21/07/2018	650899	5602218	X			1 individuo en totorales
río Cruces, Isla Rialejo norte	21/07/2018	654490	5603703	X			7 individuos entre totorales
río Cruces, Isla Rialejo norte	21/07/2018	653455	5603414	X			2 individuos entre totorales
río Cruces, sector Punucapa	21/07/2018	648688	5599227	X			4 individuos entre totorales
río Cruces, sector San Martin	21/07/2018	656417	5608399	X			2 individuos entre totorales
río Cruces, Isla Rialejo norte	23/07/2018	654442	5603644	X			3 individuos entre totorales
río Cruces, balsa Isla Rialejo	23/07/2018	654155	5603576	X			2 individuos entre totorales
río Cruces, Isla Rialejo sur	23/07/2018	653349	5603419	X			1 individuo sobre troncos

río Cruces, sector Santa Clara	23/07/2018	652704	5602189	X		1 individuo en totorales
río Cruces, sector Isla Rialejo	23/07/2018	654656	5604010	X		1 individuo sobre troncos
río Cruces, sector Santa María	01/08/2018	655933	5605707	X		1 individuo en totorales
río Cruces, balsa Isla Rialejo	01/08/2018	654200	5603544	X		1 individuo en totorales
río Cruces, sector Santa Clara	01/08/2018	652949	5602179	X		1 individuo en totorales
Canal mareal Cau Cau	27/08/2018	649684	5592829		X	1 individuo en la ribera
río Chorocamayo	27/08/2018	655123	5602844	X		1 individuo en totorales
río Cruces, Isla Rialejo norte	27/08/2018	654448	5603645	X		10 individuos entre totorales
río Cruces, balsa Isla Rialejo	27/08/2018	654003	5603597	X		4 individuos entre totorales
río Cruces, sector San Martín	27/08/2018	656040	5607883	X		1 individuo en totorales
río Pichoy	27/08/2018	657061	5603534	X		1 individuo en totorales
Vuelta La Culebra	06/09/2018	649897	5599296	X		3 individuos entre totorales
Vuelta La Culebra	24/09/2018	649885	5600014	X		6 individuos entre totorales
río Cruces, sector San Pedro	24/09/2018	651464	5601675	X		2 individuos entre totorales
río Cruces, sector Santa María	24/09/2018	655135	5605199	X		5 individuos entre totorales
río Cruces, Isla Rialejo norte	24/09/2018	654404	5603613	X		1 individuo en totorales
río Tambillo	24/09/2018	651005	5602116	X		1 individuo en totorales
Vuelta La Culebra	25/09/2018	649962	5597757	X		3 individuos entre totorales
río Tambillo	25/09/2018	651005	5602116	X		1 individuo en totorales
río Cruces, Isla Rialejo sur	25/09/2018	653325	5603147	X		1 individuo en totorales
río Cruces, balsa Isla Rialejo	25/09/2018	653943	5603606	X		1 individuo en totorales
río Cruces, Isla Rialejo norte	25/09/2018	654590	5603909	X		10 individuos entre totorales
río Chorocamayo	25/09/2018	653740	5600645	X		1 individuo en totorales
río Cruces, Isla Rialejo norte	26/09/2018	654540	5600645	X		9 individuos entre totorales
río Cruces, sector Santa Clara	27/09/2018	653065	5602415	X		2 individuos entre totorales
río Cruces, balsa Isla Rialejo	27/09/2018	653943	5603606	X		2 individuos entre totorales
río Cruces, Isla Rialejo norte	27/09/2018	654540	5603799	X		5 individuos entre totorales
río Cruces, sector San Martín	27/09/2018	656213	5607646	X		2 individuos entre totorales

sector Isla La Culebra	27/09/2018	649918	5598800	X	4 individuos entre totorales
río Cruces, sector Punucapa	27/09/2018	648590	5598944	X	1 individuo en totorales
río Cruces, sector Tres Bocas	29/09/2018	650875	5601442	X	2 individuos entre totorales
río Chorocamayo	29/09/2018	652865	5600616	X	3 individuos entre totorales
río Cruces, sector Punucapa	29/09/2018	648696	5598402	X	2 individuos entre totorales
río Cruces, Isla Rialejo sur	03/10/2018	653353	5603424	X	1 individuos entre totorales
río Cruces, Isla Rialejo norte	03/10/2018	654540	5603799	X	6 individuos entre totorales
río Cruces, sector San Martín	03/10/2018	656213	5607646	X	3 individuos entre totorales
río Cruces, sector San Pedro	05/10/2018	651464	5601675	X	1 individuo en totorales
río San Ramón	09/10/2018	647950	5600012	X	1 individuo en totorales
sector río Mocho	09/10/2018	653651	5601264	X	4 individuos entre totorales
río Cruces, Isla Rialejo norte	09/10/2018	654404	5603613	X	6 individuos entre totorales
río Cruces, balsa Isla Rialejo	09/10/2018	653943	5603606	X	1 individuo en totorales
río Cruces, Isla Rialejo sur	09/10/2018	653353	5603424	X	2 individuos entre totorales
sector Isla La Culebra	11/10/2018	649918	5598800	X	1 individuo en totorales
río Tambillo	11/10/2018	650966	5602136	X	1 individuo en totorales
río Cruces, Isla Rialejo norte	11/10/2018	654540	5603799	X	3 individuos entre totorales
río Cruces, Isla Rialejo norte	22/10/2018	654448	5603645	X	4 individuos entre totorales
Canal mareal Cau Cau	22/10/2018	649056	5595159	X	1 individuo en totorales
río Cruces, sector San Pedro	23/10/2018	649981	5600993	X	1 individuo en totorales
río Cruces, sector Tres Bocas	24/10/2018	650828	5601230	X	1 individuo en totorales
río Cruces, sector San Martín	24/10/2018	656119	5606357	X	3 individuos entre totorales
río Cruces, sector San Pedro	05/11/2018	650438	5601102	X	1 individuo en totorales
río Cruces, Isla Rialejo norte	07/11/2018	654448	5603645	X	5 individuos entre totorales
río Cruces, sector San Martín	29/01/2019	656107	5606406	X	1 individuo en totorales

sector	fecha	coordenadas		especies			observaciones
		X	Y	coipo	huillín	visón	
sector San Ramón	02/05/2017	648759	5599692	X			tres individuos en totorales
desembocadura río Cudico-Nanihue	22/05/2017	657006	5607773	X			seis individuos entre totorales
sector San Martín	21/09/2017	656254	5607590	X			cinco individuos cercanos al muelle hualamo
sector San Martín	28/09/2017	656210	5607681	X			un individuo cercano al muelle hualamo
sector Cayumapu	07/10/2017	656461	5600550	X			dos individuos cruzando el río
sector San Martín	12/10/2017	655286	5605337	X			un individuo sobre balsa tronco
rio Cruces- Rialejo	15/12/2017	654074	5603618	X			un individuo en balsa rialejo
sector San Martín	01/01/2018	656187	5607774	X			un individuo sobre tronco cercano a muelle hualamo

Segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2016 - marzo 2017)

sector	fecha	coordenadas		especies			observaciones
		X	Y	coipo	huillín	visón	
río Calle Calle, sector Quita calzón	01/04/16	655360	5594723			X	un individuo corriendo por la ribera
río Cruces, sector planicies Punucapa	01/04/16	649246	5596441		X		un individuo en el agua
río San Ramón, sector muelle	01/04/16	648443	5600007			X	fecas frescas
río Cruces, sector península San Ramón	01/04/16	649436	5600438			X	fecas frescas
río Cruces, sector Isla Teja	18/04/16	647595	5594501		X		letrinas frescas
canal mareal Cau Cau, sector baliza ARMADA de Chile	25/04/16	648670	5594734			X	fecas y huellas frescas, playa de arena
río Cruces, sector Carriquilda	05/05/16	667372	5620523		X		un individuo en el agua

río Cruces, sector planicies Punucapa	10/05/16	648559	5595558		X		un individuo en el agua
río Cruces, sector baliza Punucapa	01/06/06	649047	5597550		X		fecas frescas
río Cruces, sector totoral Punucapa	01/06/16	649316	5597530	X			un individuo en el agua
río Calle Calle, sector urbano Collico	21/07/16	653195	5592294			X	un individuo en muelle viejo
canal mareal Cau Cau, entrada marina J. Brieva	21/07/16	650149	5592393		X		un individuo en el agua
canal mareal Cau Cau, interior marina J. Brieva	21/07/16	650214	5592484			X	un individuo en el muelle
río Cruces, muelle La Dehesa	21/07/16	650081	5598745			X	fecas frescas
entrada río Pichoy	21/07/16	655916	5602715	X			un individuo en el agua
río Cruces, sector Santa María	21/07/16	656068	5608770		X		un individuo en el agua
río Cruces, sector planicie San Luis	21/07/16	658031	5613389	X			huellas y comederos frescos
río Cruces, sector Isla Rialejo	09/11/16	653146	5602827	X			un individuo en el agua
río Cruces, sector totoral Isla Rialejo	09/11/16	654155	5602558	X			comederos
salida río Cayumapu hacia río Pichoy	09/11/16	655409	5602081	X			un individuo en el agua
río Cruces, sector San Martin	09/11/16	655754	5609785		X		un individuo en el agua
río San José	09/11/16	660726	5617327	X			un individuo en el agua
río Cruces, muelle viejo sector Santa María	09/11/16	656032	5608692			X	fecas frescas
canal mareal Cau Cau, entrada marina J. Brieva	29/12/16	650113	5592413			X	un individuo en el agua
entre desembocaduras ríos Cayumapu y Pichoy	29/12/16	655517	5602208		X		un individuo en el agua
sector Plaza de Armas, entrada río Pichoy	24/01/17	656951	5603404	X			Individuo comiendo sector totoras
sector planicie San Luis	24/01/17	657888	5613225			X	un individuo en el agua

Primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2015 - marzo 2016)

sector	fecha	coordenadas		especies			observaciones
		X	Y	Coipo	Huillín	visón	
río Cruces, sector Carriquilda	08/04/15	667373	5620511		X		un individuo en el agua
canal mareal Cau Cau	15/04/15	650214	5592490			X	muelle, marina Jesús Brieva
canal mareal Cau Cau, sector baliza ARMADA de Chile	21/04/15	648635	5594726			X	fecas y huellas frescas, playa de arena
río Cruces, sector Isla Teja	21/04/15	647772	5594769		X		letrinas en buen estado y frescas
río Cruces, sector Península San Ramón	22/04/15	649516	5600512			X	fecas frescas
río Cruces, sector Punucapa (baliza)	13/05/15	649068	5597518		X		un individuo en el agua
río Cayumapu, sector interior.	13/05/15	658010	5599957	X			un individuo en el agua
río Cruces, sector San Martín	29/09/15	656084	5608684		X		un individuo en el agua
río Cayumapu, sector interior	29/09/15	658233	5600086	X			un individuo en el agua
río Calle Calle, sector urbano	28/09/15	653161	5592448			X	un individuo alimentándose
río Calle Calle, sector urbano	28/09/15	654120	5594318			X	un individuo corriendo por la ribera
río Cruces sector Plaza de Armas	19/11/15	655551	5605284	X			un individuo en el agua
río Nanihue, sector interior	19/11/15	658460	5610224		X		un individuo en el agua
río Tambillo, sector interior	07/01/16	650811	5602606			X	un individuo en el agua
río Cruces, sector Isla Rialejo	19/01/16	653200	5602981	X			un individuo en el agua

Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (abril 2014 - marzo 2015)

sector	fecha	coordenadas		especies			observaciones
		X	Y	Coipo	Huillín	visón	
río Cruces, sector Ciruelos	07/04/14	687860	5622468		X		fecas frescas
río Cruces, San Luis	14/04/14	658770	5614409			X	fecas frescas
canal mareal Cau Cau	09/04/14	650214	5592490			X	muelle, marina Jesús Brieva

canal mareal Cau- Cau	09/04/14	647779	5594774		X		letrinas en buen estado y frescas
río Pichoy	11/04/14	662677	5605173		X		letrinas en buen estado y frescas
río Cruces, sector La Dehesa.	20/04/14	650059	5598753				fecas frescas
río Cruces, sector Punucapa	29/05/14	649098	5596161		X		un individuo en el agua
río Cruces, sector Punucapa	15/07/14	648710	5595837		X		un individuo en el agua
río Cruces, sector Punucapa	16/09/14	648959	5597732		X		un individuo en el agua
río Cruces, sector Punucapa	16/09/14	648973	5597704			X	fecas frescas
río Cruces, sector Punucapa	16/09/14	649027	5597548		X		fecas frescas y antiguas
río San Ramón	28/10/14	648431	5599994			X	fecas frescas
río Cruces, sector San Ramón	28/10/14	649415	5600396			X	fecas frescas
río Cayumapu	04/11/14	655423	5601330			X	fecas frescas
río Cayumapu	05/11/14	659018	5600192	X			Individuo capturado en trampa
río Pichoy	13/11/14	659654	5603185			X	fecas frescas
río Cruces, sector Fuerte San Luis	19/11/14	659386	5614643	X			comederos y madrigueras
río Cruces, sector Plaza de Armas	19/11/14	656221	5605814	X			comederos frescos.
río Cruces, sector Isla Rialejo	19/11/14	654551	5602891	X			comederos frescos
río Cruces, sector Isla Rialejo	19/11/14	653565	5602457	X			comederos y madrigueras
río Tambillo	02/12/14	650961	5603343			X	fecas frescas
río Cruces, sector San Martin	10/12/14	655776	5609604		X		un individuo en el agua
San Martin	10/12/14	655764	5610122		X		un individuo en el agua
sector tres Bocas, río Tambillo	14/12/14	651020	5602212	X			un individuo entre totoras

4.3. ANÁLISIS COMPARATIVOS DE DATOS OBTENIDOS EN PROGRAMAS DE DIAGNOSTICO Y MONITOREO CON ESTUDIOS PREVIOS DE RIESGO ECOLÓGICO

4.3.1. Antecedentes

Con el objeto de realizar predicciones y evaluar tempranamente las condiciones del ecosistema del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC), el Comité Científico y Social sugirió considerar dentro del diseño final del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (2014), una metodología que incluyera la evaluación del Riesgo Ecológico Local (REC).

Durante el desarrollo del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, se contrastaron los resultados obtenidos de los estudios de calidad de agua realizados durante el mismo, con los datos referenciales señalados en los estudios de Riesgo Ecológico realizados por Encina *et al*. (2011) para el área del humedal y aplicando una aproximación teórica, la que incluye el uso de los valores ecotoxicológicos "end point" de bioensayos agudos realizados con Hierro, Aluminio y Manganeso para especies representativas en el HRC (Encina *et al*., 2009).

En este contexto y con el objetivo de evaluar las condiciones químicas del agua superficial del HRC, en cuanto a las concentraciones de los metales disueltos encontrados en mayor proporción (Hierro, Aluminio y Manganeso), se realizaron análisis comparativos entre las concentraciones obtenidos durante los Programas de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del humedal (abril, mayo y julio 2014 y abril y julio del período 2015-2019, respectivamente), con las estudiadas por Encina *et al*. (2011), en sus estudios de riesgo ecológico utilizando especies locales de relevancia ecológica dentro de este mismo sistema (Encina *et al*., 2009).

4.3.2. Objetivos

- Realizar una comparación entre las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disuelto en aguas superficiales registradas como parte del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (abril, mayo y julio 2014), con aquellas obtenidas durante el desarrollo del Programa de Monitoreo Ambiental del humedal (abril y julio del período 2015-2019), con las concentraciones de efectos no observados (NOEC) obtenidas para siete especies locales de importancia ecológica (Encina *et al*., 2011).
- Evaluar el Riesgo Ecológico Potencial de las siete especies locales utilizadas, en base a los resultados derivados de los análisis de las comparaciones contempladas en el objetivo anterior.

4.3.3. Material y métodos

Basados en los resultados obtenidos por el estudio realizado por Encina *et al*. (2011), cuyo segundo objetivo general fue "determinar los niveles de sensibilidad crónica (efectos subletales) a determinados xenobióticos sobre siete especies locales de mayor relevancia ecológica" del HRC, se utilizaron los valores de NOEC ("No Observed Effect Concentration") para evaluar y comparar las concentraciones de tres metales objeto de estudio (Hierro, Aluminio y Manganeso disuelto) en el Capítulo de Calidad de agua (Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC (2014-2019)). La concentración de esos metales pesados se midió en el agua superficial de ocho estaciones de muestreo ubicadas en diferentes partes del sistema hidrográfico del HRC (Fig. 4.3.1).

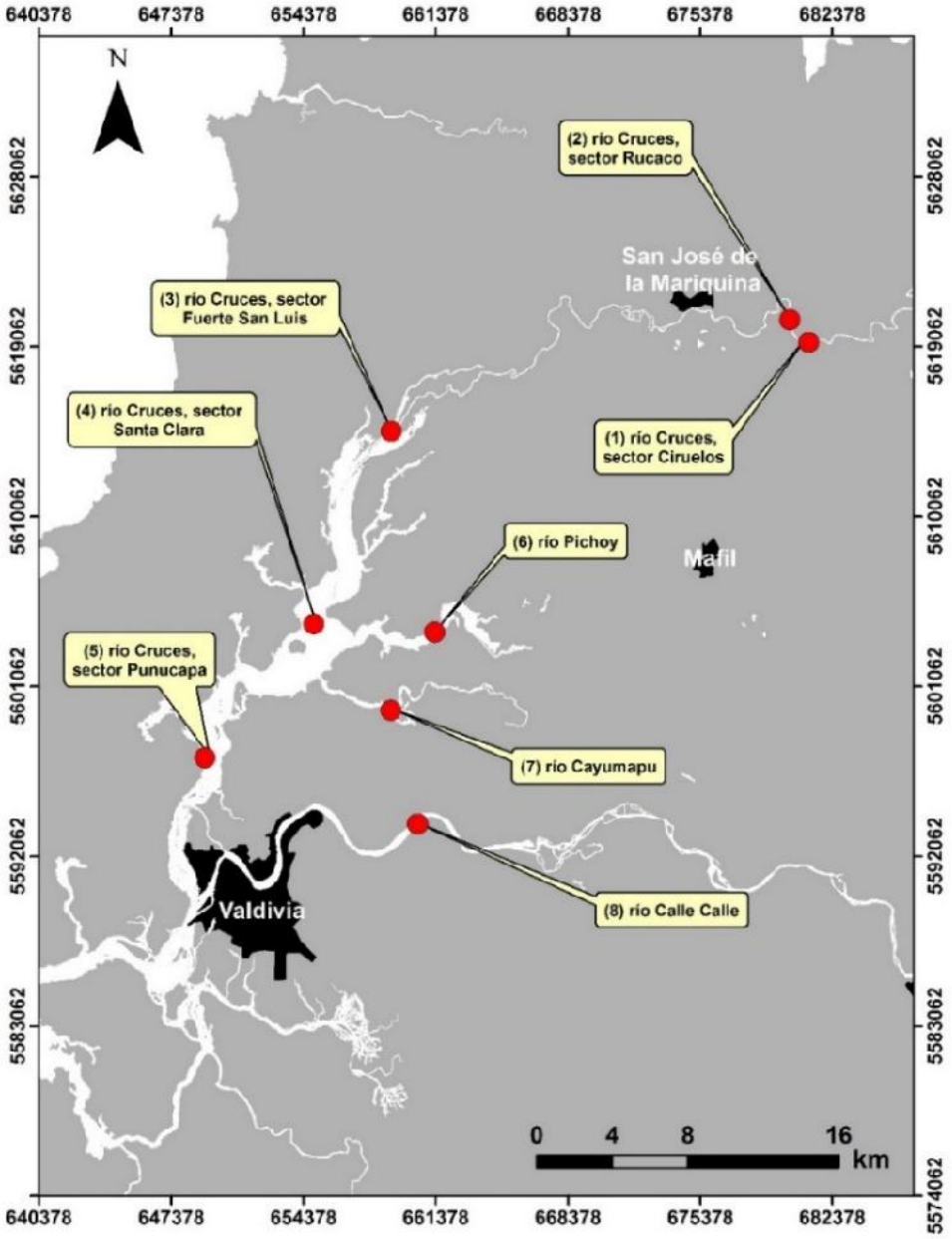


Figura 4.3.1. Ubicación de los sitios de muestreo (1 a 8) para análisis de calidad del agua en el área de estudio. Las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disuelto en el agua superficial de estas estaciones, es la utilizada en este estudio.

El fundamento teórico de la estimación de estos valores de protección ecológica, contempla la exposición de una concentración alta que no causa efecto (*e.g.* mortalidad, alteraciones reproductivas, cambios en comportamientos, alimentación, etc.) en la población estudiada al ser comparada con un efecto control (NOEC) de manera experimental. Por lo general, estos valores son usados con frecuencia como un indicador general de la toxicidad aguda de alguna sustancia específica presente en el medio acuático (Newman & Unger, 2003).

Teniendo en cuenta esos valores de concentraciones, se trabajó en base a un esquema conceptual, representado por un gráfico X-Y, donde el eje "X" incluye las concentraciones de un elemento determinado en el medio (*e.g.*, Hierro, Aluminio y Manganeso disueltos) y el eje "Y" representa el riesgo ecológico potencial de ese elemento al sistema o especie modelo objetivo (Fig. 4.3.2).

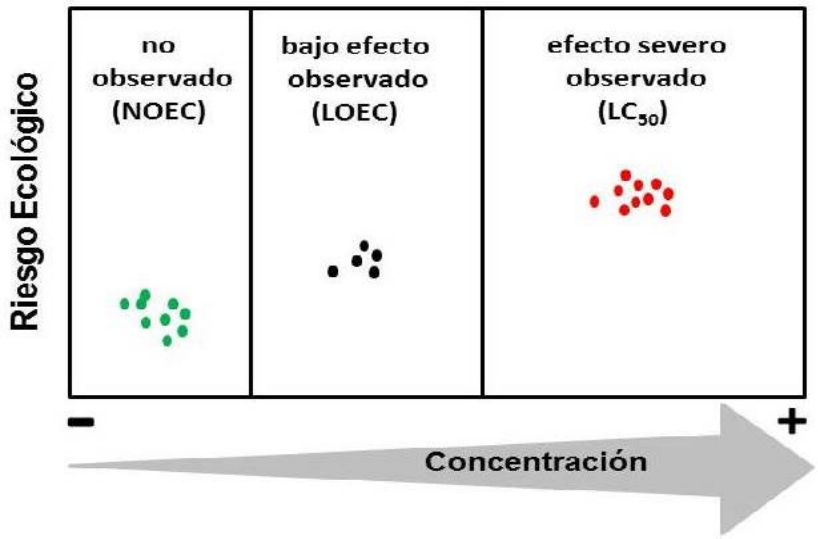


Figura 4.3.2. Esquema conceptual para evaluar los valores de las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disueltos obtenidos por Encina *et al*. (2011), *versus* los valores de las concentraciones de estos parámetros registrados en las estaciones establecidas en el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios. NOEC: No Observed Effect Concentration; LOEC: Lowest Observed Effect Concentration y LC_{50}: Median Lethal Concentration.

En base a este esquema conceptual de evaluación y los valores de las concentraciones recopilados de los bioensayos toxicológicos realizados por Encina (Tabla 4.3.1) y de los análisis de concentración de metales pesados llevados a cabo en las ocho estaciones de muestreo del Programa de Monitoreo y sus equivalentes del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (Tabla 4.3.2 a la 4.3.4), la metodología final utilizada para la comparación es la siguiente:

- Mediante un programa de diseño de gráficos (SigmaPlot 11.0), se confeccionaron gráficos "X-Y", donde en el eje "X" se representan las ocho estaciones utilizadas en el Programa de Monitoreo del HRC y en el eje "Y" las concentraciones registradas para Hierro, Aluminio y Manganeso disueltos de la totalidad de las campañas realizadas en el periodo comprendido entre los años 2014 y 2019 en las estaciones que se muestran en la Figura 4.3.1. Una vez confeccionados los gráficos anteriores, se marcó mediante una línea paralela al eje "X" los valores NOEC para cada una de los siete taxa utilizados en los bioensayos de toxicología realizados por Encina *et al.* (2011).
- Posteriormente, se evaluó la proximidad de los valores de las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disueltos obtenidas en el agua superficial de las ocho estaciones del área de estudio del Programa de Monitoreo a la línea referencial representada por los valores NOEC obtenidos por Encina *et al*. (2011). Esto permitió establecer el Riesgo Ecológico Potencial (REP) estimado para cada una de los taxa utilizados en este análisis, según las concentraciones registradas durante el período 2014-2019.

Tabla 4.3.1. Resumen de las concentraciones (µg/L) obtenidas para tres diferentes metales utilizados en Bioensayos de Toxicidad para NOEC y LC_{50} en siete especies locales del humedal del río Cruces. Los datos fueron extraídos de Encina *et al.* (2011).

especies	grupo	metal	NOEC	LC_{50}
Microalga *Scenedesmus quadricauda*	Fitoplancton	Fe	1200	6300
	Clase Chlorophyceae	Al	4600	9700
		Mn	5200	9400
Microalga del género *Chlorella*	Fitoplancton	Fe	600	1200
	Clase Chlorophyceae	Al	1500	7200
		Mn	900	1400
Cladócero del género *Simocephalus*	Zooplancton	Fe	750	1500
	Clase Branchiopoda	Al	1000	5500
	Orden Cladocera	Mn	2200	7300
Rotífero del género *Brachionus*	Zooplancton	Fe	1,3	4,3
	Clase Rotífera	Al	4,8	5,5
		Mn	0,8	1,0
Copépodo del género *Mesocyclops*	Zooplancton	Fe	600	1800
	Clase Crustacea	Al	800	1600
	Orden Copepoda	Mn	400	800
Insecto de la familia Leptophlebiidae	Macrobentos	Fe	500	4300
	Clase Insecta	Al	800	3000
	Orden Ephemeroptera	Mn	500	7500
Insecto de la familia Chironomidae	Macroinvertebrado	Fe	5500	9100
	Clase Insecta	Al	5500	24700
	Orden Diptera	Mn	5800	36000

Tabla 4.3.2. Concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones del área de estudio (Fig. 4.3.1) correspondiente al Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC (abril, mayo y julio 2014 y abril y julio 2015-2019, respectivamente). Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Hierro (µg/L)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)					
1 (sector Ciruelos)	111,2 (31,0)	47,2 (5,6)	45,6 (4,3)	138,5 (31,4)	44,8 (19,2)
2 (sector Rucaco)	10,7 (3,7)	47,8 (7,9)	46,6 (12,4)	68,33 (23,0)	45,3 (16,1)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	65,2 (13,6)	46,8 (0,7)	40,0 (6,2)	83,8 (2,2)	64,6 (3,7)
4 (sector Santa Clara)	57,2 (7,4)	100,3 (1,7)	53,9 (12,0)	31,1 (3,2)	64,5 (2,0)
5 (sector Punucapa)	44,0 (2,1)	64,8 (6,7)	52,7 (15,3)	15,5 (2,8)	71,3 (2,1)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	117,5 (38,1)	136,1 (53,8)	63,9 (4,9)	103,9 (0,6)	114,7 (1,8)
7 (río Cayumapu)	93,0 (1,2)	112,0 (24,3)	66,5 (1,2)	34,2 (6,1)	100,1 (34,9)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	23,7 (0,2)	33,2 (0,0)	23,7 (0,2)	43,5 (2,8)	25,2 (9,9)

Continuación Tabla 4.3.2.

	Hierro (µg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)				
1 (sector Ciruelos)	93,7 (2,6)	68,3 (2,6)	141,7 (2,5)	104,1 (20,9)
2 (sector Rucaco)	20,9 (3,9)	22,2 (0,4)	21,3 (0,2)	111,6 (5,4)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	68,9 (7,1)	39,3 (2,1)	114,8 (2,4)	100,7 (25,2)
4 (sector Santa Clara)	45,5 (0,9)	37,0 (0,7)	64,7 (1,3)	110,5 (30,6)
5 (sector Punucapa)	15,7 (0,3)	15,4 (0,3)	22,3 (0,6)	144,6 (5,2)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	90,1 (0,3)	102,1 (0,7)	136,6 (1,1)	167,8 (44,5)
7 (río Cayumapu)	55,0 (1,8)	61,9 (0,3)	77,0 (1,2)	249,2 (20,1)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	33,8 (0,3)	30,5 (1,6)	38,5 (0,4)	35,8 (2,3)

Continuación Tabla 4.3.2

	Hierro (µg/L)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)				
1 (sector Ciruelos)	187,1 (7,0)	71,3 (0,3)	118,9 (1,0)	70,9 (0,2)
2 (sector Rucaco)	96,7 (0,6)	47,9 (0,6)	13,7 (0,4)	52,5 (0,7)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	184,1 (8,9)	110,2 (0,6)	70,6 (0,2)	68,4 (0,2)
4 (sector Santa Clara)	133,1 (1,1)	127,0 (1,4)	27,6 (1,2)	52,7 (0,8)
5 (sector Punucapa)	141,8 (1,3)	91,4 (1,3)	4,9 (0,1)	53,6 (0,2)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	189,6 (1,3)	170,8 (1,1)	195,0 (1,9)	67,3 (0,3)
7 (río Cayumapu)	189,1 (11,4)	154,6 (2,3)	63,7 (0,2)	96,0 (0,3)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	47,3 (0,3)	22,8 (0,6)	35,5 (0,8)	18,5 (0,1)

Tabla 4.3.3. Concentraciones de Aluminio disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones del área de estudio (Fig. 4.3.1) correspondiente al Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC (abril, mayo y julio 2014 y abril y julio 2015-2019, respectivamente). Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Aluminio (µg/L)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)					
1 (sector Ciruelos)	9,9 (2,0)	8,2 (1,1)	20,4 (1,4)	10,5 (1,6)	18,6 (4,2)
2 (sector Rucaco)	6,3 (0,6)	11,2 (0,9)	23,4 (7,0)	10,1 (0,4)	18,3 (4,9)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	7,6 (1,5)	11,6 (0,3)	11,9 (1,2)	10,8 (0,4)	20,7 (0,1)
4 (sector Santa Clara)	12,9 (1,4)	14,8 (1,2)	17,9 (2,1)	8,2 (1,1)	21,8 (0,1)
5 (sector Punucapa)	9,0 (0,5)	11,8 (0,8)	13,5 (3,2)	5,7 (0,1)	25,5 (1,0)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	12,6 (1,8)	21,0 (5,3)	28,3 (1,0)	12,0 (0,0)	44,4 (0,7)
7 (río Cayumapu)	6,6 (0,5)	19,2 (2,8)	38,5 (1,6)	1,3 (0,2)	48,7 (14,6)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	5,3 (0,6)	20,0 (1,1)	10,5 (1,7)	6,3 (0,0)	24,6 (6,5)

Continuación Tabla 4.3.3.

	Aluminio (µg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)				
1 (sector Ciruelos)	7,0 (0,01)	4,4 (0,41)	9,5 (0,7)	10,1 (0,5)
2 (sector Rucaco)	7,7 (0,70)	3,9 (0,38)	5,4 (0,2)	11,6 (0,0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	8,2 (0,57)	5,3 (0,73)	10,1 (0,0)	12,6 (2,2)
4 (sector Santa Clara)	11,2 (0,01)	5,1 (0,09)	9,1 (0,1)	15,4 (1,0)
5 (sector Punucapa)	4,1 (0,58)	3,4 (0,71)	8,7 (0,5)	22,2 (0,6)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	7,5 (0,02)	14,4 (0,55)	11,2 (0,1)	28,1 (4,5)
7 (río Cayumapu)	3,6 (0,13)	5,9 (0,03)	4,9 (0,2)	35,6 (0,2)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	7,3 (0,13)	4,3 (0,27)	9,4 (0,6)	10,3 (1,3)

Continuación Tabla 4.3.3.

	Aluminio (µg/L)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)				
1 (sector Ciruelos)	21,7 (0,5)	8,1 (0,9)	7,3 (0,1)	28,3 (0,2)
2 (sector Rucaco)	9,8 (0,2)	10,6 (0,2)	5,0 (0,1)	14,1 (0,3)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	16,4 (0,4)	13,4 (0,3)	6,8 (0,1)	20,9 (0,0)
4 (sector Santa Clara)	16,0 (0,0)	21,6 (0,1)	14,3 (0,3)	17,2 (0,6)
5 (sector Punucapa)	25,7 (0,1)	17,1 (0,3)	5,8 (0,1)	18,2 (0,7)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	41,4 (0,5)	32,3 (0,5)	5,5 (0,1)	23,1 (0,8)
7 (río Cayumapu)	39,4 (0,0)	37,3 (0,9)	2,1 (0,0)	40,0 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	12,0 (0,2)	6,6 (0,1)	2,6 (0,0)	10,9 (0,1)

Tabla 4.3.4. Concentraciones de Manganeso disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones del área de estudio (Fig. 4.3.1) correspondiente al Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC (abril, mayo y julio 2014 y abril y julio 2015-2019, respectivamente). Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	Manganeso (µg/L)				
Estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)					
1 (sector Ciruelos)	17,7 (0,3)	4,7 (0,2)	1,4 (0,2)	11,4 (1,1)	2,6 (0,5)
2 (sector Rucaco)	24,4 (0,5)	5,5 (0,5)	1,6 (0,4)	25,3 (0,9)	2,8 (0,2)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	26,5 (1,5)	10,0 (0,1)	2,2 (0,0)	3,5 (0,3)	2,8 (0,0)
4 (sector Santa Clara)	0,9 (0,1)	9,2 (5,5)	2,0 (0,0)	0,2 (0,0)	1,3 (0,0)
5 (sector Punucapa)	1,4 (0,2)	0,8 (0,0)	2,5 (0,3)	1,8 (0,1)	1,5 (0,0)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	27,0 (0,3)	19,1 (0,4)	22,6 (0,9)	19,7 (2,9)	8,8 (0,2)
7 (río Cayumapu)	22,4 (0,2)	4,9 (0,5)	5,4 (0,1)	27,8 (1,9)	9,8 (0,6)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	3,5 (0,1)	0,9 (0,1)	1,8 (0,3)	3,4 (0,0)	2,3 (0,2)

Continuación Tabla 4.3.4.

	Manganeso (µg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)				
1 (sector Ciruelos)	13,5 (0,02)	14,4 (0,28)	8,5 (0,2)	19,1 (0,2)
2 (sector Rucaco)	18,5 (0,29)	16,2 (0,36)	12,0 (0,0)	18,7 (0,5)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	1,5 (0,21)	12,0 (0,92)	5,1 (0,0)	20,8 (1,0)
4 (sector Santa Clara)	0,8 (0,13)	0,4 (0,01)	0,4 (0,0)	9,1 (0,2)
5 (sector Punucapa)	8,6 (0,16)	1,7 (0,02)	0,5 (0,0)	7,6 (0,1)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	13,4 (0,21)	4,1 (0,05)	6,0 (0,0)	37,5 (0,6)
7 (río Cayumapu)	27,7 (0,16)	0,7 (0,02)	4,5 (0,0)	19,7 (0,2)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,6 (0,01)	3,3 (0,23)	1,8 (0,1)	5,3 (0,1)

Continuación Tabla 4.3.4.

	Manganeso (µg/L)			
estaciones	**2018**		**2019**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)				
1 (sector Ciruelos)	15,6 (0,3)	11,2 (0,2)	8,2 (0,4)	8,0 (0,0)
2 (sector Rucaco)	16,9 (0,2)	14,2 (0,5)	9,1 (0,1)	7,5 (0,0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	17,5 (0,3)	14,1 (0,2)	10,5 (0,1)	8,5 (0,0)
4 (sector Santa Clara)	5,8 (0,0)	8,6 (0,0)	1,6 (0,0)	4,5 (0,1)
5 (sector Punucapa)	1,4 (0,0)	6,0 (0,4)	17,5 (0,3)	5,0 (0,0)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	27,4 (0,0)	18,6 (0,3)	17,7 (0,5)	13,4 (0,1)
7 (río Cayumapu)	22,1 (0,1)	14,1 (0,0)	17,0 (0,0)	11,8 (0,1)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	1,5 (0,0)	3,7 (0,0)	1,7 (0,0)	2,5 (0,0)

4.3.4. Resultados

Ya aclarados y corregidos los errores en los valores correspondientes a las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disueltos, obtenidas de los bioensayos de toxicidad del rotífero del género *Brachionus,* utilizado en los estudios de Encina *et al.* (2011) (ver Capítulo 4.3 del Informe Anual correspondiente al Año 1 del Programa de Monitoreo (abril 2015-marzo 2016), se presentan a continuación los resultados derivados de las comparaciones correspondientes a los datos obtenidos durante el Programa de Diagnóstico del HRC (abril, mayo y julio 2014) con aquellos recolectados durante el Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril y julio 2015-2019).

Con los nuevos valores corregidos para el NOEC de *Brachionus* sp., esta especie seguiría siendo la única que presentaría un riesgo potencial en relación a los valores obtenidos para las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disuelto en aguas superficiales del área de estudio durante el período 2014-2019; riesgo que se traduciría en un efecto adverso en cuanto a la producción de huevos (Fig. 4.3.12 a la 4.3.14).

El Hierro y Manganeso presentan valores que sobrepasan los valores NOEC para esta especie (Fig. 4.3.12 y 4.3.14) en todas las estaciones, a excepción del Manganeso en la estación Santa Clara durante la temporada de bajo caudal hídrico, entre los años 2014 y 2017; posterior a ello, las concentraciones de este metal sobrepasan los valores NOEC.

El Aluminio presenta una disminución de sus concentraciones durante el año 2016, en la mayoría de las estaciones, registrándose concentraciones por debajo de los valores NOEC, excepto en Rucaco y Punucapa, durante la temporada de mayor caudal hídrico, y en el río Cayumapu durante abril. Por el contrario durante los años 2017 y 2018, las concentraciones de este metal aumentaron sobrepasando los valores NOEC para esta especie, en todas las estaciones. Durante el último año de Monitoreo las concentraciones de este metal se mantuvieron sobre los valores NOEC para esta especie, replicando el patrón registrado en años anteriores, excepto durante la temporada de abril en las estaciones río Cayumapu y río Calle Calle (Fig. 4.3.13).

Para las seis especies locales restantes (Tabla 4.3.1), los valores registrados durante el periodo comprendido entre los años 2014 y 2019 en las concentraciones de Hierro (valores extremos de 249,2 µg/L en el río Cayumapu durante julio 2017 y 4,9 µg/L en Punucapa durante abril 2019) (Tabla 4.3.2), Aluminio (valores extremos de 48,7 y 1,3 µg/L en el río Cayumapu durante julio y abril 2015, respectivamente) (Tabla 4.3.3) y Manganeso (valores extremos de 37,5 µg/L en el río Pichoy durante julio 2017 y 0,2 µg/L en Santa Clara durante abril 2015)(Tabla 4.3.4) disueltos en el agua superficial de las ocho estaciones monitoreadas, no alcanzaron valores próximos a los indicados por Encina *et al.* (2011) como concentraciones posibles de producir efectos adversos en las especies utilizadas por estos autores. Por el contrario, las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disueltos en el agua se encuentran por debajo de las concentraciones nocivas reportadas por ese estudio en cuestión (Tablas 4.3.2 a 4.3.4).

La integración de los resultados de Encina *et al.* (2011) con las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disueltos en el agua de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC, se presenta en las Figuras 4.3.3 a la 4.3.23. Debido a las grandes diferencias en las magnitudes de los valores representados en los ejes “Y” de los gráficos (concentraciones de metales), fue necesario utilizar escalas logarítmicas para reducir esas diferencias a rangos más cercanos y obtener así una representación más apropiada para una mejor comprensión gráfica de los resultados.

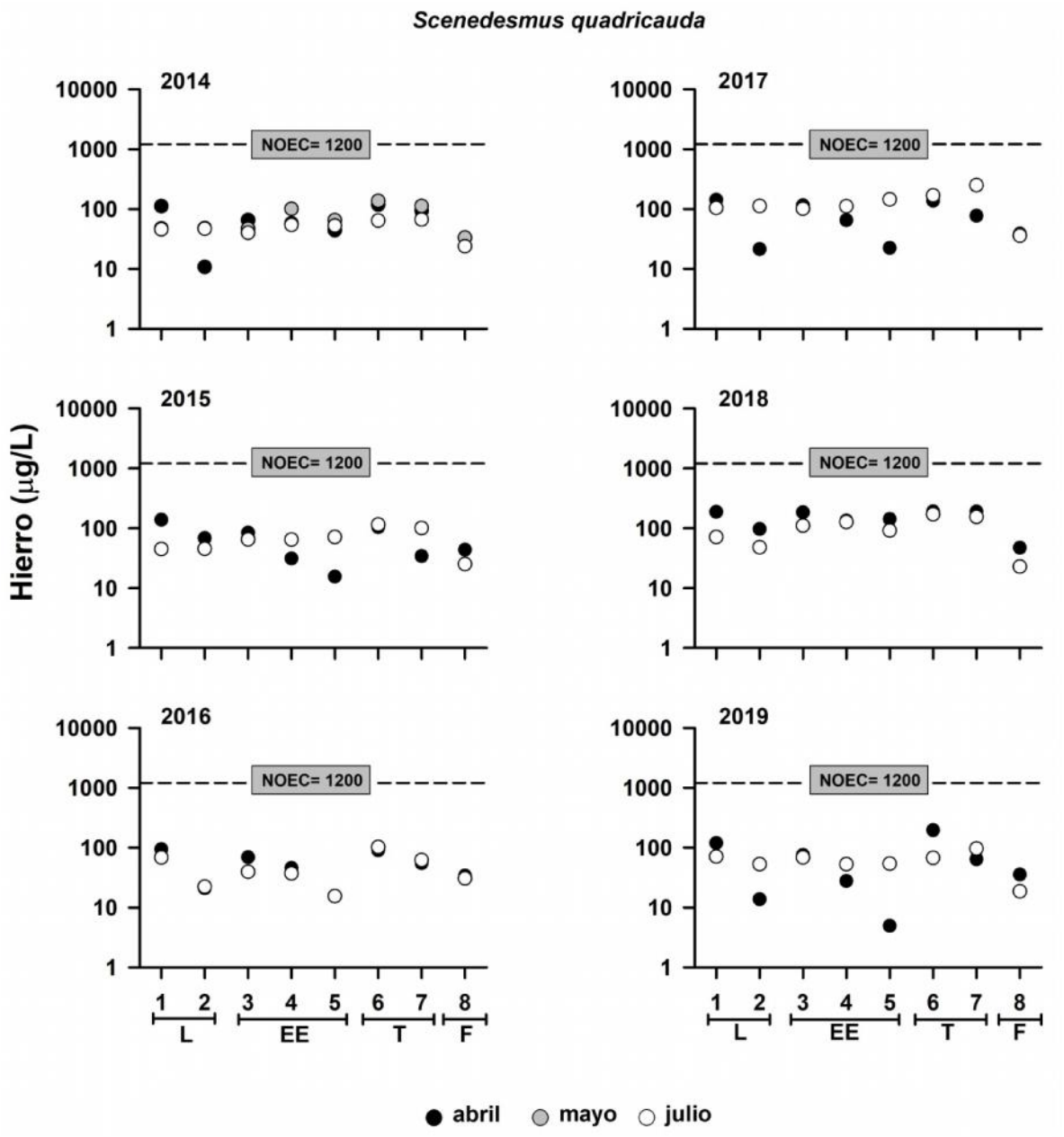


Figura 4.3.3. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Hierro disuelto en la especie *Scenedesmus quadricauda* sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnico o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

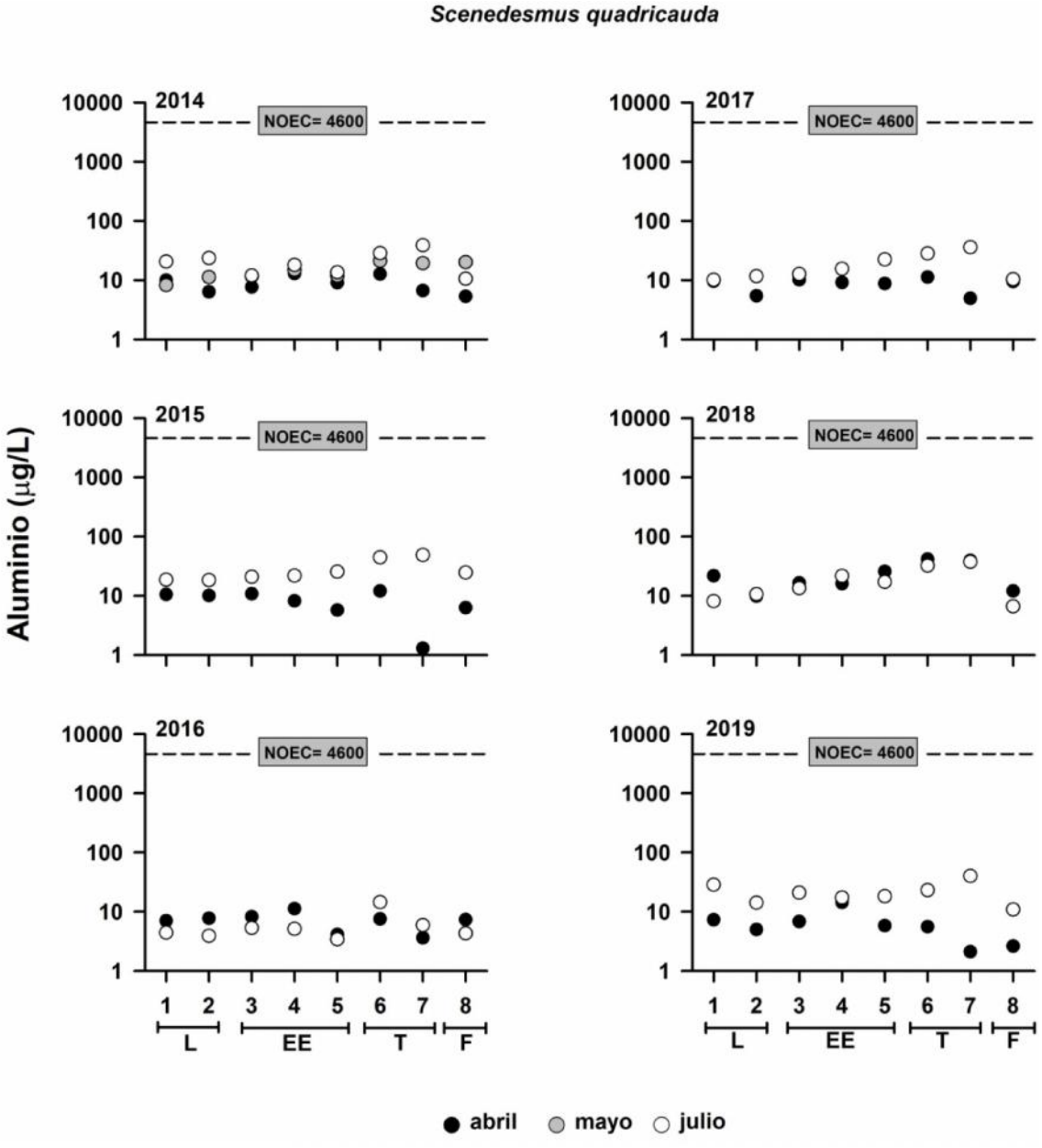


Figura 4.3.4. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Aluminio disuelto en la especie *Scenedesmus quadricauda* sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnico o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

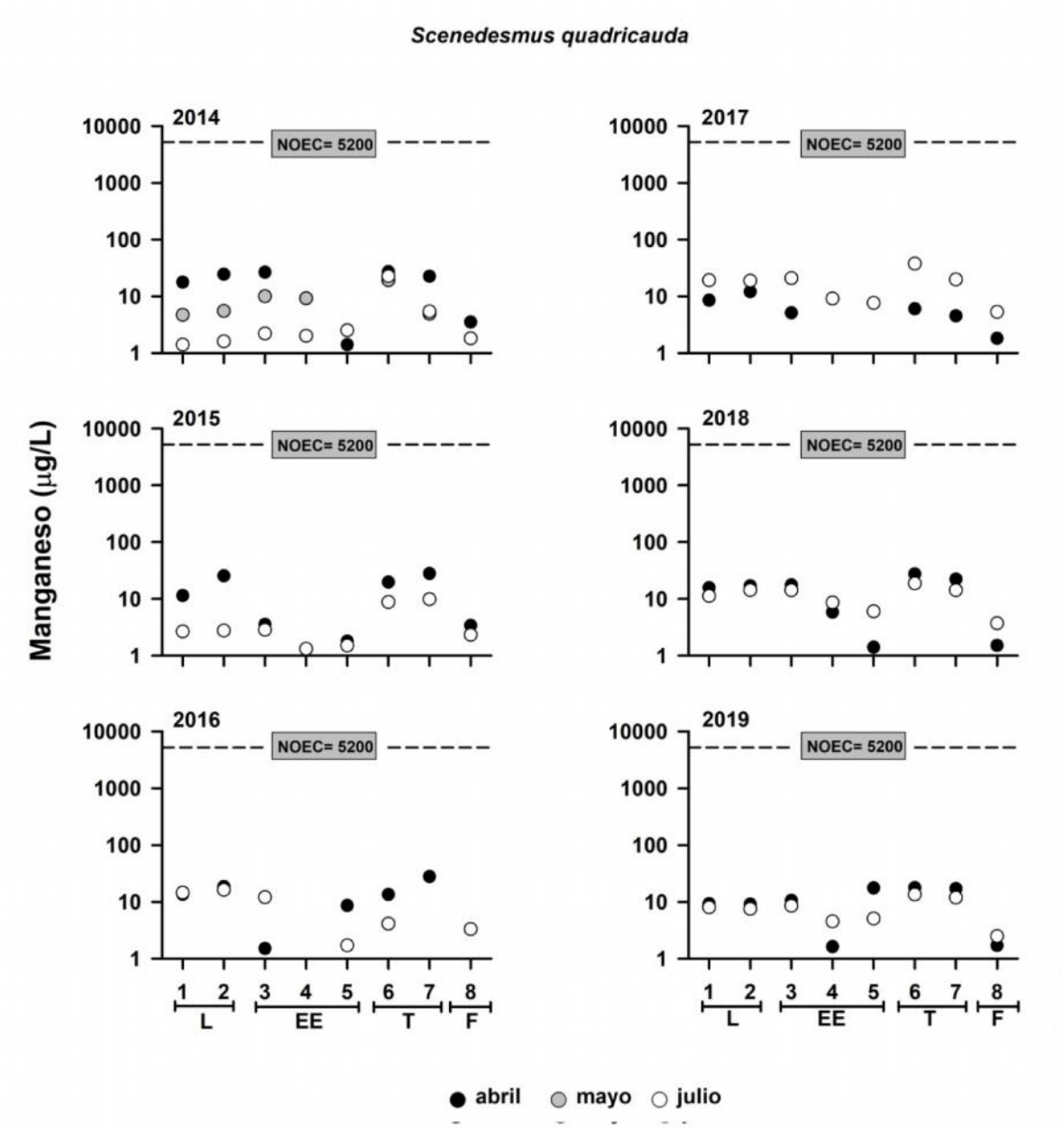


Figura 4.3.5. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Manganeso disuelto en la especie *Scenedesmus quadricauda* sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnico o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

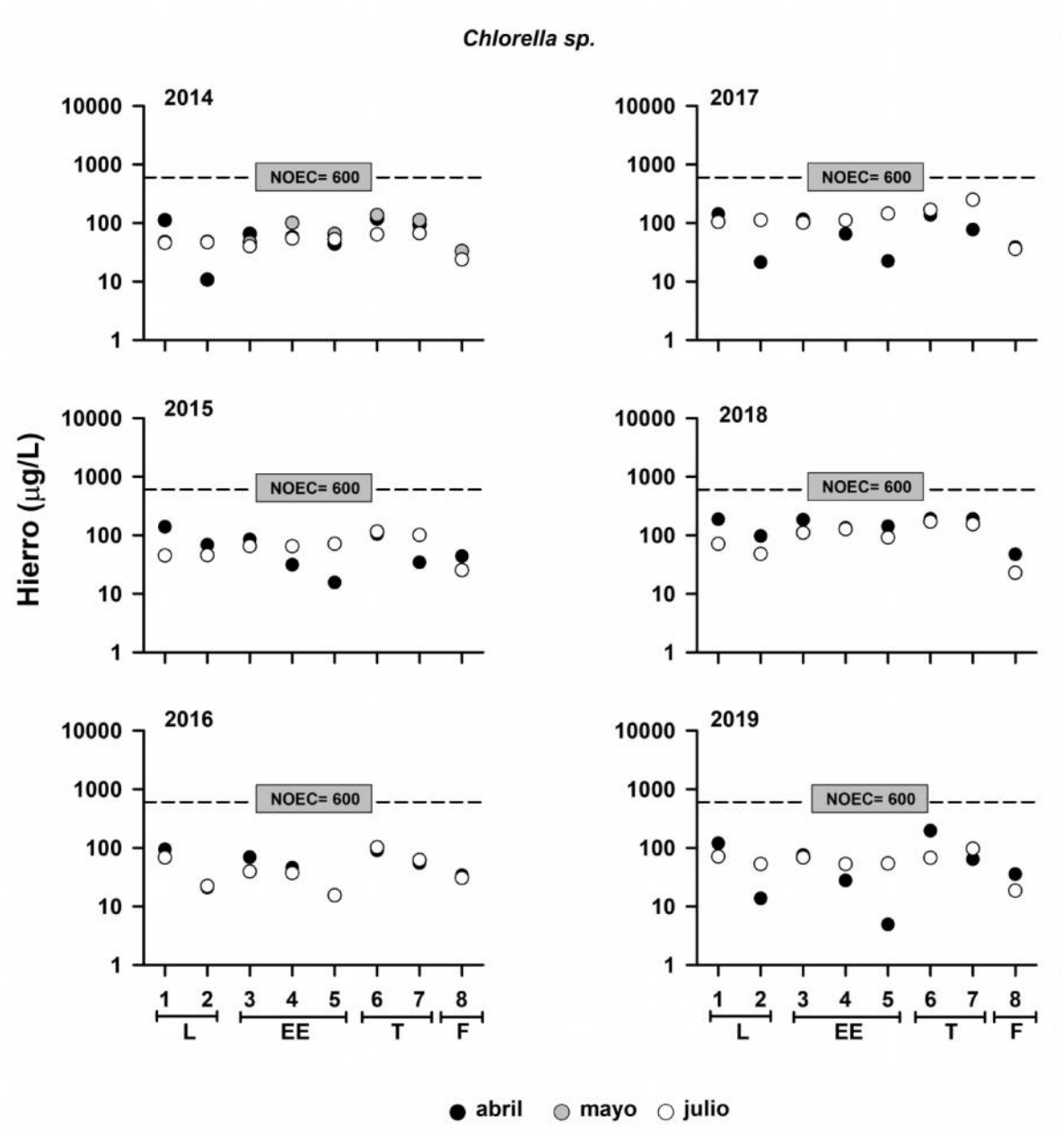


Figura 4.3.6. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Hierro disuelto en la especie *Chlorella sp.* sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnico o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

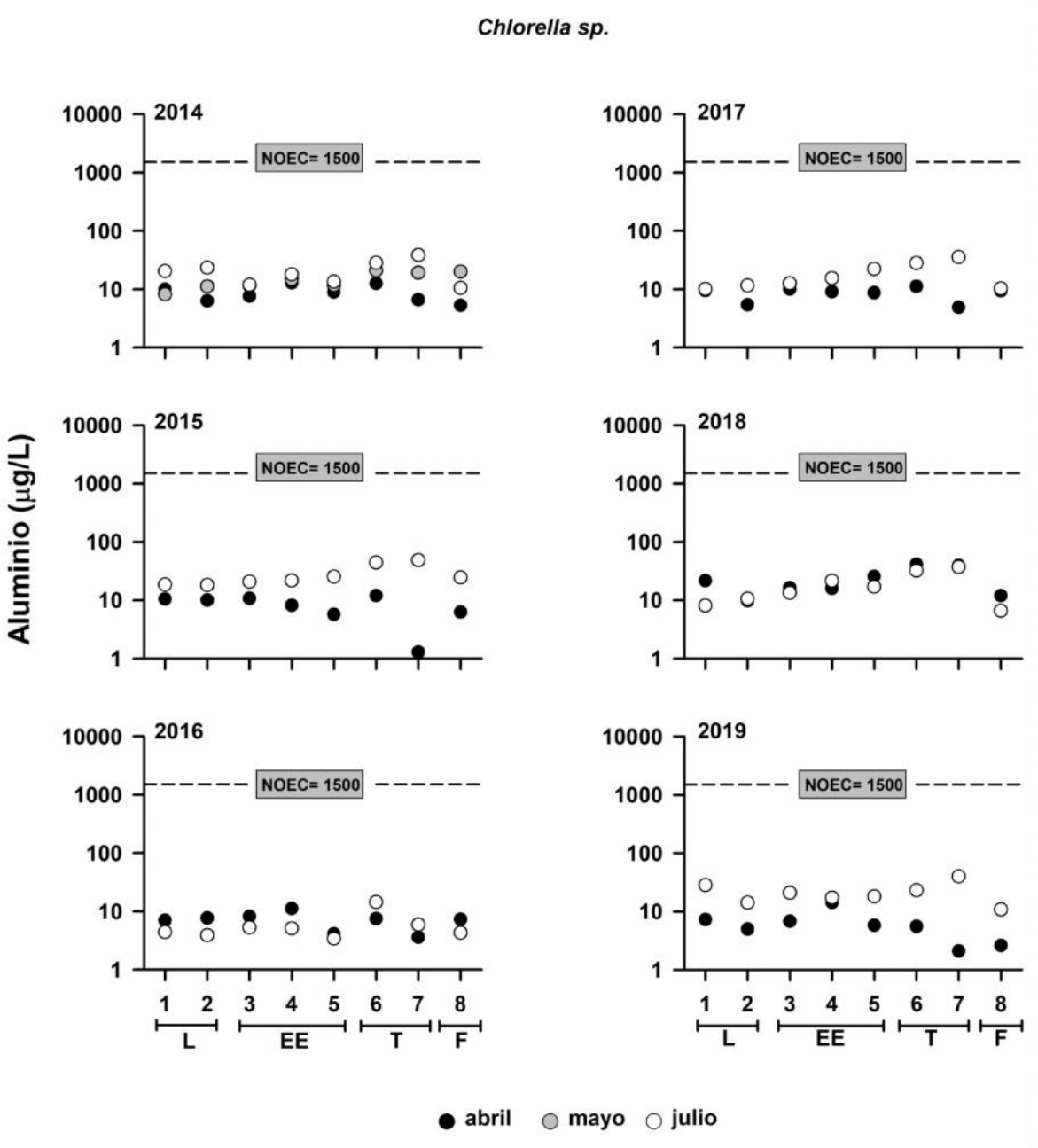


Figura 4.3.7. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Aluminio disuelto en la especie *Chlorella sp.* sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnico o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

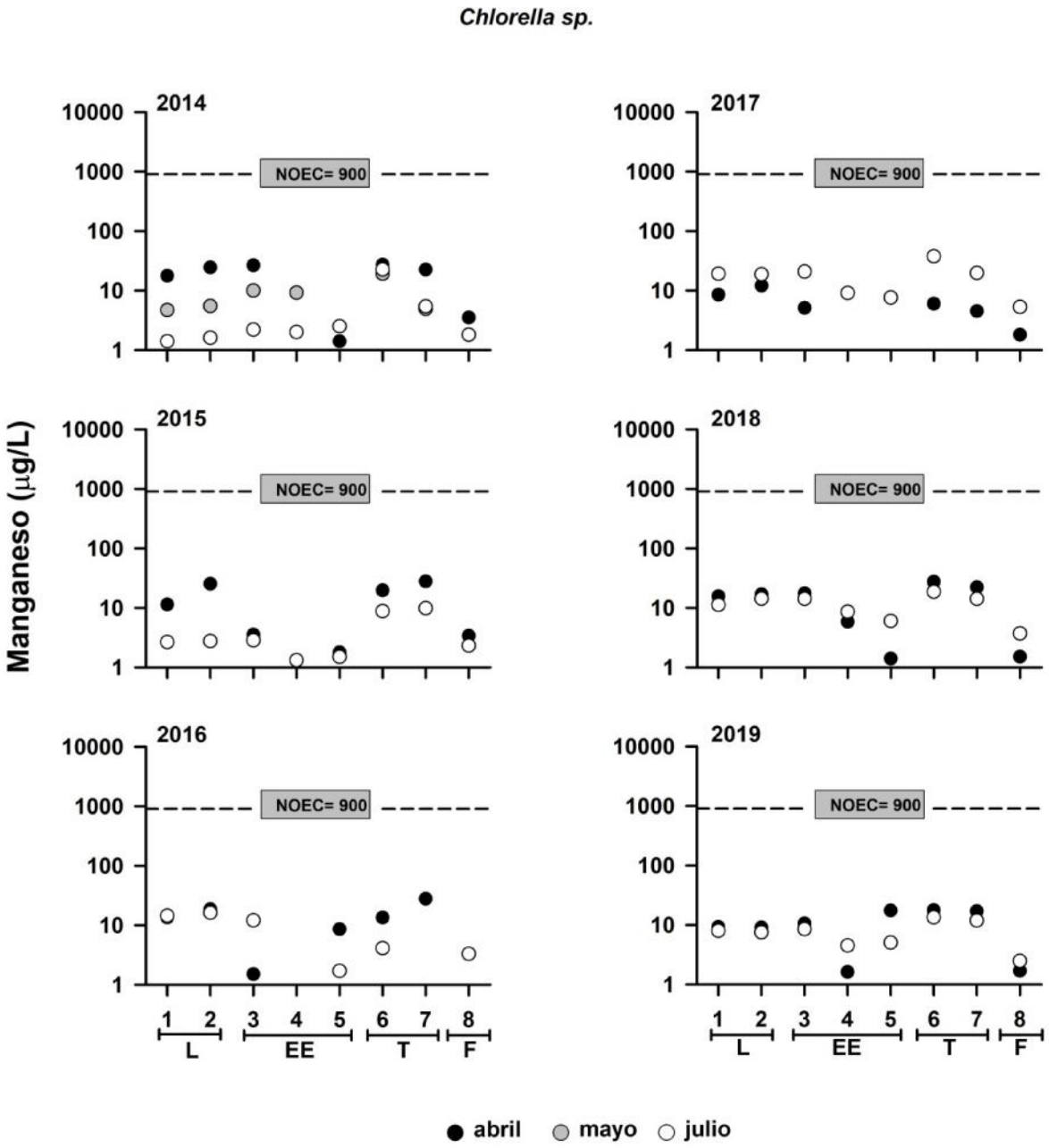


Figura 4.3.8. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Manganeso disuelto en la especie *Chlorella sp.* sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnico o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

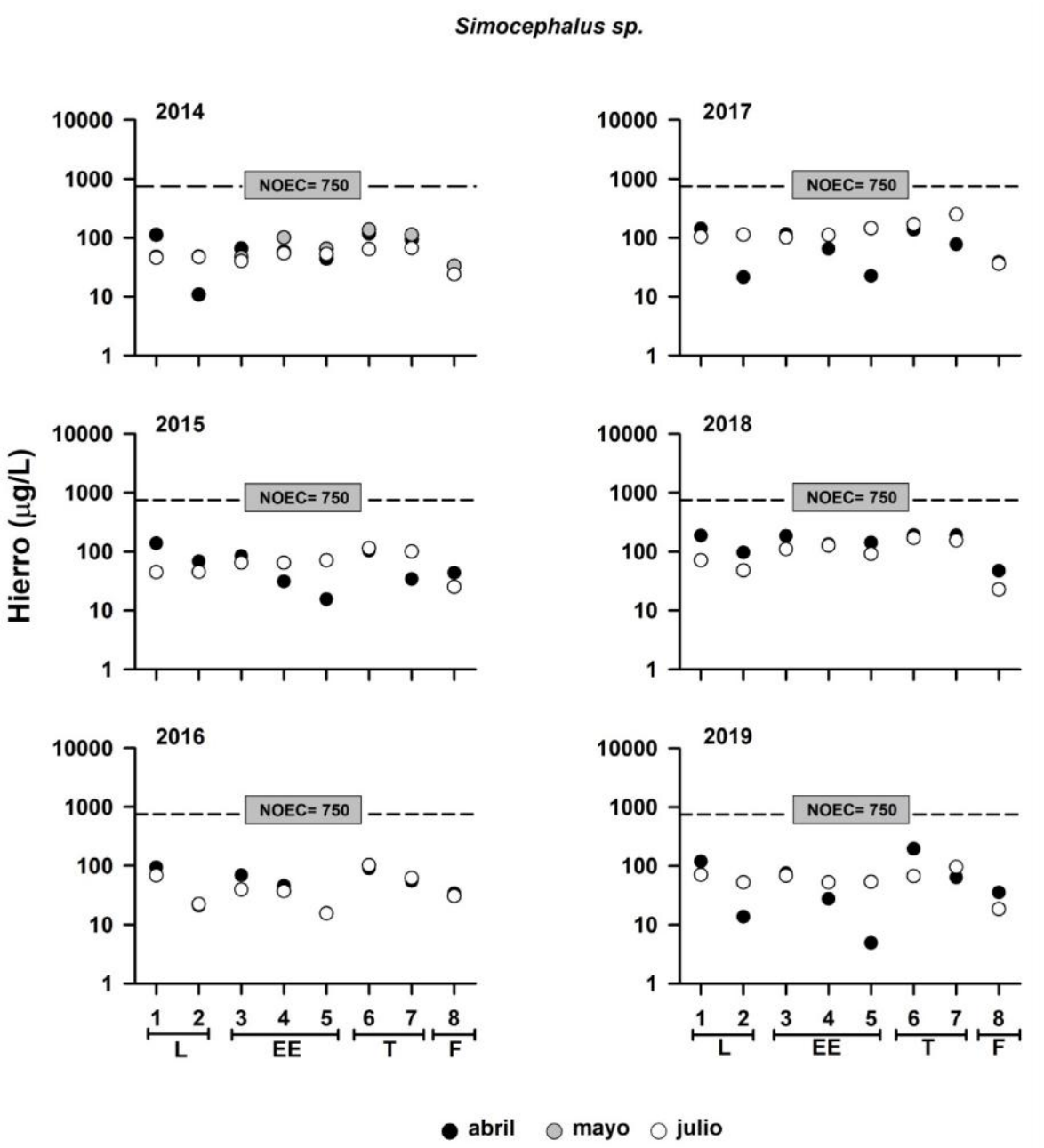


Figura 4.3.9. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Hierro disuelto en la especie *Simocephalus sp.* sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnico o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

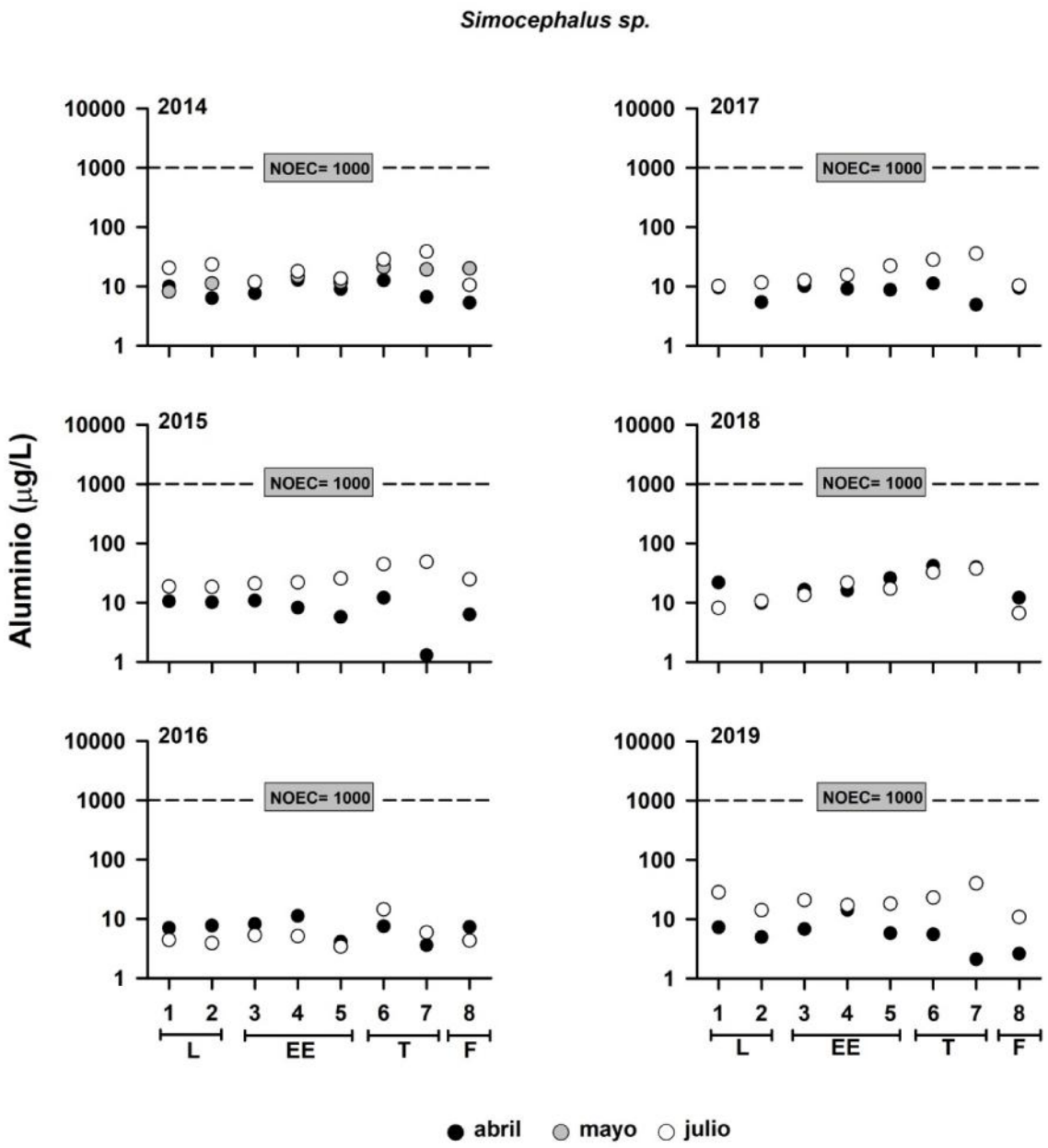


Figura 4.3.10. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Aluminio disuelto en la especie *Simocephalus sp.* sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnico o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

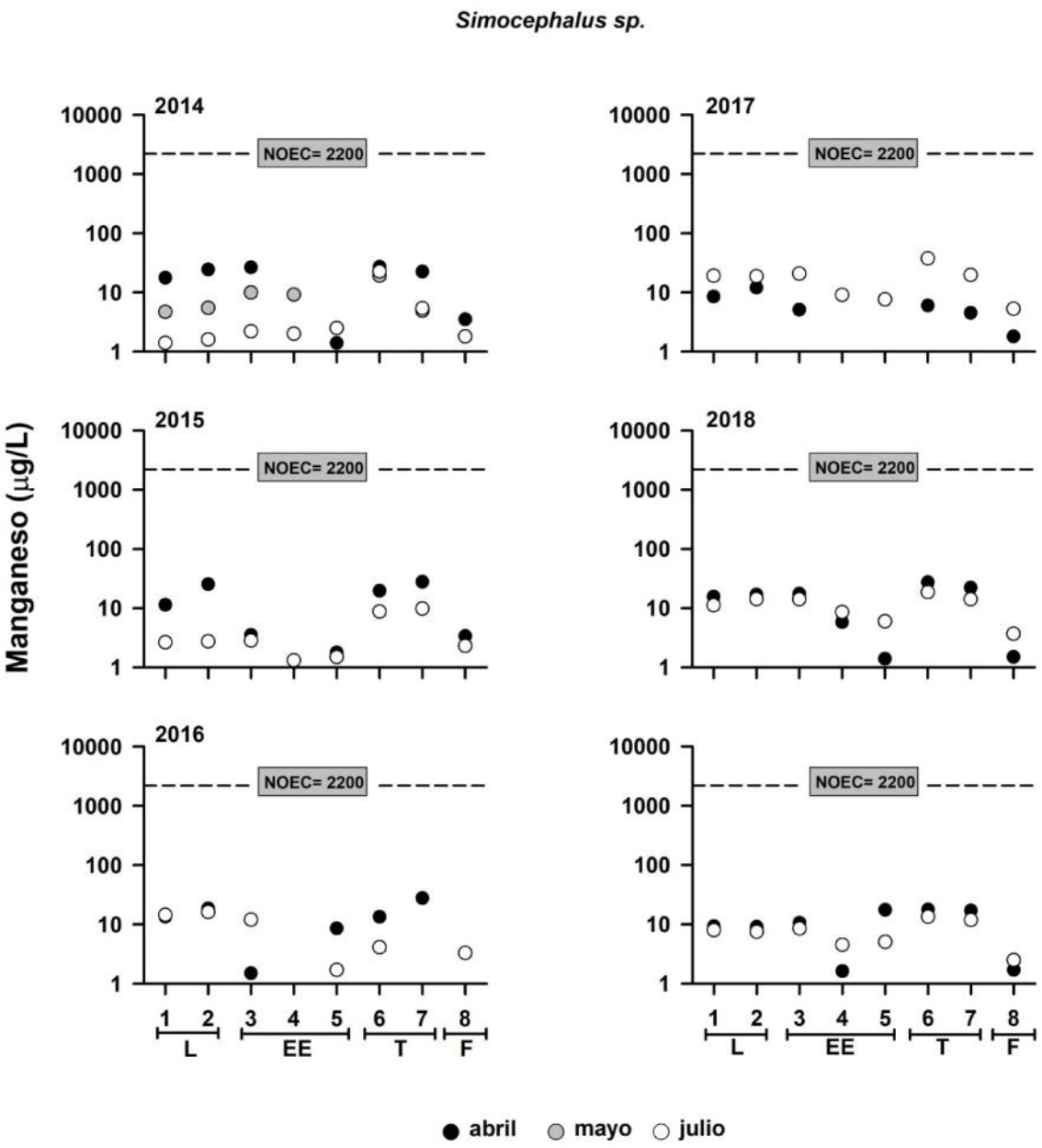


Figura 4.3.11. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Manganeso disuelto en la especie *Simocephalus sp.* sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnico o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

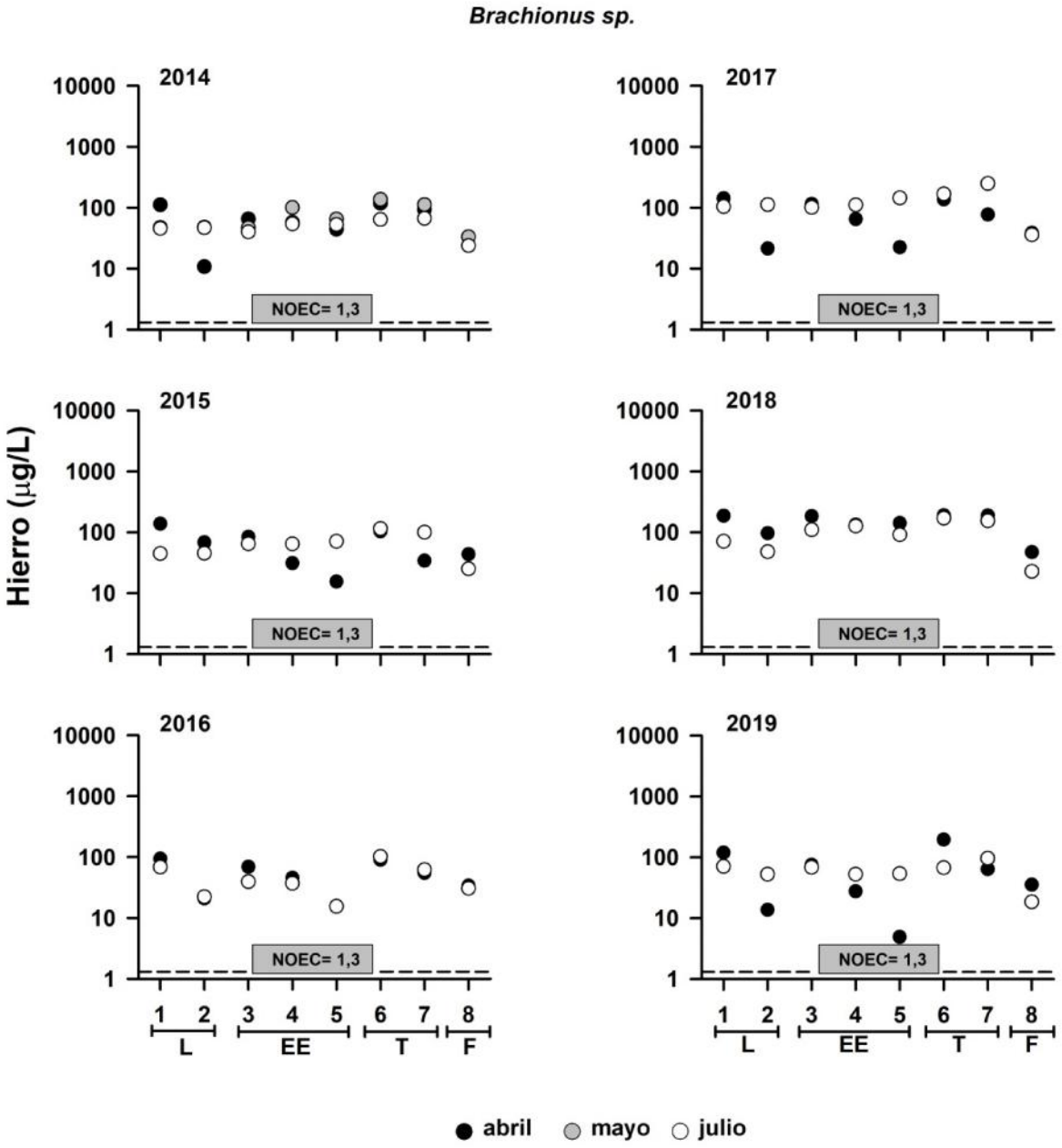


Figura 4.3.12. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Hierro disuelto en la especie *Brachionus sp.* sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnico o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

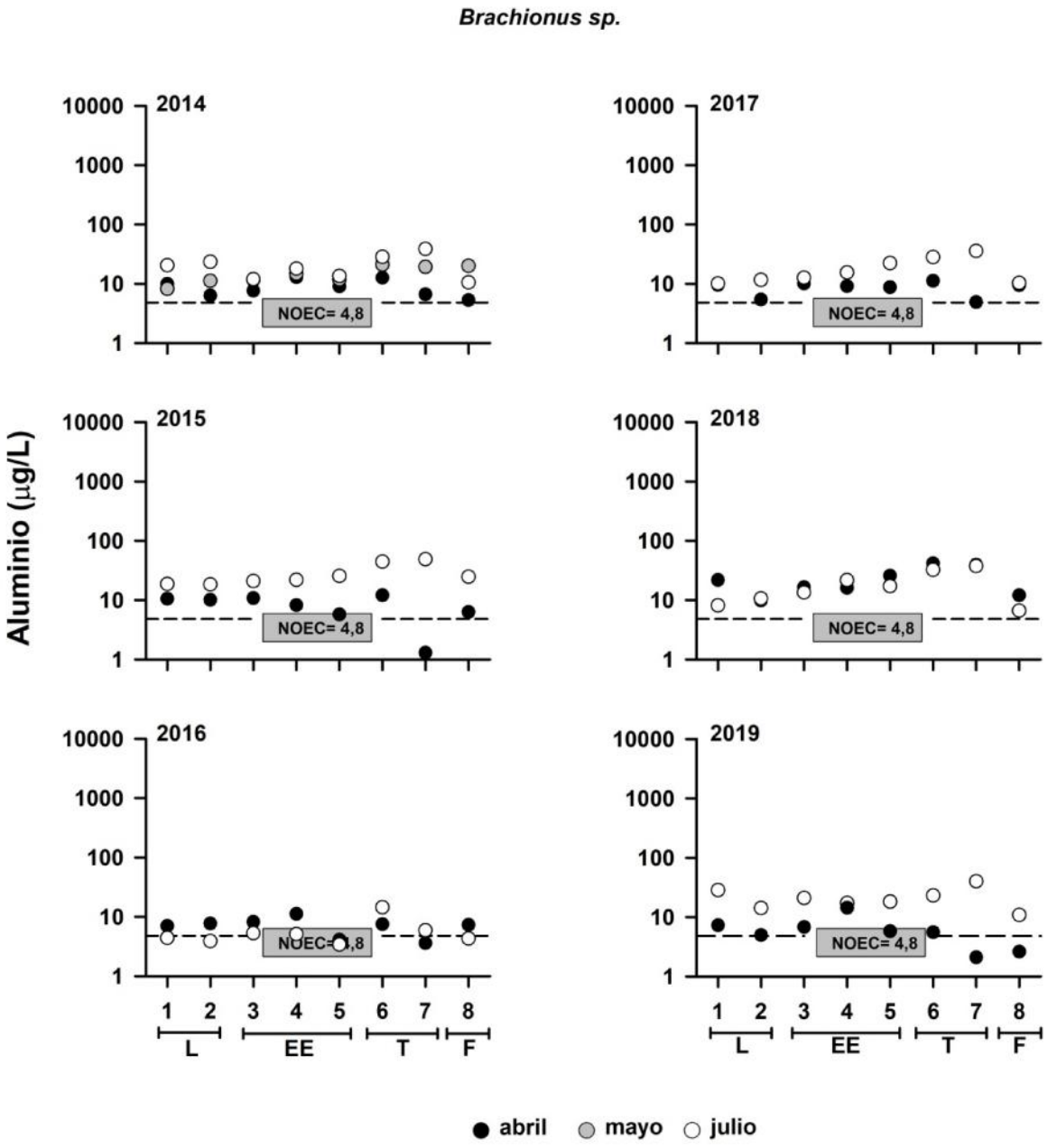


Figura 4.3.13. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Aluminio disuelto en la especie *Brachionus sp.* sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnico o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

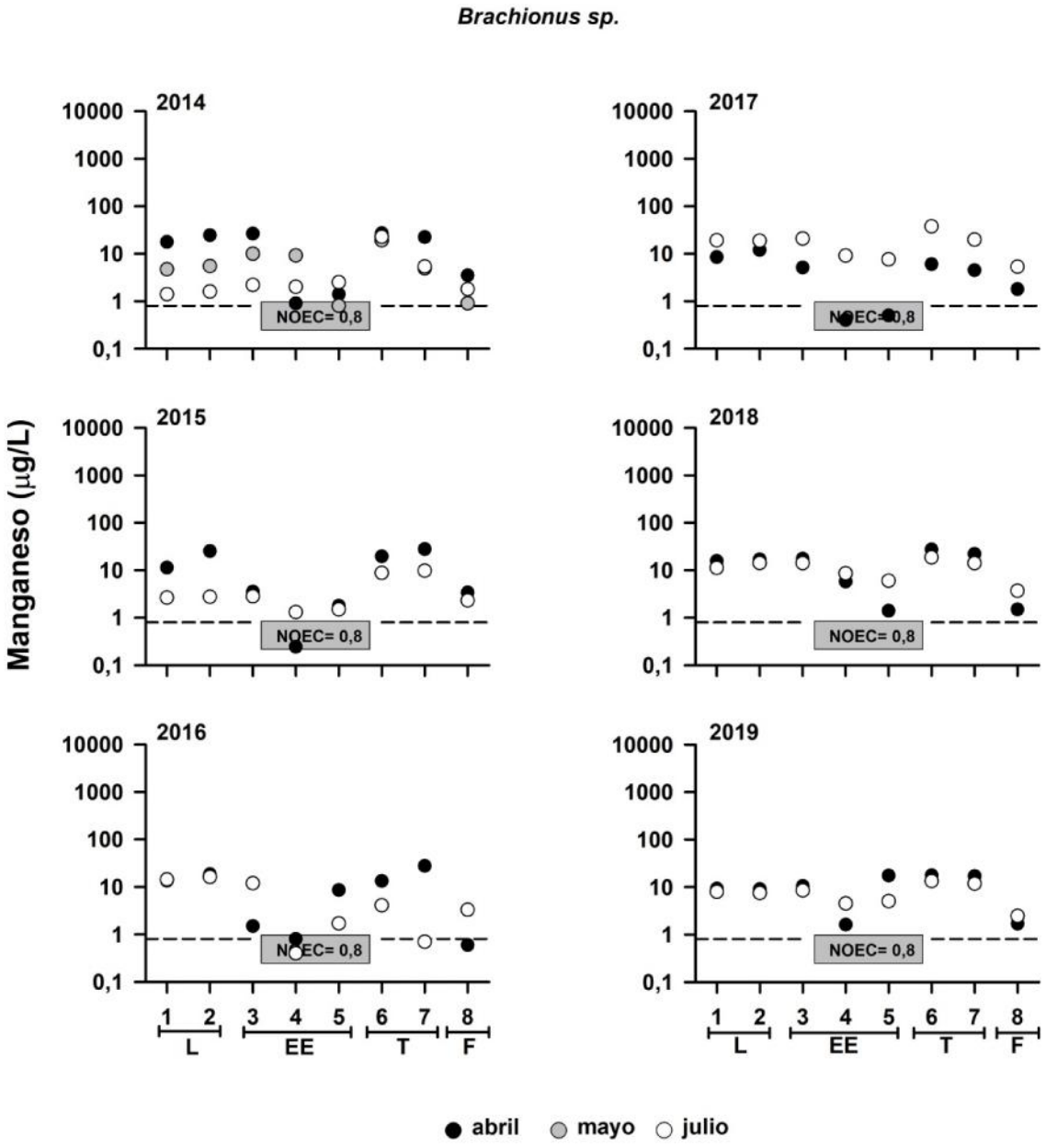


Figura 4.3.14. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Manganeso disuelto en la especie *Brachionus sp.* sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnico o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

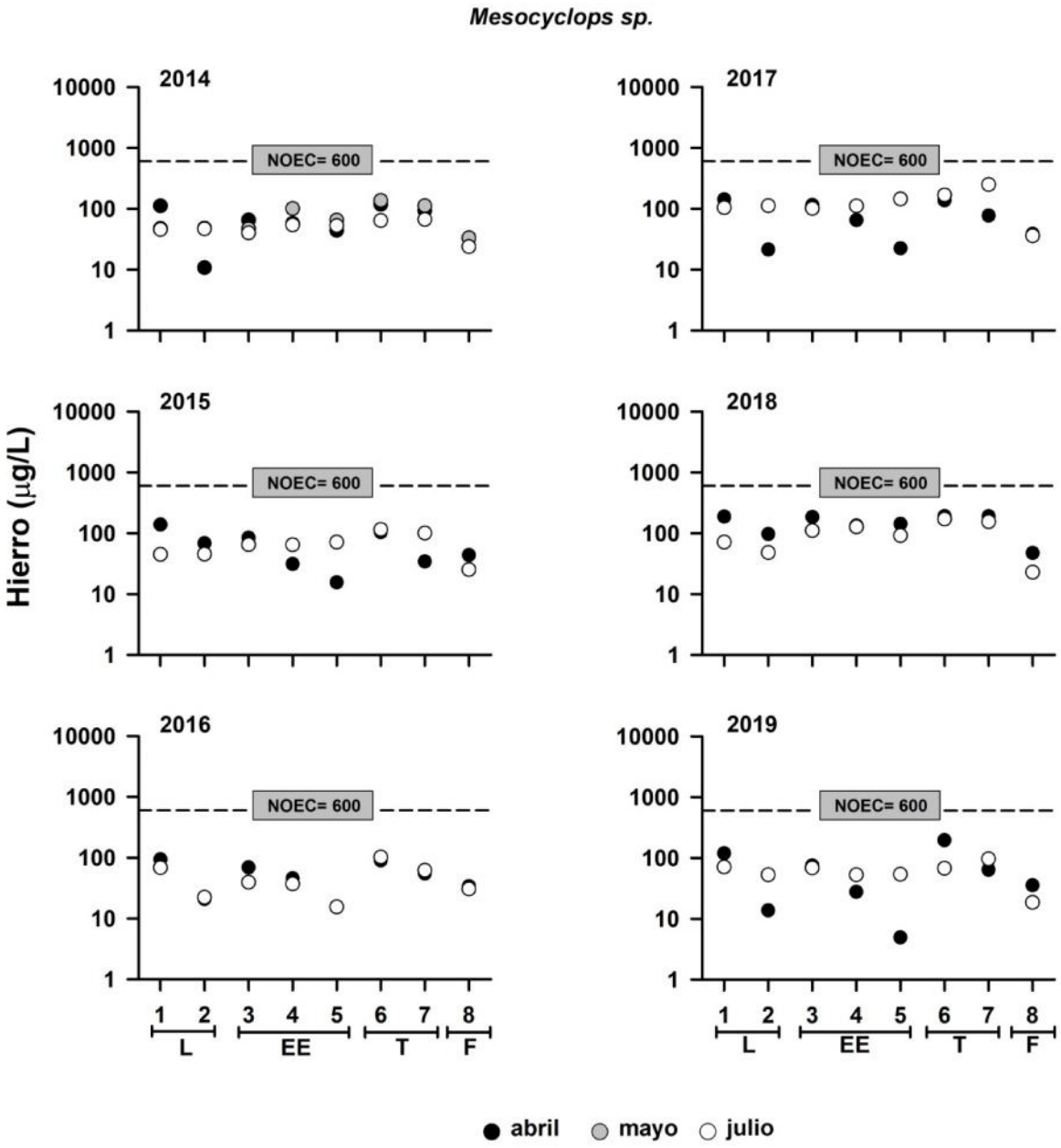


Figura 4.3.15. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Hierro disuelto en la especie *Mesocyclops sp.* sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnico o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

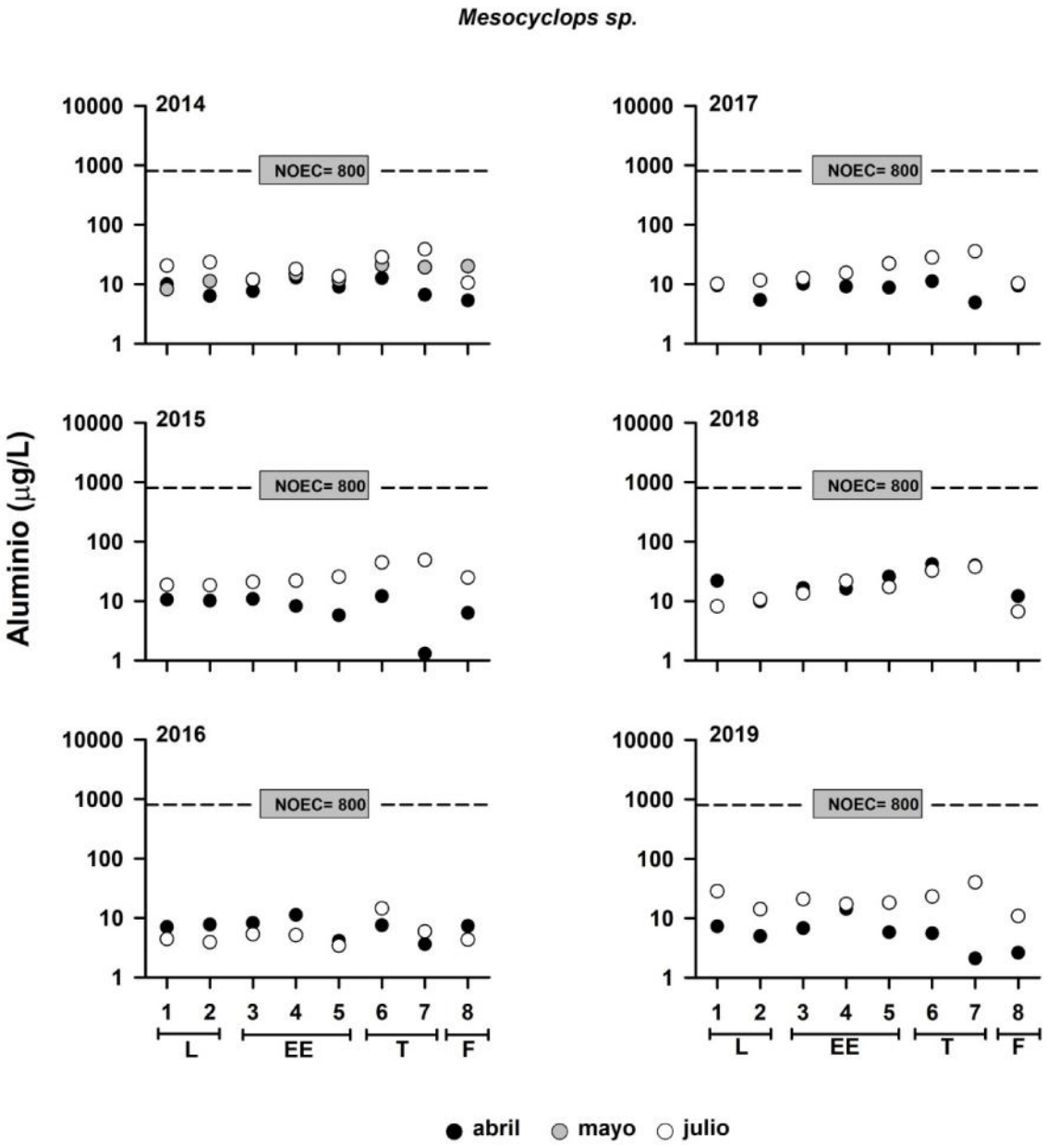


Figura 4.3.16. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Aluminio disuelto en la especie *Mesocyclops sp.* sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnico o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

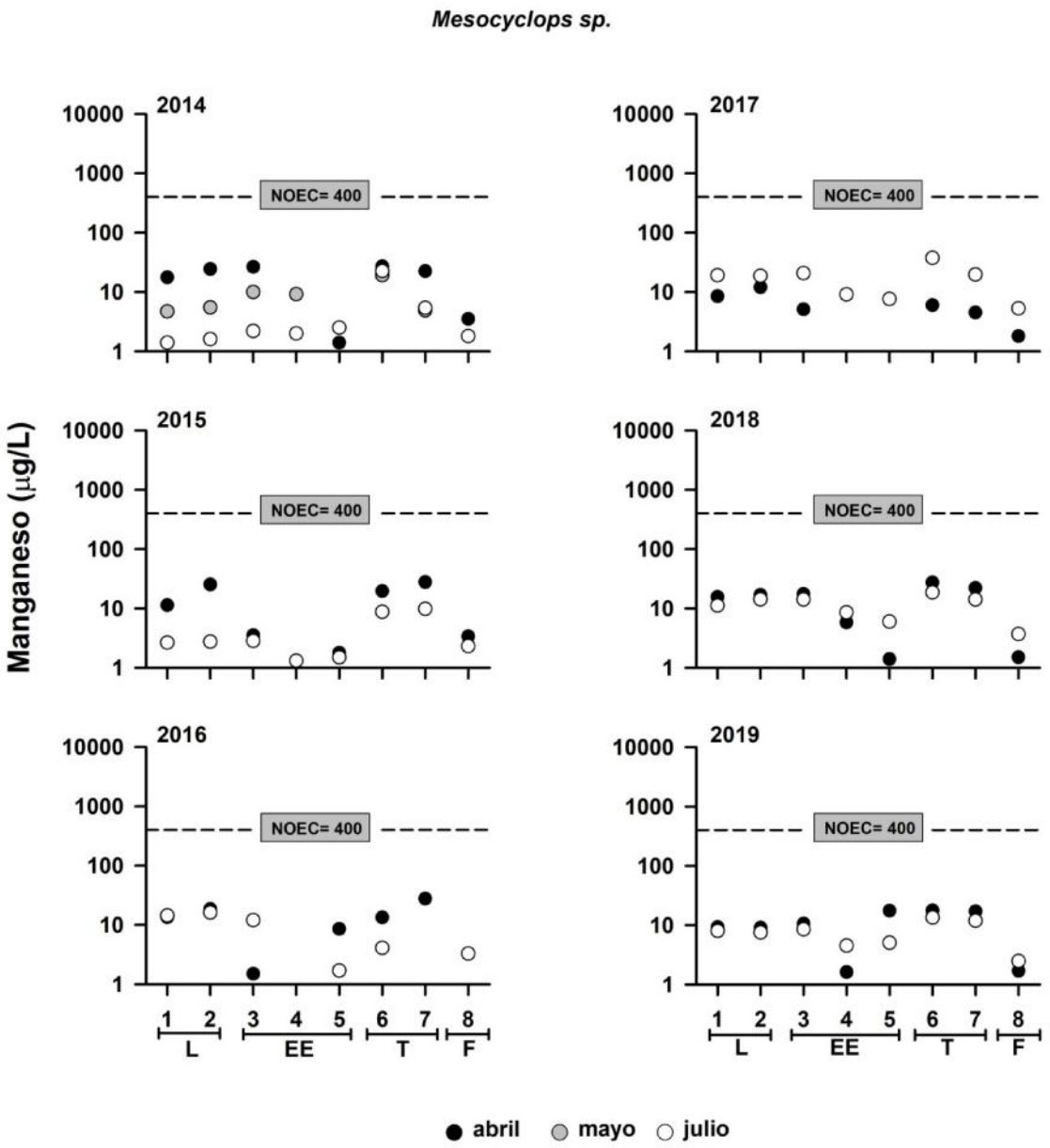


Figura 4.3.17. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Manganeso disuelto en la especie *Mesocyclops sp.* sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnico o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

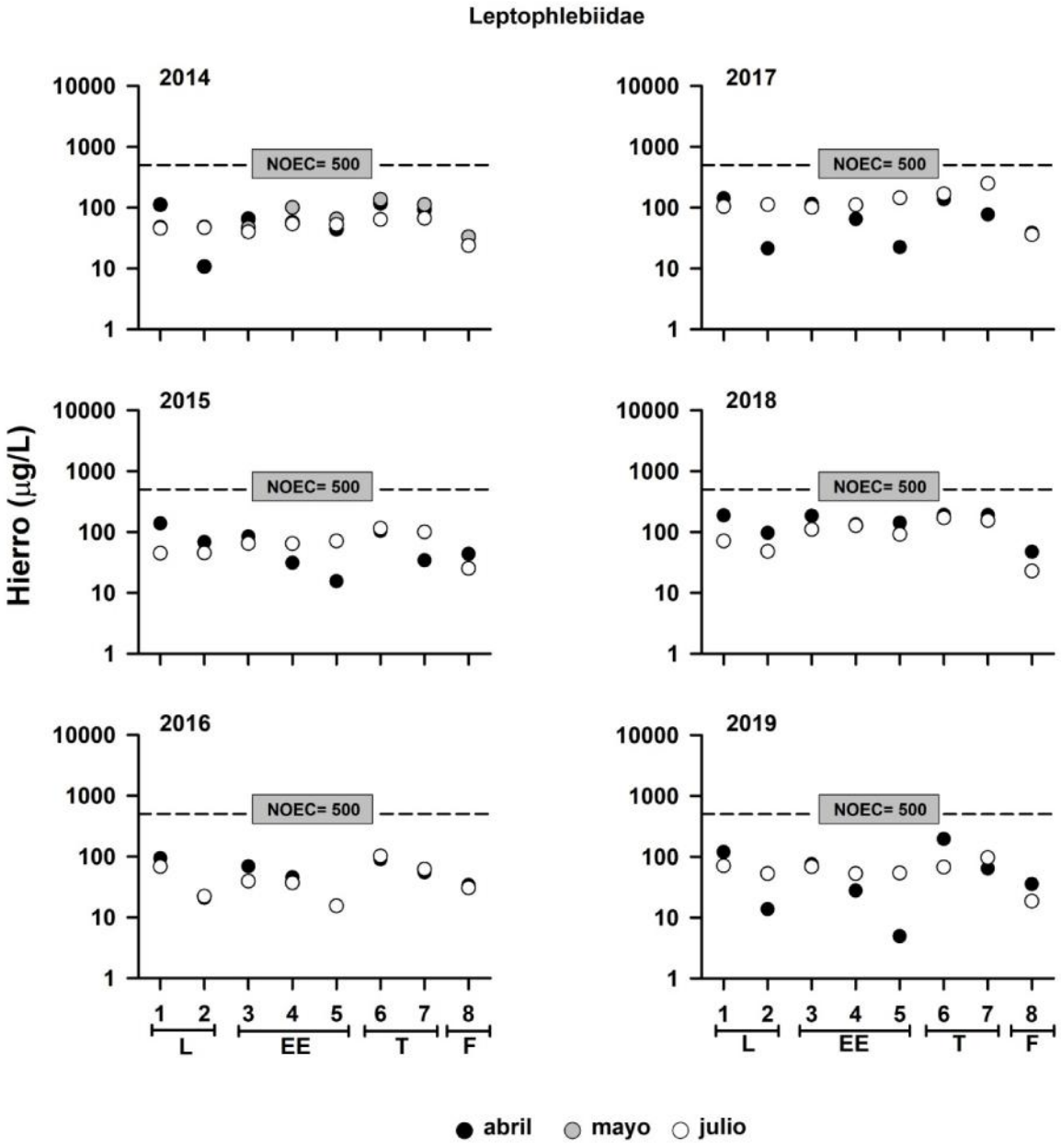


Figura 4.3.18. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Hierro disuelto en la especie Leptophlebiidae sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnico o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

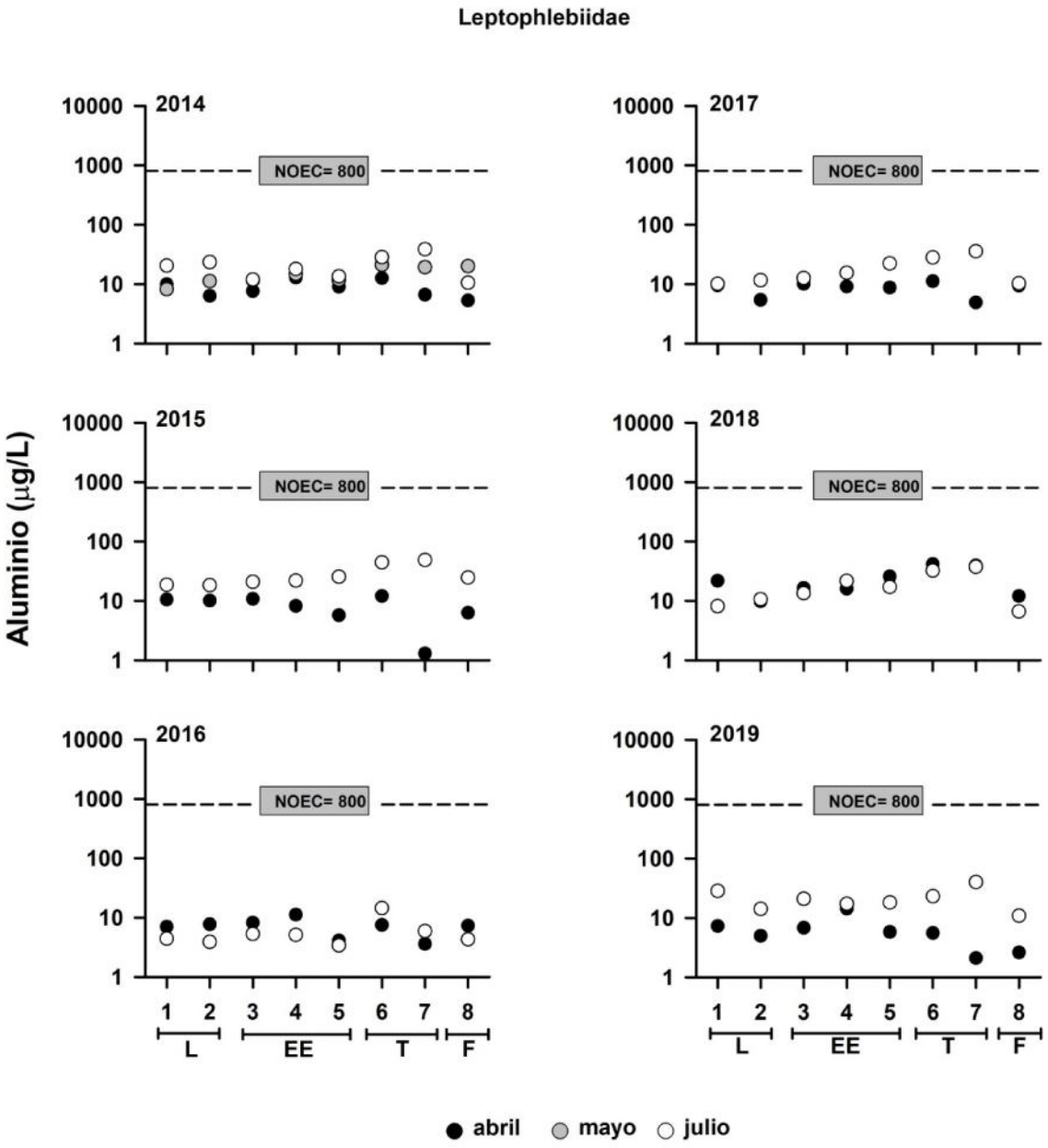


Figura 4.3.19. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Aluminio disuelto en la especie Leptophlebiidae sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnico o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

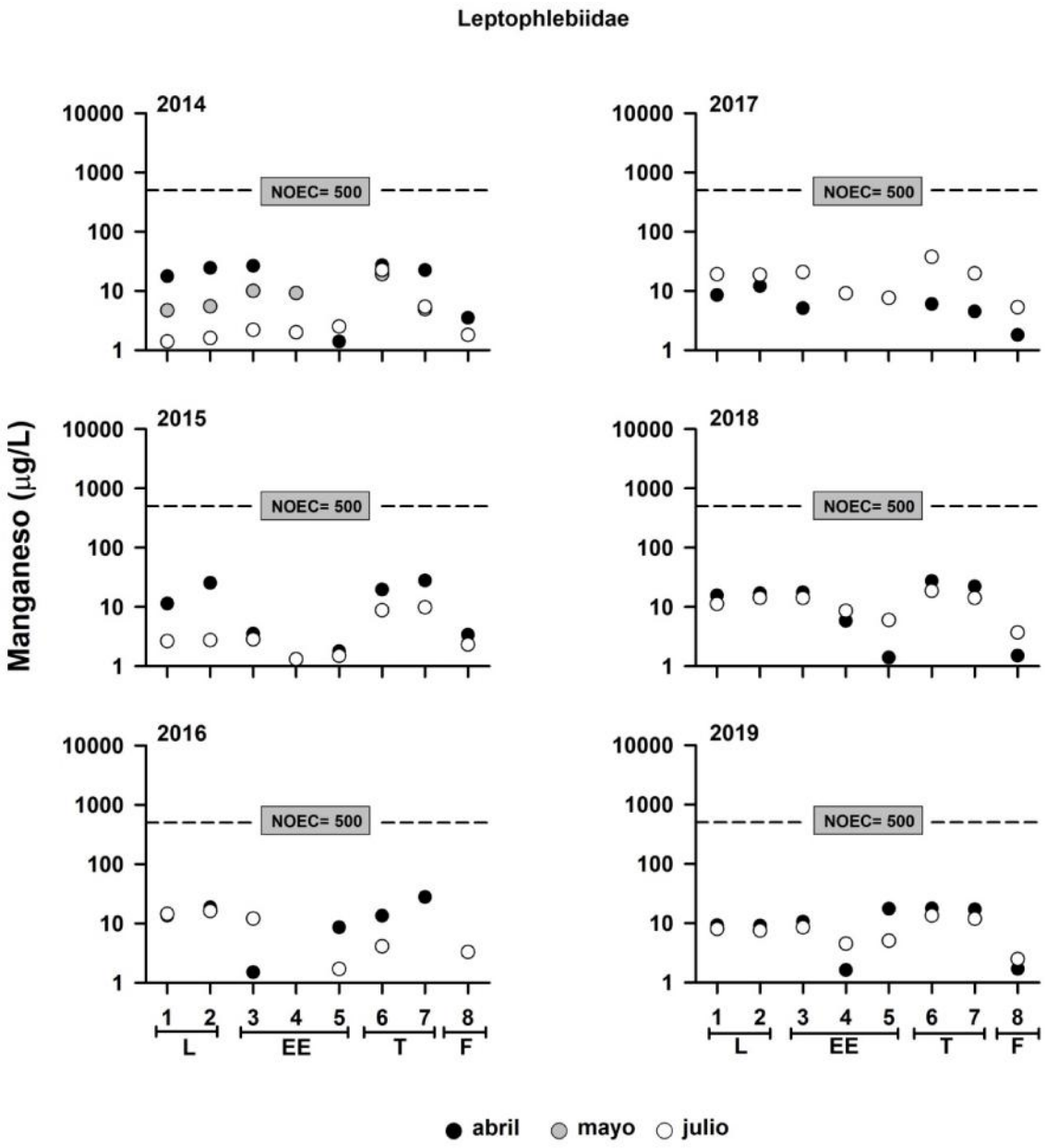


Figura 4.3.20. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Manganeso disuelto en la especie Leptophlebiidae sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnico o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

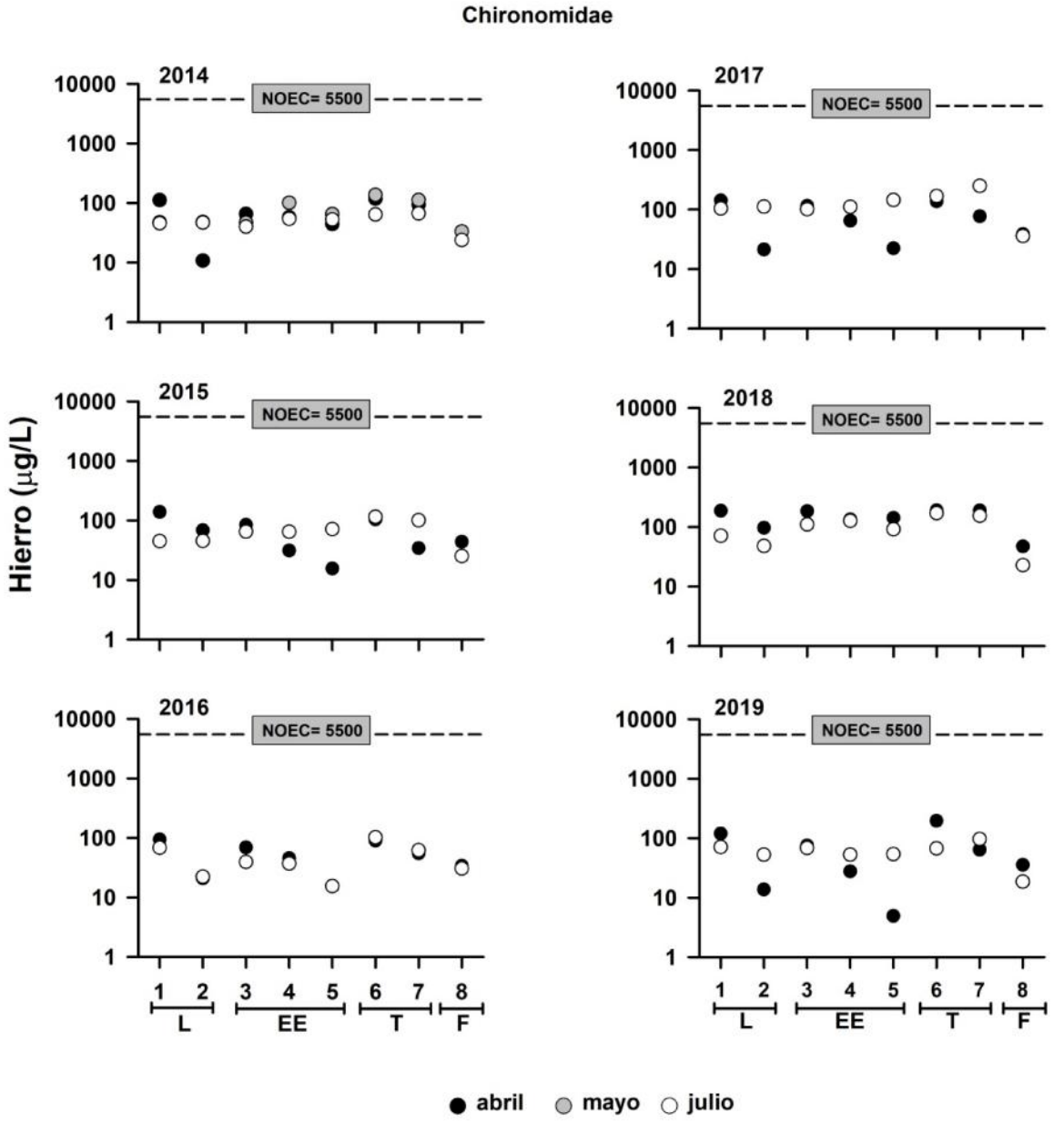


Figura 4.3.21. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Hierro disuelto en la especie Chironomidae sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnico o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

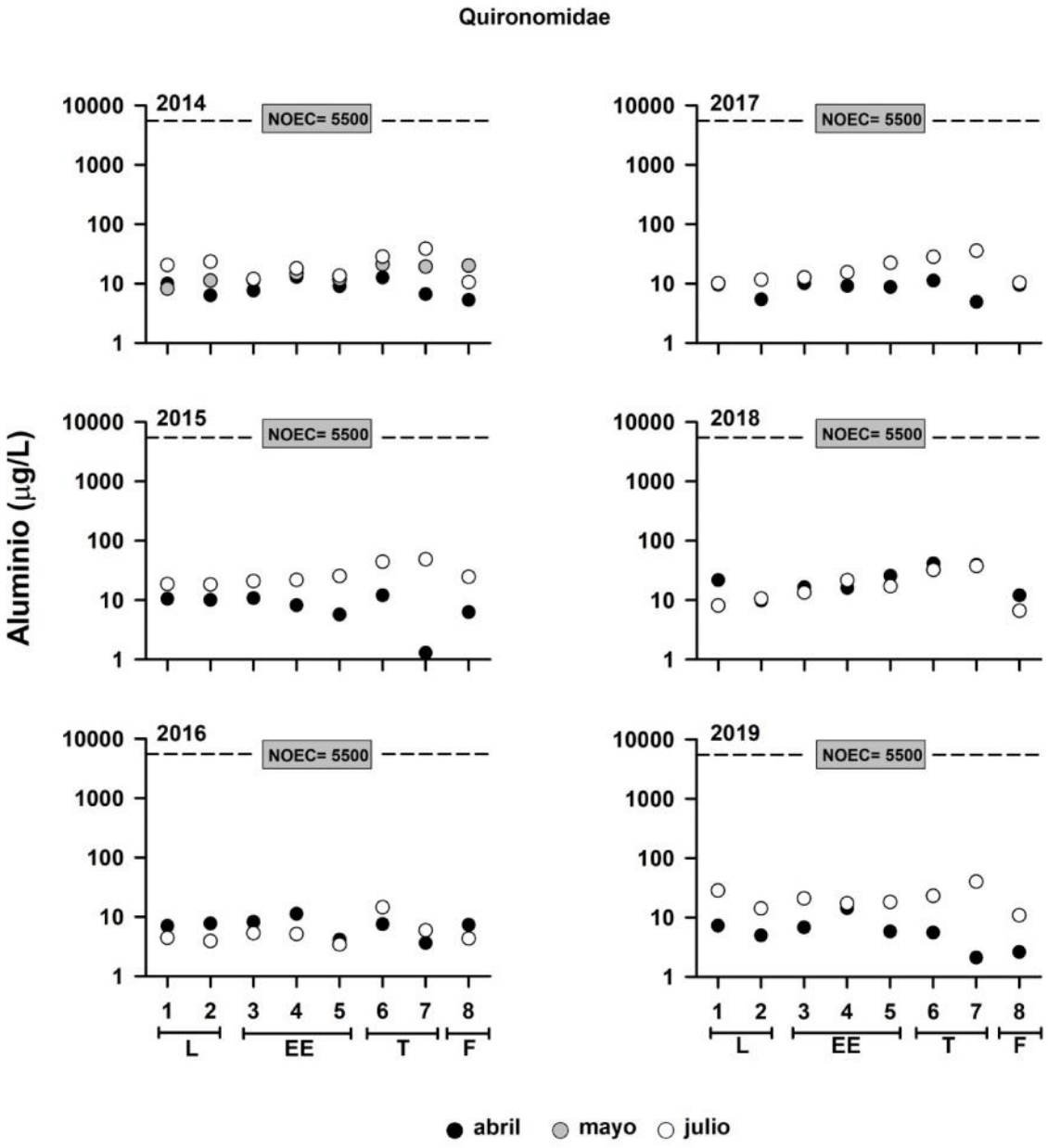


Figura 4.3.22. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Aluminio disuelto en la especie Chironomidae sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnico o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

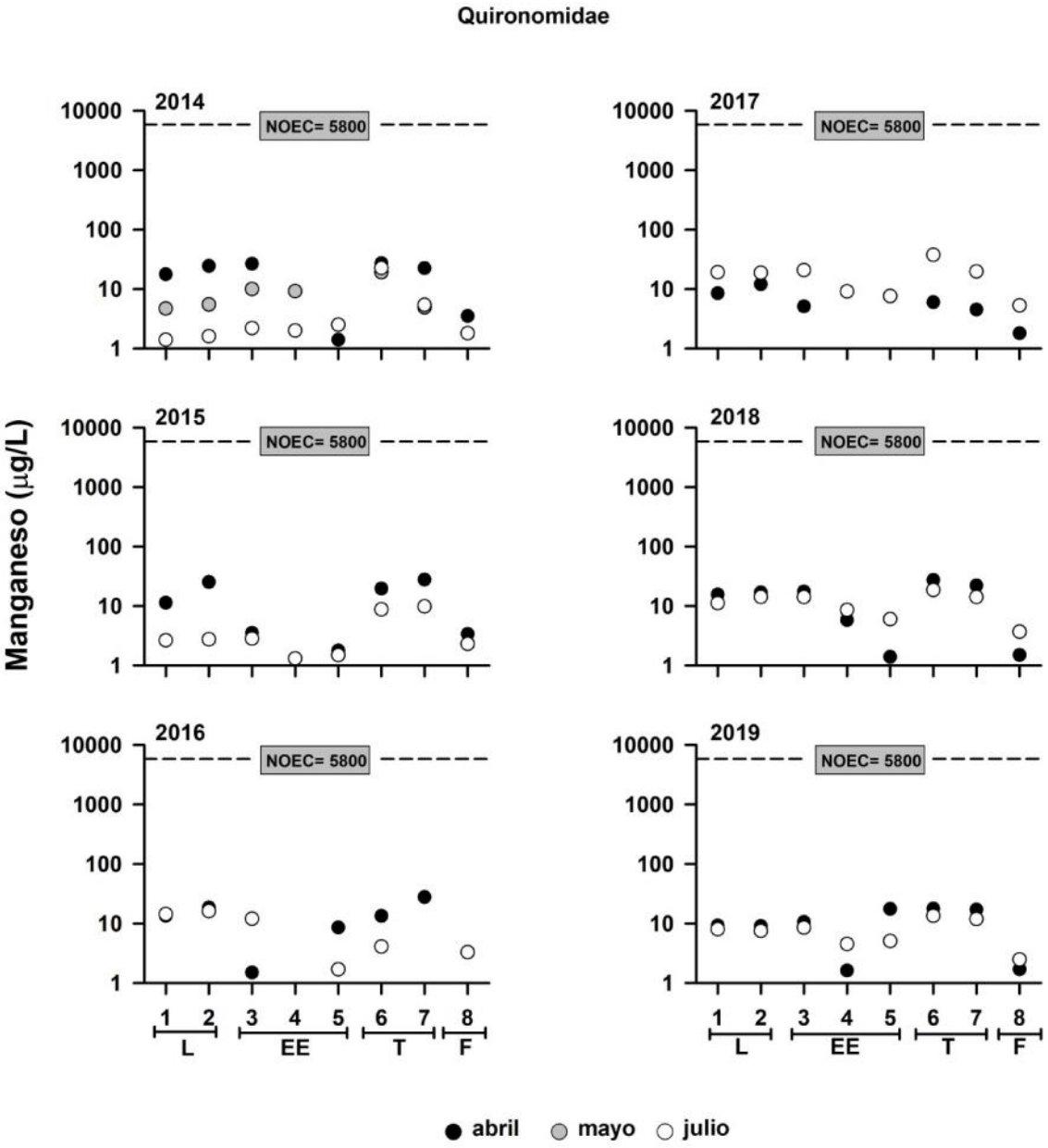


Figura 4.3.23. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Manganeso disuelto en la especie Chironomidae sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC. Las estaciones de muestreo se agrupan en cuatro sectores: límnico o L (estaciones 1 y 2), eje central y estuarial del río Cruces o EE (estaciones 3, 4 y 5), ríos tributarios o T (estaciones 6 y 7) y fuera del humedal del río Cruces o F (estación 8). Nótese que la escala del eje Y es logarítmica.

4.3.5. Discusión

Los análisis comparativos realizados en este estudio, evidencian que de mantenerse las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disuelto en aguas superficiales del HRC y sus ríos tributarios (rangos registrados en el periodo 2014-2019), estas no presentarían ningún riesgo ecológico potencial en las especies objetivo seleccionadas para este estudio, con excepción del rotífero *Brachionus* sp.

4.3.6. Conclusiones

- Durante el periodo comprendido entre los años 2014 y 2019, las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disuelto en el agua del área de estudio alcanzaron valores extremos de 249,2-4,9; 48,7-1,3 y 37,5-0,2 µg/L respectivamente.
- Las concentraciones registradas entre los años 2014 y 2019, estuvieron muy por debajo de las concentraciones que según Encina *et al.* (2011), producen efectos no observados (NOEC) en seis de las siete especies objetivo de estudio presentadas en la Tabla 4.13.1. La única especie en riesgo ecológico potencial sería un rotífero del género *Brachionus; i.e*. durante el período 2014 y 2019, los resultados de las concentraciones para Hierro, Aluminio y Manganeso en las aguas superficiales del área de estudio estuvieron sobre los valores NOEC detectados por Encina *et al*. (2011) para esta especie.
- Durante los años 2014 a 2017 las concentraciones de Manganeso en la estación Santa Clara se encontraban por debajo de los valores NOEC para *Brachionus* sp., posterior a esos años, las concentraciones aumentaron sobrepasando dichos valores.
- Durante abril de 2018 y en la totalidad de las estaciones de muestreo, las concentraciones de Hierro mostraron valores más altos en relación a los otros años de estudio. A su vez, durante julio 2015 el Aluminio presentó las mayores concentraciones en la totalidad de las estaciones de estudio y por último, el

Manganeso presentó concentraciones más altas durante el mes de julio de 2017, en todas sus estaciones.

- Por lo tanto, las actuales condiciones de calidad de agua en el área del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios y sólo en relación a las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disuelto, no presentan un riesgo ecológico para casi la totalidad de las especies locales contempladas por el estudio de Encina *et al.* (2011).

4.3.7. Referencias

Encina, F. 2009. Aproximación Ecotoxicológica y Evaluación de Riesgo Ecológico teórico en apoyo a la elaboración del Anteproyecto de Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de las aguas de la cuenca del río Valdivia. 185 pp.

Encina, F. 2011. Evaluación de Riesgo Ecológico (Crónico) para el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter como apoyo a la elaboración del Anteproyecto de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de las aguas de la cuenca del río Valdivia. 74 pp.

Newman, M. C., and M. A. Unger. 2003. Fundamentals of ecotoxicology. Second Edition. Lewis Publishers, CRC Press. Boca Raton, USA. 458 pp.

4.4. CAMBIOS DE USO DEL SUELO

4.4.1. Antecedentes

Una cuenca hidrográfica se entiende como un sistema de alta complejidad formado por el sistema natural, el sistema socio económico y el sistema construído, y las múltiples interacciones entre ellos. Estos sistemas de carácter socio ambiental, requieren indispensablemente de un análisis integral, ya que se trata de entidades naturales en las cuales las alteraciones que se producen en los sistemas sociales o económicos, se transfieren a esas unidades, que actúan como receptores finales de los cambios. En este contexto, resulta absolutamente necesario y pertinente realizar un análisis de la forma en que se comportan los sistemas socio económico en la cuenca del humedal del río Cruces (HRC), de manera de aproximarse a la comprensión de su estado actual y de sus tendencias evolutivas.

Por ello, en el caso del HRC resulta importante monitorear el comportamiento de una de las expresiones de los cambios en los sistemas socio económico, como es el cambio en los usos y cobertura superficial del suelo. Uno de estos cambios dice relación con las modificaciones de la cubierta vegetal, tanto vegetación natural como cultivos agroganaderos y forestales. Otra fuente de cambios tiene que ver con la expansión de las áreas construidas, tanto para fines residenciales como productivos. Ambas son generadoras de efectos sobre el sistema natural (cambios en cobertura del suelo, efectos sobre el escurrimiento de aguas lluvia, modificaciones topográficas y problemas derivados de la disposición final de los desechos domiciliarios y/o productivos), todos los cuales resultarán en cambios en el sistema hidrológico.

Debido a esto, es necesario analizar los cambios que se producen, tanto en la cobertura vegetal como en el poblamiento de los sectores ribereños del HRC. Esto implica no solamente lo referido a la construcción de viviendas o infraestructura productiva o de

transporte, sino lo que ello implica en tanto aumento de la carga poblacional y los consecuentes efectos en la generación de desechos de toda índole.

4.4.2. Objetivos

- Caracterizar la distribución de las coberturas del suelo al año 2019.
- Identificar la magnitud y direccionalidad del cambio de coberturas de uso de suelo entre los años 2017 y 2019.
- Evaluar e identificar las dinámicas, magnitud y direccionalidad de cambio de uso de suelo a menor escala en las cercanías del río Cruces.
- Analizar los cambios ocurridos en el poblamiento del área de influencia sobre el HRC.
- Comparar los resultados obtenidos en el quinto y último año del Programa de Monitoreo Ambiental (año 2019) con los de los años anteriores de ese programa (año 2015 a 2018) y con los resultados del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (año 2014).
- Analizar la información demográfica de detalle, de los censos nacionales de población realizados en los años 2002 y 2017.

4.4.3. Materiales y métodos

El área monitoreada corresponde a la cuenca del río Cruces, la cual cubre una superficie de 335.576,1 hectáreas. Su área se extiende desde el sur de la ciudad de Villarrica (Región de La Araucanía) hasta la ciudad de Valdivia (Región de Los Ríos) Esta superficie fue extraída a través de capas vectoriales disponibles en la infraestructura de datos Geoespaciales del Ministerio de Bienes Nacionales (www.ide.cl) y calculada por medio del software de codigo libre Qgis 3,2. La Figura 4.4.1 presenta el área de estudio.

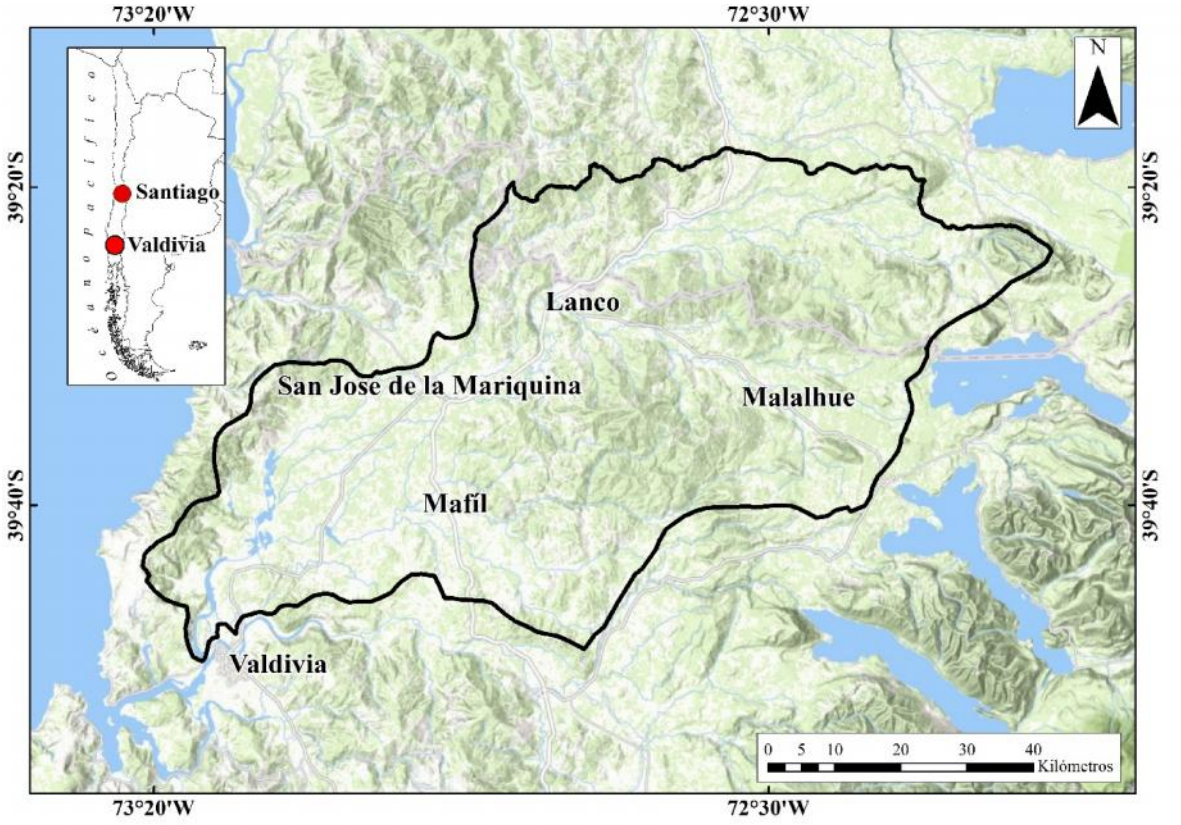


Figura 4.4.1. Área de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis se utilizaron 2 imágenes Landsat 7 TM para el año 2017 y 2 imágenes Landsat 8 TM para el análisis del año 2019. Las imágenes corresponden a los meses de enero 2017 y enero 2019. Posteriormente se utilizaron para la generación de mosaicos que representaran en su totalidad el área de estudio.

Se categorizaron los usos de suelo en una distancia máxima 1 km a los principales ríos del HRC, la red hidrográfica seleccionada corresponde a los 11 ríos más importantes de la cuenca. Entre ellos se encuentran el río Cruces, río Máfil, río Pichoy, río Leufucade, río Cayumapu, río Cudico, río Nanihue, río San Jose, río Santa María, río las Garzas, río Choromayo. Mediante esta clasificación se realizará un análisis a menor escala de las dinámicas de cambio de uso de suelo en la cuenca. El área de influencia directa corresponde a una superficie de 59.266 ha, la Figura 4.4.2 presenta la segunda escala de análisis. A través

de la información resultante de este análisis se confeccionaron las matrices de cambio absoluto y direccional de superficies para el periodo analizado.

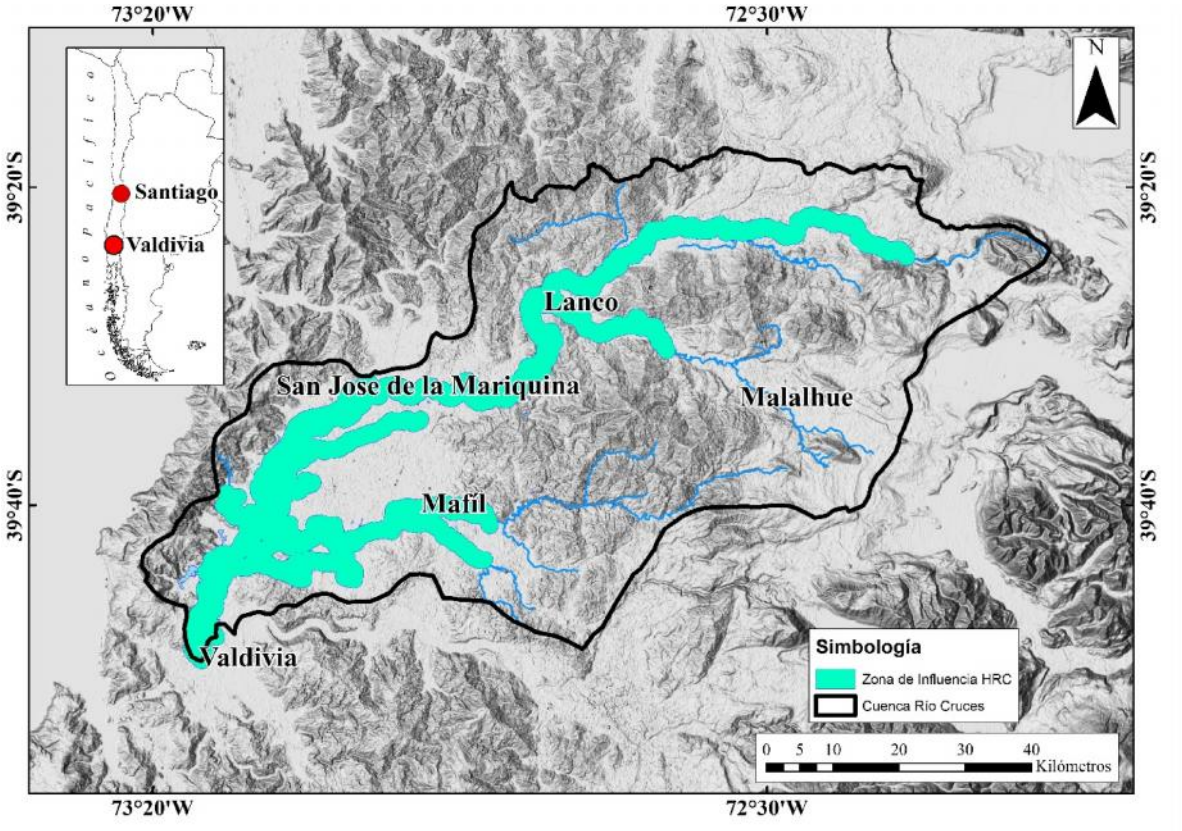


Figura 4.4.2. Ubicación de la zona de influencia del HRC y sus ríos tributarios.
Fuente: Elaboración propia

Esta superficie de influencia directa también fue la utilizada en el análisis de los cambios ocurridos en la población y el poblamiento. La metodología empleada en el monitoreo de los cambios en población y poblamiento, consistió en un levantamiento de las viviendas presentes en la mencionada área de influencia, tanto con un trabajo de campo como por información obtenida de imágenes satelitales. Luego se estimó la población a partir de una aproximación del número de habitantes por vivienda, calculado sobre la base de la información del censo del año 2002 e imágenes del año 2004, 2011 y del 2015 al 2019 y se cotejó con la información del Censo del año 2017, con la salvaguarda correspondiente a las diferencias que se puedan producir en la definición de las unidades espaciales.

4.4.4. Resultados

Los resultados obtenidos en esta etapa del Programa de Monitoreo del HRC se presentan a continuación, comenzando por los cambios en el uso del suelo, tanto a escala de la cuenca del río Cruces en su totalidad, como al área de influencia directa. Para el caso del análisis de población, los resultados se refieren solo al área de influencia.

Balance de superficies de uso actual en el periodo 2017 a 2019

La Tabla 4.4.1 presenta la matriz de cambio absoluto para el área de estudio general en el periodo correspondiente a los años 2017 -2019. Los resultados más destacables se producen en el aumento de la superficie de uso agrícola, que muestra un incremento de poco más de 14.000 hectáreas. Por su parte la superficie de praderas registra una disminución de 12.550 hectáreas. Interesante es también el aumento de superficie ocupada por cuerpos de agua, específicamente la clasificada como lago, laguna, embalses. Particularmente fue la superficie de pequeños embalses la que mostró el mayor incremento, pasando de las 119 hectáreas que ocupaba en el año 2017, a 247 hectáreas en el año 2019. Esto puede ser un reflejo del incremento de sistemas de riego intrapredial.

Los mapas de las Figuras 4.4.3 y 4.4.4 presentan la distribución de los usos de suelo en el área de estudio para los periodos 2017 y 2019, la categorización está representada a través de los usos principales de la COT (Carta de ocupación de tierra). De la observación de estos mapas se puede apreciar que el cambio de praderas a uso agrícola es más relevante en las terrazas al sur de San José de la Mariquina y Máfil.

Tabla 4.4.1. Balance regional uso actual del suelo, período 2017 - 2019.

Uso Actual	2017		2019		Δ 2017-2019	
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
1. Áreas Urbanas-Industriales	2028,7	0,6	2157,1	0,7	128,4	0,04
1.1 Ciudades-Pueblos-Zonas Indus.	1777,6	0,5	1916,54	0,6	138,9	0,04
1.2 Minería Industrial	251,11	0,1	240,59	0,1	-10,5	0,00
2. Terrenos Agrícolas	11909,7	3,6	24719,6	7,6	12809,9	3,91
2.1 Terrenos de Uso Agrícola	8554,12	2,6	21104,88	6,4	12550,8	3,83
2.2 Rotación Cultivo-Pradera	3355,61	1,0	3614,73	1,1	259,1	0,08
3. Praderas y Matorrales	115379,8	35,3	103735,1	31,7	-11644,7	-3,56
3.1 Praderas	104354,7	31,9	90322,01	27,6	-14032,7	-4,29
3.2 Matorral-pradera	5223,63	1,6	7453,74	2,3	2230,1	0,68
3.3 Matorral	1941,11	0,6	1941,11	0,6	0,0	0,00
3.4 Matorral Arborescente	3860,35	1,2	4018,26	1,2	157,9	0,05
4. Bosques	176339,3	53,9	177682,1	54,3	1342,8	0,41
4.1 Plantaciones	73426,32	22,4	74898,43	22,9	1472,1	0,45
4.2 Bosque Nativo	96096,41	29,4	95928,87	29,3	-167,5	-0,05
4.3 Bosque Mixto	6816,59	2,1	6854,81	2,1	38,2	0,01
5. Humedales	6127,0	1,9	6128,8	1,9	1,8	0,00
5.1 Vegetación herbácea en orillas de ríos	1928,35	0,6	1928,35	0,6	0,0	0,00
5.2 Marismas Herbáceas	246,32	0,1	273,27	0,1	27,0	0,01
5.3 Ñadis Herbáceos	3543,44	1,1	3526,91	1,1	-16,5	-0,01
5.6 Vegas	335,04	0,1	326,45	0,1	-8,6	0,00
5.7 Otros terrenos húmedos	73,85	0,0	73,85	0,0	0,0	0,00
6. Áreas Sin Vegetación	13169,5	4,0	10355,6	3,2	-2813,9	-0,86
6.7 Otros Terrenos Sin Vegetación	13152,88	4,0	10192,59	3,1	-2960,3	-0,90
6.8 Cajas de Rio	16,62	0,0	163,05	0,0	146,4	0,04
8. Cuerpos de Agua	2340,4	0,7	2516,2	0,8	175,8	0,05
8.2 Ríos	2221,51	0,7	2268,82	0,7	47,3	0,01
8.3 Lago-Laguna-Embalse-Tranque	118,9	0,0	247,35	0,1	128,5	0,04
Total general	327294	100	327294	100		

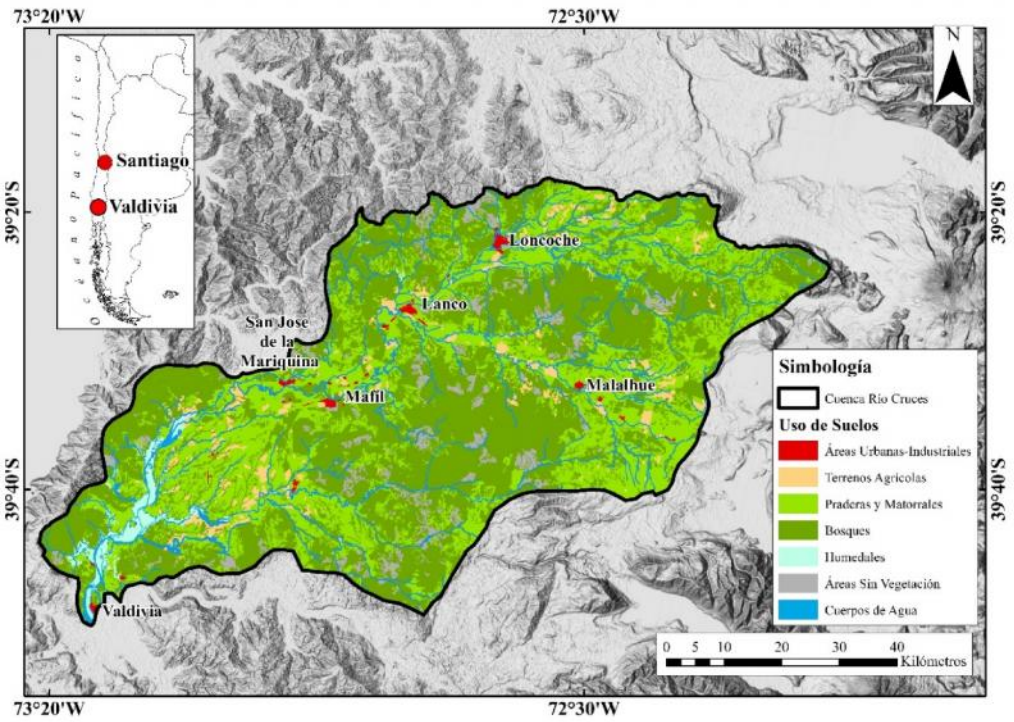


Figura 4.4.1. Distribución de los cambios de usos de suelo: año 2017.
Fuente: Elaboración propia

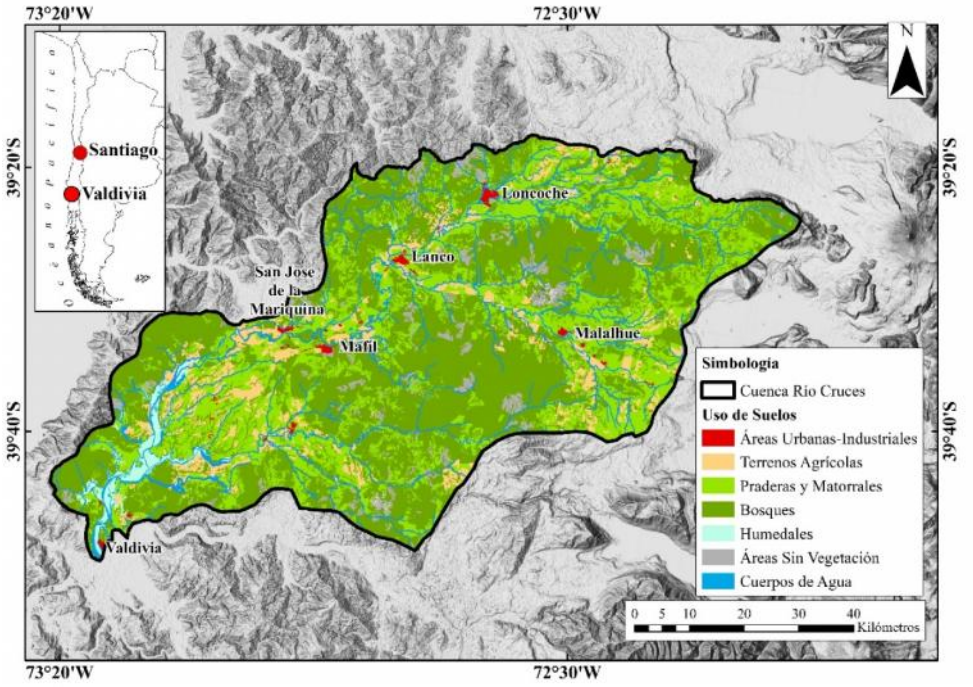


Figura 4.4.2. Distribución de los cambios de usos de suelo: año 2019.
Fuente: Elaboración propia

Las Figuras 4.4.5 y 4.4.6 muestran la distribución porcentual de la superficie del suelo según sus usos para los años señalados.

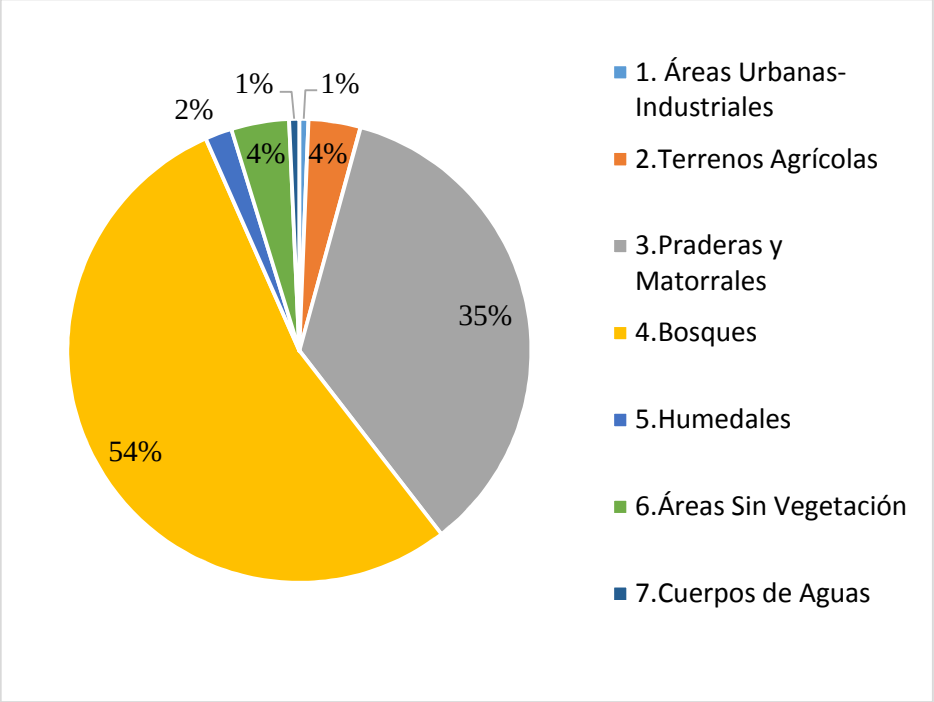


Figura 4.4.3. Distribución de superficie por uso del suelo: 2017.
Fuente: Elaboración propia

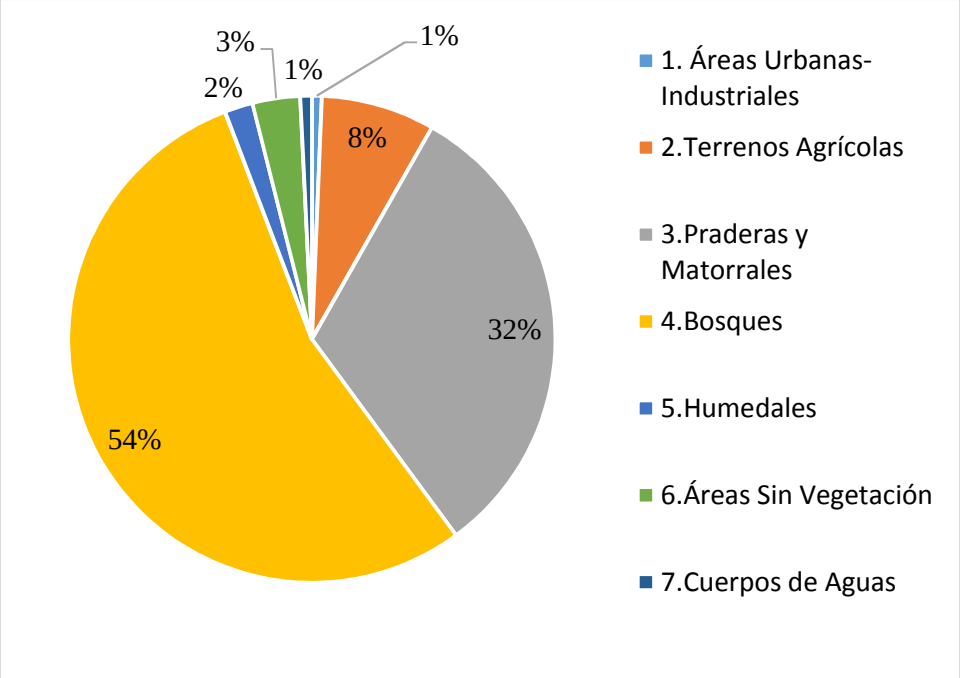


Figura 4.4.4. Distribución de superficie por uso del suelo: 2019.
Fuente: Elaboración propia

Por su parte, la Figura 4.4.7 presenta la magnitud de los cambios entre coberturas de suelo para el intervalo 2017-2019. En el gráfico quedan claramente reflejados los cambios más significativos en la superficie de uso del suelo.

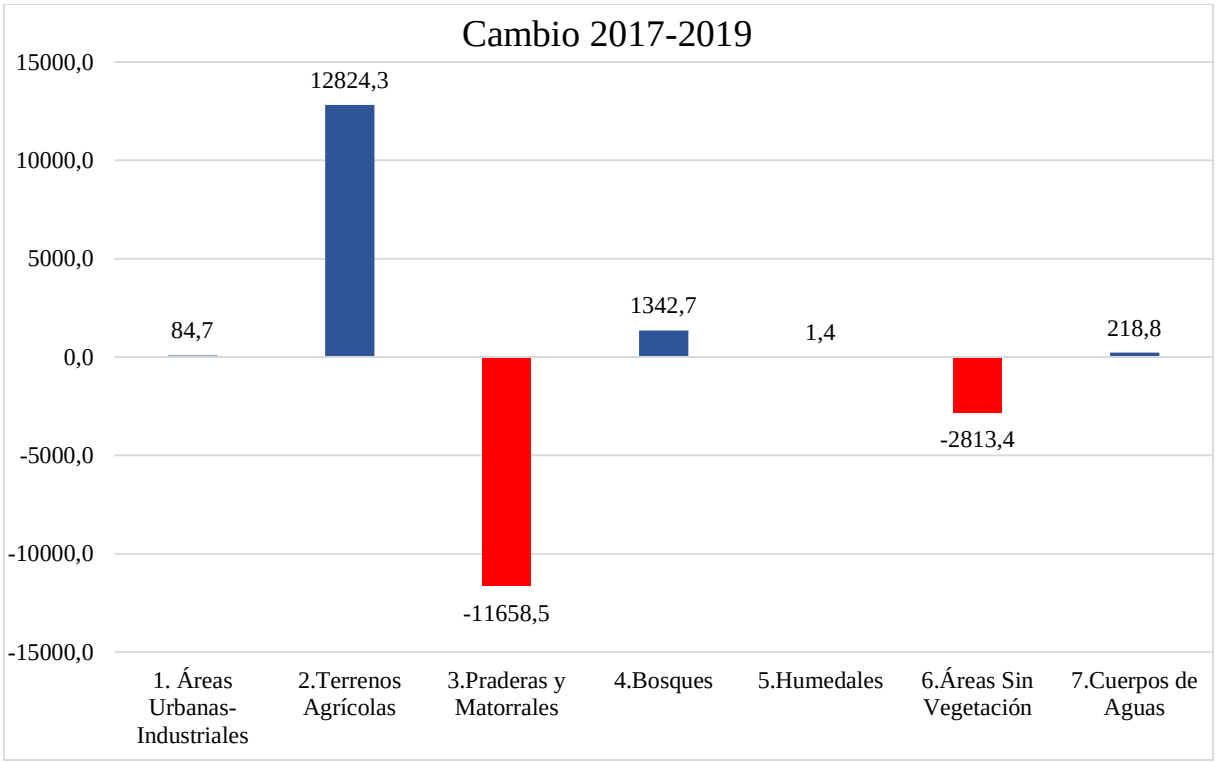


Figura 4.4.5. Magnitud de los cambios entre coberturas de uso de suelo para 2017 -2019.
Fuente: Elaboración propia

Las transferencias entre usos se presentan en la Tabla 4.4.2. En ella se observa que efectivamente el cambio más significativo es el que se registra entre la superficie de praderas y matorrales y el uso agrícola. Las praderas y matorrales pierden un total de 17.7131,7 hectáreas, de las cuales 15.882 pasan a uso agrícola.

Tabla 4.4.2. Matriz de transferencia de superficies por uso de suelo periodo 2017-2019 (uso principal COT).

	1. Áreas Urbanas-Industriales	**2.Terrenos Agrícolas**	**3.Praderas y Matorrales**	**4.Bosques**	**5.Humedales**	**6.Áreas Sin Vegetación**	**7.Cuerpos de Aguas**	**Total**
1. Áreas Urbanas-Industriales	1985,8	0	5,4	0	0	0	37,6	2028,7
2.Terrenos Agrícolas	30,2	8837,0	3019,5	0	0	0	23,0	11909,7
3.Praderas y Matorrales	130,0	15882,3	97648,0	1604,5	0	0	114,9	115379,7
4.Bosques	13,6	0,3	234,8	176074,9	0,0	5,1	10,5	176339,2
5.Humedales	0	0	8,6	0,0	6118,4	0,0	0	6127,0
6.Áreas Sin Vegetación	0	0	2818,9	0	0	10350,5	0	13169,5
7.Cuerpos de Aguas	0	0	0,0	0	10,4	0	2330,0	2340,4
Total	2159,7	24719,6	103735,1	177679,5	6128,8	10355,6	2516,0	327294

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4.4.3 presenta los cambios y transferencias a nivel de sub usos del suelo, mostrando las mismas características que ya se mencionaron, a un mayor nivel de detalle.

Tabla 4.4.3. Matriz de transferencia de superficies por uso de suelo periodo 2017-2019 (Sub-usos COT).

	1,1	1,2	2,1	2,2	3,1	3,2	3,3	3,4	4,1	4,2	4,3	5,1	5,2	5,3	5,6	5,7	6,7	6,8	8,2	8,3	Total 2017
1,1	1745	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	15	1778
1,2	0	241	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	251
2,1	2	0	5899	0	2638	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	8554
2,2	28	0	0	2938	0	381	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	3356
3,1	128	0	15205	0	87452	0	0	0	1477	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	68	104355
3,2	0	3	0	677	15	4500	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5224
3,3	0	0	0	0	0	0	1941	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1941
3,4	0	0	0	0	0	0	0	3740	0	0	98	0	0	0	0	0	0	0	0	23	3860
4,1	0	0	0	0	44	0	0	0	73367	0	0	0	0	0	0	0	5	0	2	8	73426
4,2	14	0	0	0	0	0	0	183	0	95899	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96096
4,3	0	0	0	0	7	1	0	0	52	0	6757	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6817
5,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1928	0	0	0	0	0	0	0	0	1928
5,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	246	0	0	0	0	0	0	0	246
5,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	3516	0	0	0	0	0	0	3543
5,6	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	326	0	0	0	0	0	335
5,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74	0	0	0	0	74
6,7	0	0	0	0	160	2563	0	95	0	0	0	0	0	0	0	0	10187	146	0	0	13153
6,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	17
8,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	2211	0	2222
8,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	119	119
Total 2019	1917	243	21105	3615	90322	7454	1941	4018	74925	95899	6855	1928	273	3527	326	74	10193	163	2269	247	327294

Fuente: Elaboración propia

A escala de la cuenca aportante al HRC, los “Bosques” y “Praderas y Matorrales” son los usos que ocupan mayor superficie, llegando a ser alrededor del 90% de la supercie total. Dentro del uso Bosques, las plantaciones son las que han manifestado la mayor expansión en superficie, en el periodo estudiado. Otra tendencia interesante de destacar es el crecimiento experimentado por las superficies correspondientes al uso agrícola. Este uso del suelo ocupaba el 3.0% en el 2006, el 3,2% en el 2014 y el 3,9% en el año 2019.

Las transferencias de superficie entre usos presentan una clara tendencia al cambio de superficies ocupadas por praderas y matorrales, hacia el uso de plantaciones y al uso agrícola. Esto se ha mantenido desde el año 2006 hasta el 2019.

La Tabla 4.4.4 da cuenta del uso del suelo para el área definida como de influencia directa sobre el HRC. En esta área los cambios más importantes se registraron también en el caso de las cubiertas de praderas y matorrales y de uso agrícola. De hecho, de las 14.032 hectáreas que fue la disminución de las praderas y matorrales en la cuenca total, más de 5.000 corresponden a esta área del estudio.

Tabla 4.4.4. Balance uso actual del suelo, área de influencia directa sobre el HRC período 2017 - 2019.

	2017		**2019**		**Cambio 2017-2019**	
	ha	%	ha	%	ha	%
1. Áreas Urbanas-Industriales	1333,9	2,3	1389,7	2,4	55,8	0,10
2.Terrenos Agrícolas	4377,0	7,5	9486,7	16,2	5109,8	8,74
3.Praderas y Matorrales	28868,3	49,4	23651,6	40,5	-5216,7	-8,92
4.Bosques	16412,7	28,1	16448,5	28,1	35,8	0,06
5.Humedales	4997,9	8,6	5001,8	8,6	4	0,01
6.Áreas Sin Vegetación	210,8	0,4	121,7	0,2	-89,1	-0,15
7.Cuerpos de Aguas	2250,6	3,9	2351,1	4	100,4	0,17
	58451	100	58451	100		

Fuente: Elaboración propia

Los gráficos de las Figuras 4.4.8 y 4.4.9 presentan la distribución porcentual de los usos del suelo para ambos años en análisis. Se puede apreciar claramente el crecimiento relativo de la superficie de uso agrícola, en detrimento de la superficie de praderas y matorrales. Si bien en ambos años los usos predominantes son bosques y praderas y matorrales, su participación relativa disminuyó para el año 2019. Este hecho queda de manifiesto en el gráfico de la Figura 4.4.10, donde se aprecia que los únicos cambios significativos son los que se producen en los usos praderas y matorrales y uso agrícola.

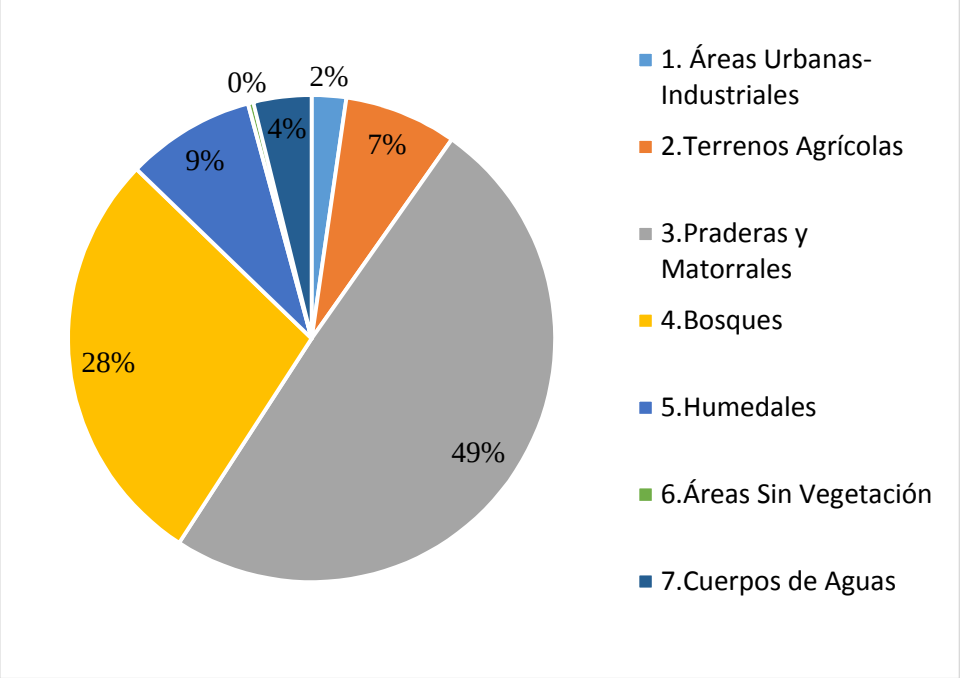


Figura 4.4.6. Distribución de superficie por uso del suelo: 2017.
Fuente: Elaboración propia

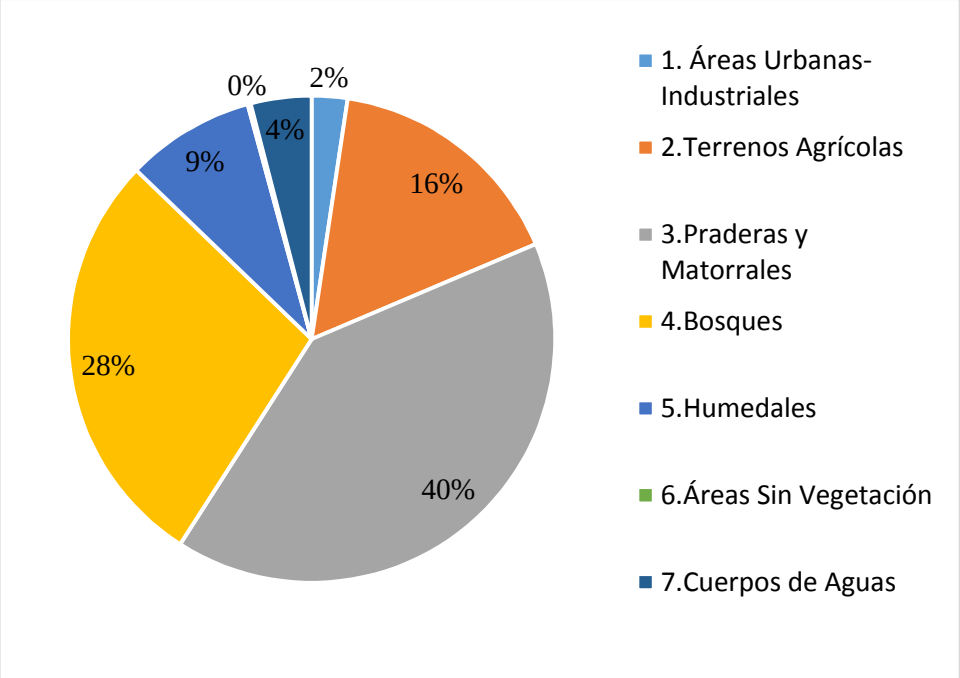


Figura 4.4.7. Distribución de superficie por uso del suelo: 2019.
Fuente: Elaboración propia

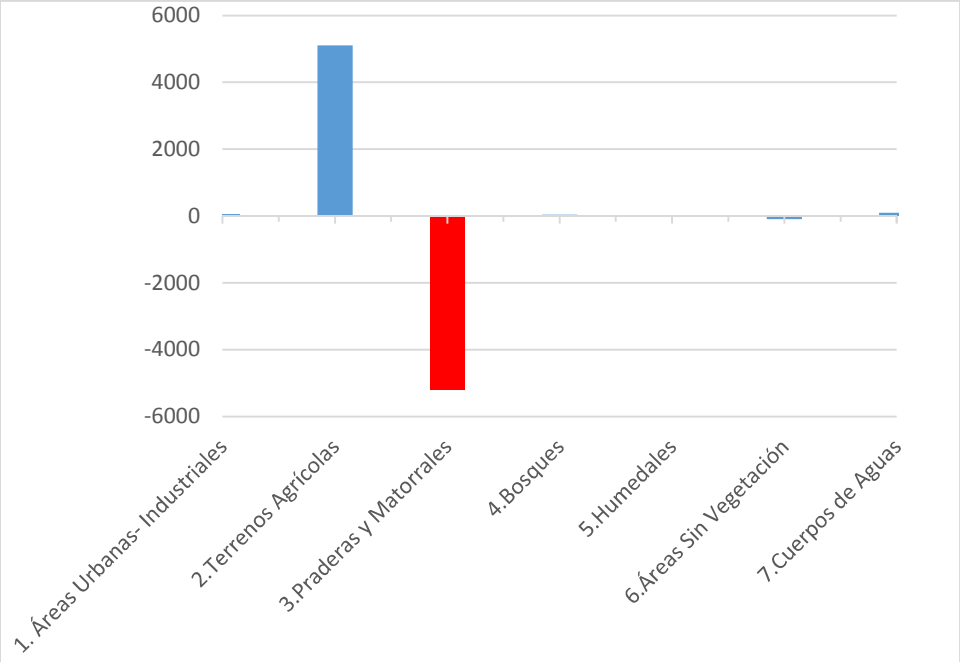


Figura 4.4.8. Magnitud de los cambios entre coberturas de uso de suelo: 2017 -2019.
Fuente: Elaboración propia

Respecto a las transferencias entre los usos del suelo, la más significativa resultó ser la que se produjo entre el uso de praderas y matorrales con el uso agrícola, alcanzando a 5.500 hectáreas (Tabla 4.4.5). Las otras transferencias son de menor magnitud.

Las tendencias señaladas para la cuenca del HRC, se replican en el área de influencia directa sobre el humedal. Así se pude observar que los usos predominantes son bosques y praderas y matorralaes, con más del 85% de la superfice ocupada por estos usos. Igualmente, las tendencias de tranferencias repiten lo observado en la cuenca global, con traspaso de superficies desde praderas y matorrales hacia plantaciones y al uso agrícola.

Tabla 4.4.5. Matriz de transferencia de superficies por uso de suelo periodo 2017-2019 (Sub-uso COT).

	1,1	1,2	2,1	2,2	3,1	3,2	3,3	3,4	4,1	4,2	4,3	5,1	5,2	5,3	5,6	5,7	6,7	6,8	8,2	8,3	Total 2017
1,1	1116,3				5,8														12,2	14,6	1149
1,2		177,5																		7,6	185
2,1			1932,8		381,5																2314
2,2		25,8		1754,8		282,0															2063
3,1	57,5		5500		20131				101,1											35,2	25825
3,2				299,3		1802,8															2102
3,3							349,7														350
3,4								558,6												23,0	582
4,1									5223											8,5	5232
4,2	12,6							44,1		9781,6											9838
4,3											1342,4										1342
5,1												1602,7									1603
5,2													145,2								145
5,3													26,6	3044							3071
5,6						6,8									154,9						162
5,7																17,2					17
6,7					13,0	76,0											113,6				203
6,8																		8,1			8
8,2														10,8					2177,8		2189
8,3																				62,0	62
Total 2019	1186	203	7433	2054	20532	2168	350	603	5324	9782	1342	1603	172	3055	155	17	114	8	2190	151	58441

Fuente: Elaboración propia

Otro elemento interesante de analizar respeco a los cambios que se operan en el territorio de la cuenca del HRC, es lo que dice relación con la fragmentación del paisaje, como indicador de cambios que afectan al sistema socioambiental en general. De la multiplicidad de indicadores de paisajes existentes, el Informe Final del Programa de Diagnóstico Ambiental del Humedal del Río Cruces y sus Ríos Tributarios (UACh, 2015), utilizó el análisis de fragmentación a través del recuento de la cantidad de polígonos según superficie de tamaño, para cada año en estudio.

La Tabla 4.4.6 presenta la fragmentación del área de estudio por año según la cantidad y las superficies ocupados por polígonos por años. En primer lugar, se puede notar que la zona de estudio se está fragmentando, la cantidad de polígonos totales en la cuenca era de 10.196 para el año 2006, subiendo a 11.165 en el año 2014 y a 17.075 en el año 2019.

La cantidad de polígonos con superficie pequeña, aumenta considerablemente en el periodo de estudio. En el 2006, 5.963 polígonos tenían una superficie de 0 a 5 has., en tanto para el 2014, los polígonos entre 0 y 5 has. subió a 6.708, llegando a los 13.093 polígonos de este tamaño en el 2019.

Los polígonos de superficie más grande (entre 5.000 y 10.000 ha) eran 7, en los años 2006 y 2014, reduciéndose a solo 5, en el 2019.

Tabla 4.4.6. Fragmentación de la tierra por año

2006			
Clases superficies (ha)	**Superficie acumulada (ha)**	**Cantidad de polígonos**	**Tamaño Medio Polígono (ha)**
0 a 5	11089.5	5963	1.9
5 a 10	10127.5	1418	7.1
10 a 15	8434.4	691	12.2
15 a 20	6880.5	397	17.3
20 a 50	27864.8	895	31.1
50 a 100	26088.6	368	70.9
100 a 500	75410.7	371	203.3
500 a 1000	35116.7	52	675.3
1000 a 5000	67165.7	34	1975.5
5000 a 10000	40882.5	6	6813.8
Sup a 10000	26509.8	1	26509.8

2014			
Clases superficies (ha)	**Superficie acumulada (ha)**	**Cantidad de polígonos**	**Tamaño Medio Polígono (ha)**
0 a 5	12449.7	6708	1.9
5 a 10	10757.9	1506	7.1
10 a 15	8961.5	735	12.2
15 a 20	7176.5	413	17.4
20 a 50	29981.3	959	31.3
50 a 100	27637.0	383	72.2
100 a 500	75838.1	372	203.9
500 a 1000	29055.7	43	675.7
1000 a 5000	77296.3	39	1982.0
5000 a 10000	38061.3	6	6343.6
Sup a 10000	18355.0	1	18355.0

2019			
Clases superficies (ha)	**Superficie acumulada (ha)**	**Cantidad de polígonos**	**Tamaño Medio Polígono (ha)**
0 a 5	9548	13093	1
5 a 10	9062	1271	7
10 a 15	7212	587	12
15 a 20	7001	404	17
20 a 50	26624	849	31
50 a 100	27486	395	70
100 a 500	81717	387	211
500 a 1000	34773	53	656
1000 a 5000	75997	31	2452
5000 a 10000	18370	3	6123
Sup a 10000	29503	2	14752

Fuente: Elaboración propia

Población de la cuenca del HRC.

En el amplio territorio de la cuenca del Cruces, que abarca una superficie de 3.233 Km^2 (Gobierno de Chile, DGA 2004), viven alrededor de 86.830 personas, de acuerdo a las cifras del último censo de población realizado en el año 2017 (INE 2018). De ellas, 37.830 personas viven en las cuatro ciudades mayores de la cuenca, Loncoche (15.303 hab.), Lanco (8.521 hab.), San José de la Mariquina (9.767 hab.) y Máfil (4.239 hab.). Los casi 50.000 habitantes restantes viven en pueblos, aldeas y caseríos rurales. Cabe mencionar que en Chile la condición urbana corresponde a centros poblados mayores a 2.000 habitantes, dintinguiéndose ciudades (por encima de 5.001 hab.) y pueblos, entre 2.001 y 5.000 habitantes.

La población de la cuenca del río Cruces, ha experimentado un crecimiento del 25% en los 15 años que median entre los censos de población de los años 2002 y 2017. Eso significa una tasa media anual de crecimiento de 1,5%. Esta cifra es superior al crecimiento del país que fue de solo 1,0% en el mismo periodo. Por su parte, la Región de Los Ríos, tuvo un crecimiento de tan solo 0,51% en esos 15 años.

El comportamiento del crecimiento demográfico naturalmente no es homogéneo en el territorio, mostrando contrastes muy pronunciados. Así por ejemplo, el conjunto de las cuatro ciudades mencionadas anteriormente creció a un promedio anual de 0,8%, pero la ciudad de San José de la Mariquina lo hizo a un 1,51%. Por su parte los sectores rurales de la comuna de Valdivia crecieron en un 231% en esos 15 años, a un ritmo de 8% medio anual. Igualmente el área rural de la comuna de Mariquina creció a un 3,5% anual. Estos sectores, directamente relacionados con el HRC, son los que concentraron la expansión de la población en la cuenca y son manifestaciones de las nuevas formas de crecimento urbano que se registran a escala mundial.

Los resultados obtenidos en esta etapa del Programa de Monitoreo del HRC se presentan a continuación. Para el caso del análisis detallado de la población, los resultados se refieren solo al área de influencia

Según el censo del año 2002, el total de población en el área de estudio llegaba a los 18.792 habitantes. Según el censo del año 2017, la población del área de influencia directa sobre el HRCF alcanza a aproximadamente 22.000 habitantes.

a) Sector Cabo Blanco

En el informe del Primer año del Programa de Monitoreo (2015), se analizó específicamente el caso de las localidades de Cabo Blanco y Punucapa, por ser las que mostraron el mayor grado de crecimiento del área construida de carácter residencial. El análisis de la información correspondiente al año 2016, advirtió que a estas dos localidades se debía agregar Cayumapu, dado que presenta importantes proyectos de construcción, en diferentes etapas de ejecución. Además, se incorporó el análisis de Rebellín y Pichiguape. Estas localidades se mantienen en observación desde el año 2017.

En el caso de la localidad de Cabo Blanco, se sigue apreciando el incremento del área construida, tendencia que se ha visto fortalecida por la pavimentación del camino que une a esta localidad con Valdivia. Esto implica una notable reducción en los tiempos de viaje, lo que como ocurre en otras ciudades, constituye un incentivo para la radicación de habitantes urbanos en áreas de condiciones más cercanas a lo natural, pero en las inmediaciones del centro urbano.

Cabo Blanco tenía 89 habitantes en el año 2002, según el censo de esa fecha, aumentando a 359 habitantes para el censo del año 2017. La población de esta localidad se multiplicó por cuatro en los 15 años que median entra ambas mediciones. Esto es consistente con el incremento de las viviendas que se registró a lo largo de este monitoreo.

En el año 2004 había 52 viviendas en el sector, el censo de 2017 identificó 133 y el levantamiento de terreno del año 2019 detectó 147 viviendas.

La Figura 4.4.11 muestra gráficamente el cambio en el paisaje registrado entre el año 2004 y el 2019. El polígono marcado con línea roja, corresponde a un antiguo predio agrícola (rol 2477-02), el cual fue subdividido en parcelas de 5.000 m^2.

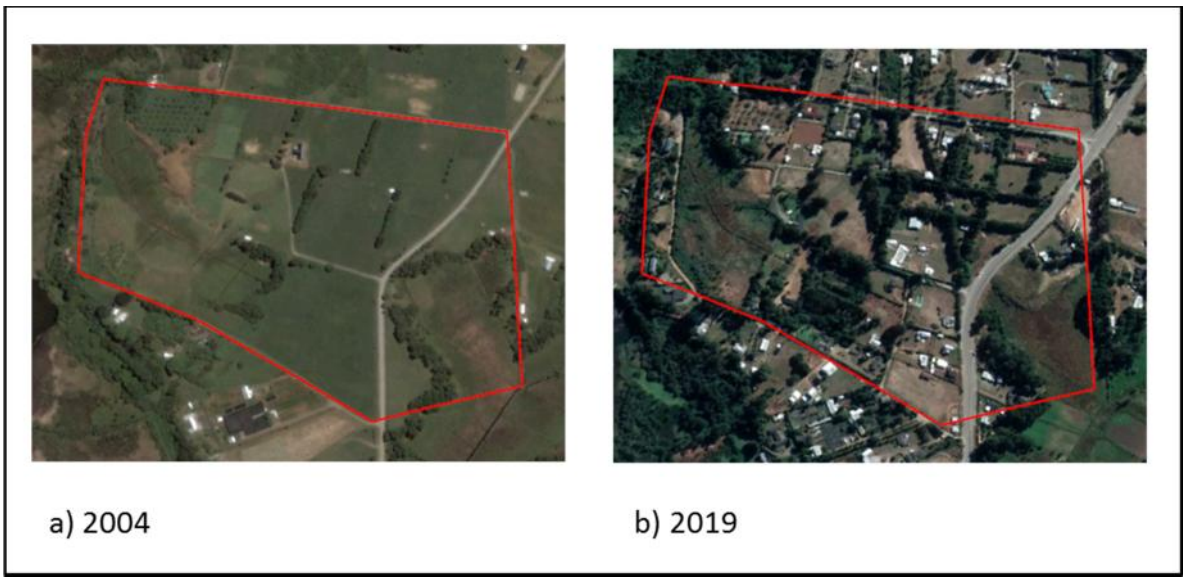


Figura 4.4.11. Cambios en ocupación del suelo producto de la subdivisión en parcelas agroresidenciales, del predio rol 2477-02. Sector de Cabo Blanco.
Fuente: Elaboración propia a partir de reconocimiento de terreno

La Figura 4.4.12 presenta la variación en el número de viviendas en Cabo Blanco y en ella se puede apreciar cómo esta localidad va adquiriendo un patrón de poblamiento de carácter cada vez más urbano. Las viviendas comienzan a expandirse en caminos laterales de reciente trazado como se muestra en la Figura 4.4.13.

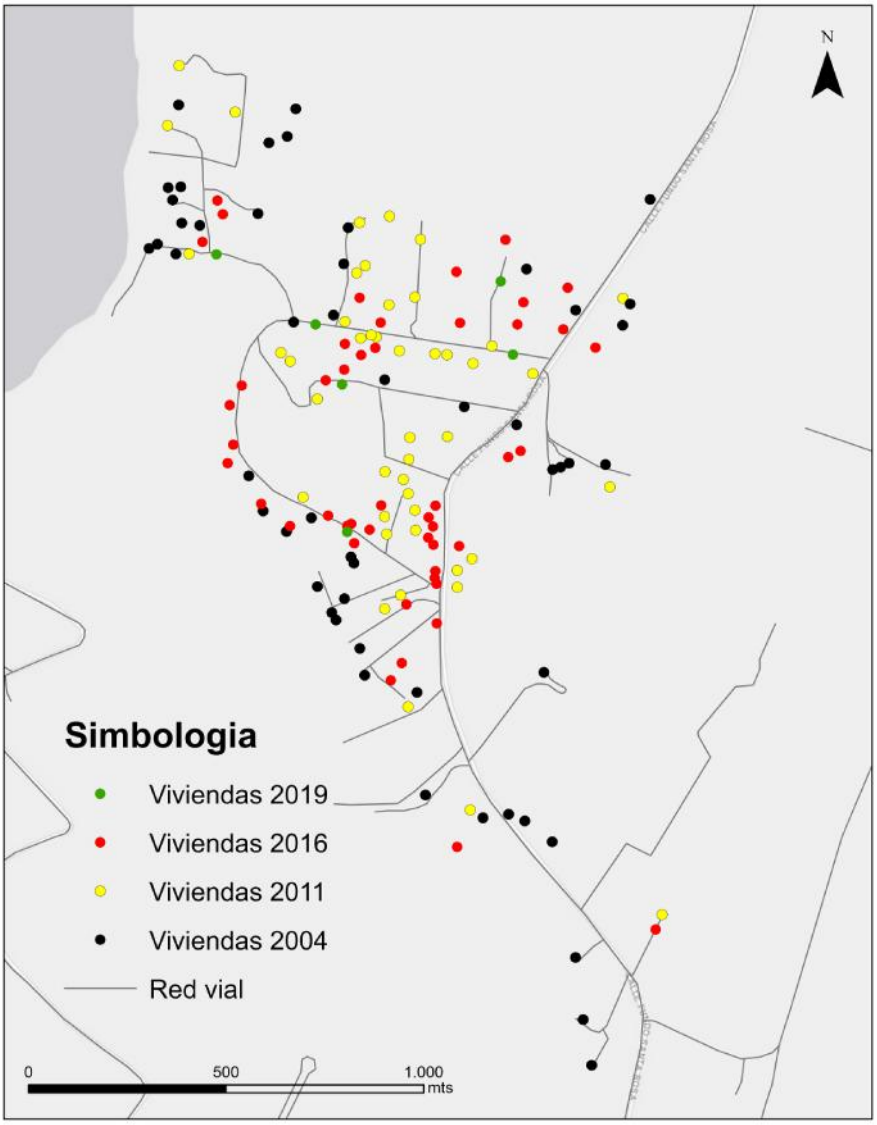


Figura 4.4.12. Variación del número de viviendas en Cabo Blanco: años 2004, 2011, 2016 y 2019.
Fuente: Elaboración propia a partir de reconocimiento de terreno.



Figura 4.4.13. Surgimiento de nuevas áreas de poblamiento en Cabo Blanco. (El círculo rojo muestra un nuevo camino en el sector y la consiguiente ampliación del área de poblamiento).
Fuente: levantamiento de información en terreno sobre imagen Google Earth.

Como se indicó en los Informes del Programa de Monitoreo anteriores, se advierte una creciente tendencia a la densificación del área construida, la que se puede apreciar en la Figura 4.4.14, en la que como se señaló en el informe del 2017 y 2018, se advierte que, en una superficie de aproximadamente tres hectáreas, se encuentra un total de nueve viviendas, lo que lleva a una densidad superior a la permitida en predios rústicos. Lo mismo se presenta en nuevos sectores de Cabo Blanco, registrados en la Figura 4.4.15.

En la Figura 4.4.15, la imagen a) presenta el patrón que corresponde a una ocupación en parcelas de 5.000 metros cuadrados, como indica la normativa. En cambio, las imágenes b) y c), dan cuenta de la mencionada densificación del área construida.



Figura 4.4.14. Subdivisiones y densificación en un área seleccionada en Cabo Blanco.
Fuente: levantamiento de información en terreno sobre imagen Google Earth.

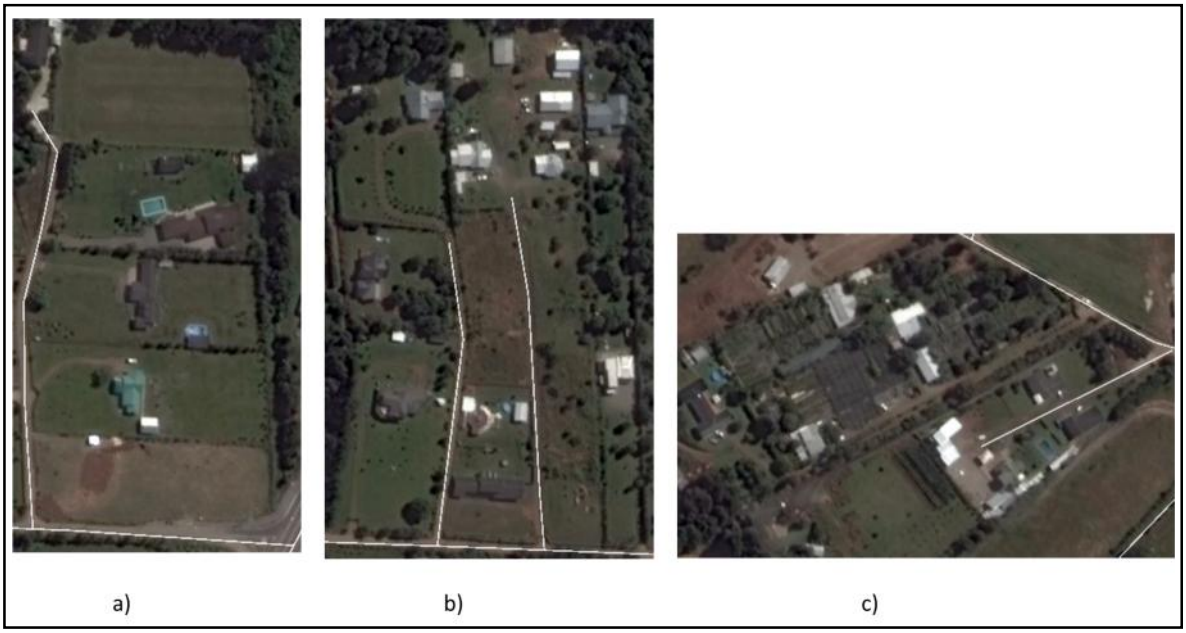


Figura 4.4.15. Subdivisiones y densificación en un área seleccionada en Cabo Blanco.
Fuente: levantamiento de información en terreno sobre imagen Google Earth.

Tal como se advirtió anteriormente, se debe dejar claro que no existe evidencia de una transgresión a la normativa, ya que existen alternativas legales para justificar una

subdivisión a menor tamaño. Lo que se quiere dejar establecido, es que se está generando un paisaje de carácter más urbano, en la medida en que las densidades empiezan a ser mayores.

b) Sector Cayumapu

En el Informe del Programa de Monitoreo del HRC del año 2016, se mencionó la existencia de un loteo de más de 40 hectáreas (Loteo Santa Emilia) en una terraza del río Cayumapu en el que se han comenzado a instalar viviendas en algunas de las 75 parcelas trazadas (cada una de media hectárea). A este loteo se ha venido a sumar una segunda parcelación (Loteo Lomaflor), de la misma empresa inmobiliaria. Este loteo, ubicado al norte de la villa Cayumapu, tiene una superficie aproximada de 5 hectáreas, lo que implica una cabida máxima de 10 parcelas (Fig. 4.4.16). Durante el año 2019, se han instalado 8 nuevas viviendas en este loteo.

Este loteo viene a consolidar un área importante de poblamiento en este sector rural ubicado al norte de Valdivia y ribereño del río Cayumapu, uno de los afluentes importantes del HRC (Fig. 4.4.17). Todo ello refuerza la hipótesis del rol que le cabe al mejoramiento de la ruta Valdivia – San José de la Mariquina en la configuración de un eje de expansión del área urbana.



Figura 4.4.16. Nuevo loteo de parcelas en sector norte de villa Cayumapu.
Fuente: levantamiento de información en terreno sobre imagen Google Earth.



Figura 4.4.17. Urbanización en sector Cayumapu.
Fuente: levantamiento de información en terreno sobre imagen Google Earth.

La población de este sector aumentó desde 442 habitantes en el censo del año 2002, a 778 habitantes en el censo del año 2017. En cuanto a viviendas, se pasó de las 53 encontradas en el año 2004 a un total de 125 para el 2019.

La Figura 4.4.18 presenta la variación en el número de viviendas del sector de Cayumapu - Pichihuape, una de las áreas de poblamiento que se han identificado en los alrededores de la Villa Cayumapu y que presenta alto dinamismo en los años que se han analizado. La misma Figura da cuenta de todas las viviendas nuevas (construidas entre 2016 y 2019), en el sector Cayumapu.

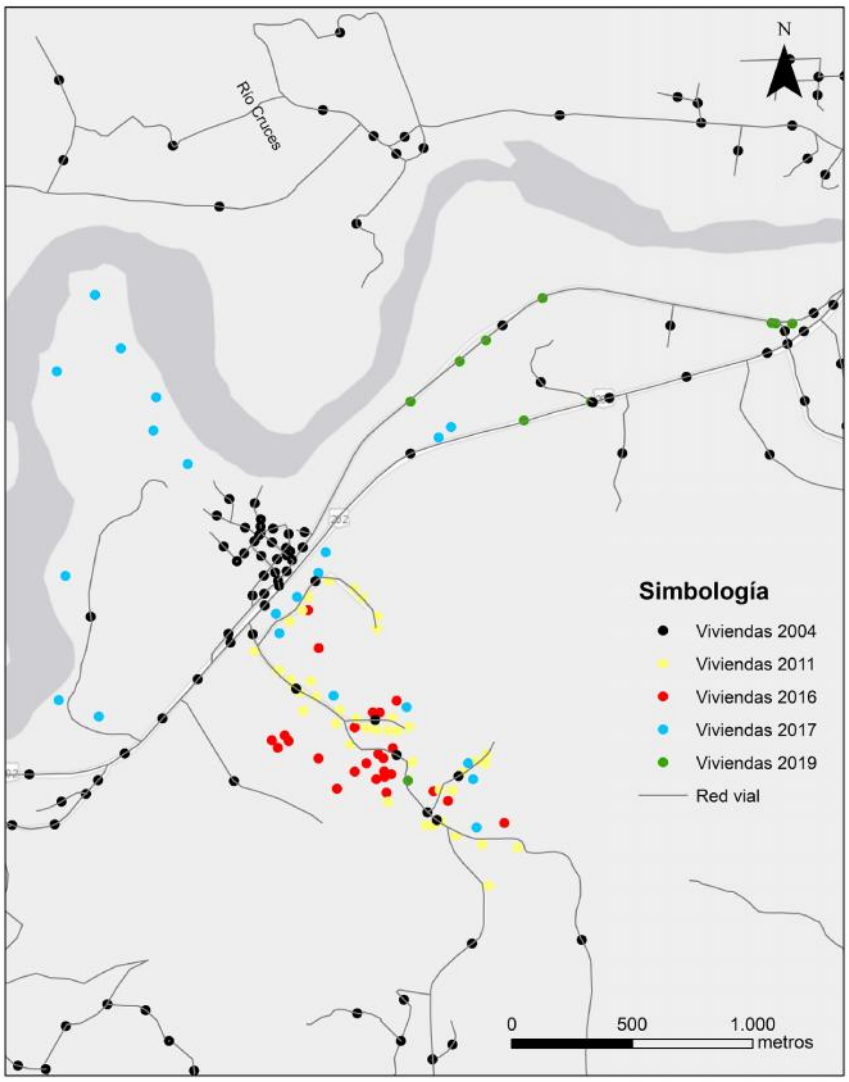


Figura 4.4.18. Variación del número de viviendas en sector Cayumapu - Pichihuape: años 2004, 2011, 2016, 2017 y 2019.
Fuente: Elaboración propia a partir de reconocimiento de terreno.

El reconocimiento de terreno y el análisis de imágenes satelitales recientes ha permitido identificar 7 nuevas construcciones en el último año, lo que indica el dinamismo en el sector Cayumapu. El el último año las nuevas viviendas se han localizado principalmente en el nuevo loteo al norte de Villa Cayumapu y siguiendo el Camino Real, el que, al ser mejorado y pavimentado, ofrece mayor atractivo para el poblamiento. Este

dinamismo se espera que se incremente en la medida en que comience a construirse de manera más intensa en los nuevos loteos que se mencionaron.

La Figura 4.4.18 permite además apreciar que las nuevas construcciones se concentran específicamente en los nuevos loteos localizados al nor oeste de la carretera, mientras el sector Pichiguape no registró modificaciones en la cantidad de viviendas.

El mismo proceso de densificación detectado en el caso de Cabo Blanco, se está comenzando a presentar en Pichihuape, tal como se muestra en la Figura 4.4.19. El número de construcciones residenciales que se encuentran en ambos casos superan la cabida que corresponde a superfices de 1 o 2 hectáreas.



Figura 4.4.19. Subdivisiones y densificación en un área seleccionada en Pichihuape.
Fuente: Levantamiento de información en terreno sobre imagen Google Earth.

c) Sector de Punucapa.

La Figura 4.4.20 presenta la variación en las viviendas en el caso de la localidad de Punucapa. Como se puede apreciar, el ritmo de crecimiento se ha reducido sustancialmente, pudiéndose localizar solamente una nueva vivienda en este levantamiento del año 2019. En este caso también es neceario mencionar la existencia de al menos un loteo identificado, con siete parcelas de 1.000 metros cuadrados, que

representa una expansión hacia la ribera del humedal. Si bien aún se encuentra en etapa de venta de los sitios, se deberá expresar en un incremento de la población en el futuro inmediato.

La localidad de Punucapa contaba con 77 casas en el año 2004 aumentando hasta 119 en el año 2019. Por su parte la población, según el censo del año 2002 alcanzaba a los 127 habitantes, registrando un incremento de 62 personas, llegando a 189 habitantes para el censo del 2017. La mayor expansión en número de viviendas, se registró entre los años 2004 y 2016. Despuès del 2016 el crecimiento se ha estancado.

Aún cuando queda fuera del área definida como la de influencia directa sobre el humedal, es importante tener en consideración, la profusión de viviendas que se está produciendo en las laderas de la Cordillera de la Costa, que se orienta hacia el HRC. Estas viviendas constituyen un tema a tener presente en el futuro mediato, por cuanto sus efectos referidos a movimientos de tierra y disposición de residuos, junto a otros efectos, recaerán finalmente en el HRC. Se pudo apreciar la existencia de varios nuevos sitios y parcelas en venta en estas laderas.

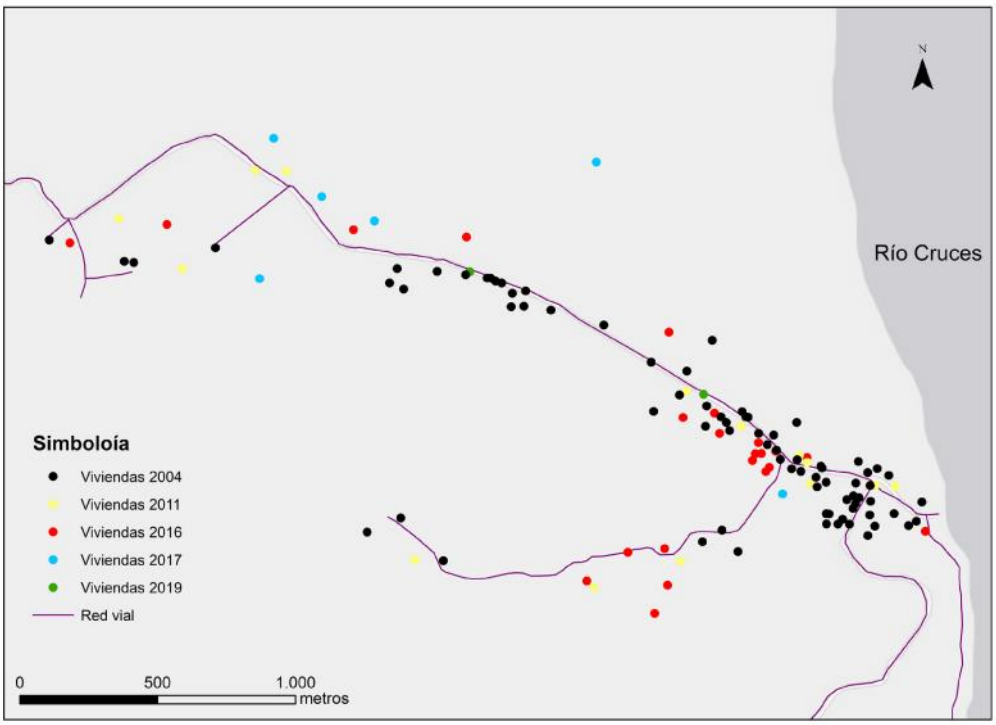


Figura 4.4.20. Variación del número de viviendas en Punucapa: años 2004, 2015, 2016, 2017 y 2019.
Fuente: Elaboración propia a partir de reconocimiento de terreno

d) Sector de El Rebellín

Para el caso de El Rebellín, la situación es parecida a las anteriores representando un ejemplo aún más típico de la migración por amenidad, ya que se trata de un poblamiento inmerso en el bosque. El Rebellín registraba 19 viviendas en el año 2004, aumentó a 69 en el año 2011 y al año 2016 presentó 84 viviendas. El censo del 2017 registró 143 habitantes, casi 12 veces los habitantes que se encontraban en el sector para el censo del año 2002 (12 habitantes en el 2002) (Fig.4.4.21).

La situación en el caso de El Rebellín presenta un estancamiento en cuanto a construcción de nuevas viviendas, no encontrándose nuevas construcciones, en el área definida para este estudio, en los últimos tres años.

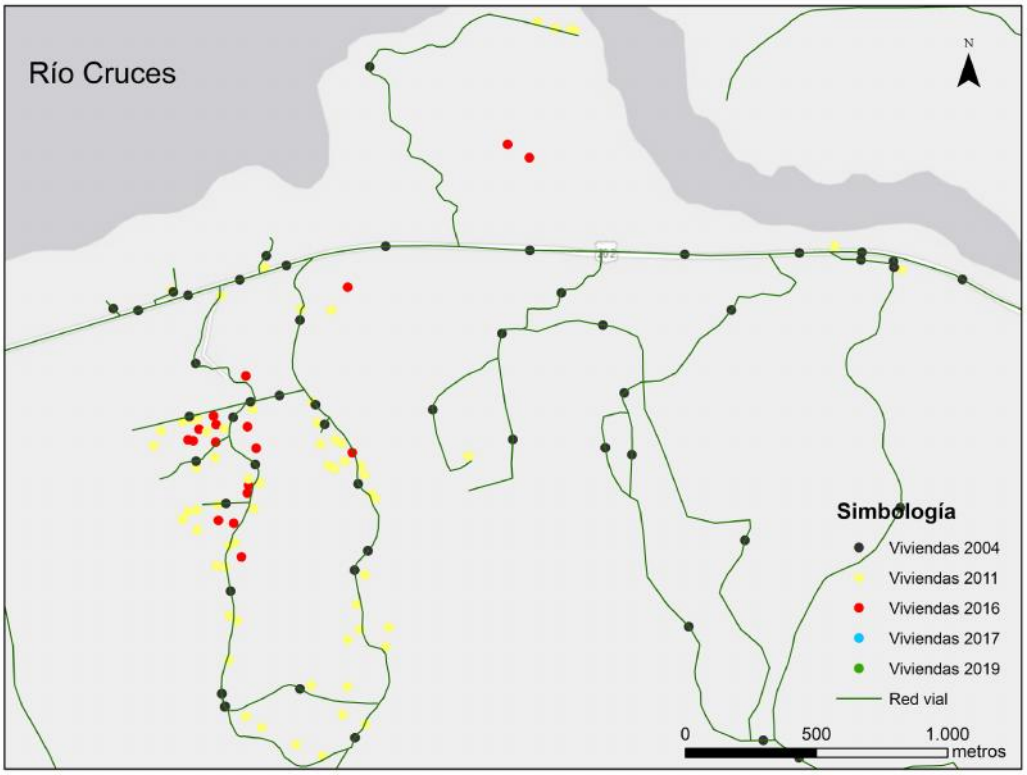


Figura 4.4.21. Variación del número de viviendas en sector El Rebellín: años 2004, 2011, 2016, 2017 y 2019.
Fuente: Elaboración propia a partir de reconocimiento de terreno

Como se señaló en el informe del primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (2015) y en el Informe Final del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC realizado durante el año 2014 y parte del 2015, el eje caminero de la carretera que une a Valdivia con San José de la Mariquina, se está comportando como un eje de expansión de las actividades urbanas de la ciudad capital de la Región de los Ríos.

La Figura 4.4.22 presenta esquemáticamente la situación que se ha configurado en torno a esta carretera. En ella se han comenzado a localizar instalaciones industriales, de almacenaje y de empresas de transporte, que requieren de espacios mayores de los que ofrece la ciudad y además aprovechan la localización en la carretera.

A estos espacios de carácter económico que comienzan a aparecer en este eje, se suma la densificación de viviendas en Cabo Blanco, impulsada tanto por la disponibilidad de espacios como por el mejoramiento de las comunicaciones terrestres con Valdivia. Otro tanto es lo que ocurre con el ya mencionado sector de Cayumapu.



Figura 4.4.22. Eje de expansión de instalaciones residenciales y productivas asociadas funcionalmente a la ciudad de Valdivia.
Fuente: Elaboración propia

4.4.5. Conclusiones

Se puede apreciar que si bien el grado de modificación de las variables Uso del Suelo y Población y Poblamiento, resulta moderado, es posible apreciar algunas tendencias de carácter general que resultan importantes para compreder el comportamiento del HRC. Es el caso de las transferencias de superficies bajo uso de suelo “Praderas y Matorrales”, que mantiene la tendencia a la disminución. Además, se observa un incremento en la superficie de uso “Áreas urbanas e Industriales”, que coincide con las tendencias que se aprecian al estimar la población en áreas seleccionadas próximas al HRC. La población ha mantenido su tendencia al crecimiento, lo que se correlaciona con el incremento del área construida con fines residenciales, particularmente en el área de influencia directa (área buffer).

A un nivel de mayor especificidad se puede concluir que:

- Los usos del suelo más representativos del HRC para el periodo, son “Bosques” y “Praderas y Matorrales”, constituyendo más del 85% de la matriz de superficie de la cuenca.
- Los “Terrenos Agrícolas” ocupan menos del 4%, mientras que los “Humedales” representan alrededor 8% de la superficie del área de estudio.
- El principal cambio en el uso del suelo detectado en el periodo 2017-2019 ocurre en los “Terrenos Agrícolas” que aumentaron su superficie 12.809 ha.
- Existe una disminución de “Praderas y Matorrales” en 11.644,7 ha. las que principalmente cambiaron a uso agrícola y en menor medida a plantaciones.
- Se observa en general, una reducción del ritmo de expansión de la superficie de plantaciones.
- En el área Buffer (zona de 1 000 m alrededor del HRC) la principal modificación en el uso del suelo ocurre con la transferencia desde el uso “Praderas y Matorrales” hacia el uso “agrícola” con 5.500 ha.
- Otra modificación, pero de menor cuantía corresponden al uso “Áreas urbanas e Industriales”, que se incrementa en 128 ha.

- La dinámica de poblamiento del área de influencia estudiada, mantiene un ritmo moderado no apreciándose modificaciones de relevancia, excepto en los sectores de Cabo Blanco y Cayumapu, tratados en forma específica en este informe.
- Se configura el eje de expansión de las actividades urbanas de Valdivia, siguiendo la carretera Valdivia - San José de la Mariquina, lo que se manifiesta no solamente en cuanto a nuevas residencias, que es lo que destaca este informe, sino también en construcciones de carácter industrial y de almacenamiento.
- El área de estudio aún carece de un Instrumento de Ordenamiento Territorial que le otorgue algún grado de protección legal. Por otra parte, no existe registro de solicitud de autorización ambiental para el caso de los nuevos loteos identificados, no encontrándose en registros del SEA regional.
- En términos generales, se mantiene la tendencia observada en el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC en el sentido de que el área de la cuenca del río Cruces, así como aquella que fue definida como de relación más inmediata y directa con el humedal del río Cruces, presenta una tendencia de crecimiento moderada, concentrando la población en las ciudades, principalmente en Valdivia.
- No obstante lo anterior, existen evidencias recientes de tendencias a la expansión en algunos sectores rurales, especialmente aquellos en el eje Valdivia – San José de la Mariquina, que parece ser el de mayor dinamismo demográfico. Esta tendencia al aumento de asentamiento de población en sectores sub urbanos o definitivamente rurales, está en condescendencia con tendencias de carácter mundial que se asocian, entre otras cosas, a la mayor disponibilidad de medios y modos de transporte y la búsqueda de algunas amenidades particulares. Testigo de esto es la existencia de nuevos proyectos de loteo, los cuales están siendo recién puestos en el mercado, por lo que se espera que en los próximos años comience a producirse un incremento en el poblamiento de este eje carretero.

4.5. CONOCIMIENTO ECOLOGICO LOCAL

4.5.1. Antecedentes

A partir de marzo del 2019 el Programa de Monitoreo Ecológico Local, orientado al fortalecimiento de capacidades y conocimientos de comunidades escolares, se desarrolló según lo planificado, incorporando la metodología del Modelo de Enriquecimiento Escolar o SEM.

Durante el mes de marzo se contactó a cinco escuelas de la comuna de Valdivia con las cuales el proyecto se desarrolló desde el año 2018, retomado los vínculos con los profesores correspondientes y activando las redes con los apoderados de los estudiantes destacados por su fuerte motivación en las actividades de los ciclos previos. Los estudiantes participantes del periodo 2019 fueron principalmente los que participaron también en la actividad extraescolar denominada "Piloto modelo de enriquecimiento escolar para el fortalecimiento del conocimiento ecológico local y el monitoreo del humedal del río Cruces" realizada en enero del 2019 con el propósito de identificar intereses y poner a prueba el modelo de trabajo proyectado para el año 2019.

4.5.2 Objetivos

- Dar continuidad al programa de monitoreo ecológico local con los niños y niñas que muestren intereses o capacidades especiales en su relación con el entorno natural.
- Generar nuevos intereses y fortalecimiento de capacidades y conocimientos en torno al ecosistema humedales, además de conciencia ambiental y prácticas sustentables con su entorno natural.
- Fortalecer la “identidad regional” y sentido de pertenencia de los niños y niñas por la ciudad en la cual habitan.

4.5.3. Material y métodos

Considerando que es relevante incorporar profundización del conocimiento y afianzamiento de las habilidades respecto a cómo observan, exploran y se relacionan con el HRC y sus ríos tributarios los habitantes de la zona urbana, el programa de monitoreo ecológico local se implementó con un grupo de 30 estudiantes que destacaron durante los talleres, salidas y actividades realizadas en el año 2018. Por lo tanto, los estudiantes pertenecían a las siguientes escuelas: [3]

- **Escuela El Bosque:** Establecimiento municipal aledaño al humedal El Bosque, en el cual el programa de monitoreo local se implementó el año 2018 con un grupo de 11 niños y niñas de 5to y 6to básico pertenecientes al Taller Ambiental.
  El año 2019 continuó su participación con 16 estudiantes de 5to a 7mo básico. Fueron incorporados 5 niños y niñas que a partir de la motivación transmitida por sus compañeros y profesora manifestaron su interés en participar.
- **Escuela Alemania:** Establecimiento municipal en el cual el programa de monitoreo local se implementó el año 2018 con un grupo de 15 niños y niñas del Taller A+S (aprendizaje servicio) de 4to y 5to básico que trabajan recurrentemente en el humedal Santa Inés. El año 2019 continúo su participación con 13 estudiantes.
- **Escuela Leonardo da Vinci:** Escuela municipal donde el programa de monitoreo local se implementó el 2018 con un grupo de 24 niños y niñas participantes del taller de Ciencia y Brigada ecológica, de 5to, 6to, 7mo y 8vo básico. El año 2019 continuó su participación con 3 estudiantes de 6to y 7mo básico.
- **Escuela Fedor Dostoievski:** Escuela municipal donde el programa de monitoreo local se implementó el 2018 con un grupo de con 8 estudiantes de 6to básico del Taller Ambiental. El año 2019 continuó su participación con 2 estudiantes de 7mo básico.

[3] **Escuela Angachilla** durante el año 2019 no tuvo participación de estudiantes pese a las gestiones para reactivar el vínculo.

Como ya se ha mencionado, el programa desarrollado durante el año 2019 tuvo como objetivo aproximar a los estudiantes y profesores a una experiencia extracurricular de aprendizaje en torno a humedales. La metodología escogida fue el modelo SEM o Modelo de Enriquecimiento Escolar, mediante una oferta formativa que permitió escalar en conocimientos, habilidades y competencias a los estudiantes persistentes del programa. Durante el periodo 2019, se abordaron las dos primeras etapas de la triada de enriquecimiento que consistieron en exponer nuevos intereses y entrenamiento grupal.

Los contenidos se abordaron prestando atención a la participación activa de los estudiantes, principalmente desafiando su capacidad de observación y análisis. Además del trabajo en salas y laboratorios, se realizaron salidas a terreno a los humedales urbanos para profundizar contenidos y propiciar el vínculo de los estudiantes con estos ecosistemas. Se consideró prioritario que los talleres y las salidas a terreno sean experiencias que expongan nuevos intereses y predispongan el entrenamiento grupal de nuevas habilidades de exploración, indagación y reflexión en la naturaleza. Con el objeto de reforzar y facilitar el involucramiento de los estudiantes con la red local de investigación y acción ciudadana en torno a los humedales, se trabajó de manera muy activa con científicos y expertos que apoyaron la labor docente del equipo coordinador.

Durante el primer semestre las actividades se realizaron los días sábados de 9:00 a 13:00 horas, en la Facultad de Ciencias de la Universidad Austral de Chile mientras que en el segundo semestre las actividades se llevaron a cabo mayoritariamente en el Parque Urbano el Bosque.

4.5.4. Resultados:

En la tabla que se presenta a continuación se organizan las actividades realizadas durante el periodo 2019 en el programa de monitoreo ecológico local del HRC y los resultados obtenidos.

Tabla 1: Actividades implementadas en la comuna de Valdivia (primer semestre 2019).

UNIDAD	OBJETIVOS	CONTENIDOS Y PRINCIPALES ACTIVIDADES	LUGAR	PER
PLANIFICACIÓN	El principal objetivo de esta actividad fue reactivar redes con escuelas y estudiantes.	• Reunión de coordinación y planificación de actividades en cada escuela con Unidad Técnica Pedagógica. • Comprometer participación de los estudiantes y sus familias exponiendo objetivos del proyecto. • Definir grupo, lugar y horarios de trabajo. • Asignar un docente encargado que facilite el vínculo de la universidad con las familias. • Coordinación con actores claves y especialistas para talleres del primer y segundo semestre.	Escuela Leonardo Da Vinci	M
			Escuela El Bosque	M
			Escuela Fedor Dostoievski	M
			Escuela Alemania	M
ILUSTRACIÓN NATURALISTA DE FLORA Y FAUNA DEL HUMEDAL	Los principales objetivos fueron: • Registrar y reconocer flora y fauna que habita el humedal del Río Cruces para realizar ilustraciones naturalistas de las especies. • Identificar las especies más emblemáticas de los humedales a través de sus formas, colores y principales características. • Reflexionar si el conocer y estudiar una especie cambia nuestra percepción sobre ella y como la emoción puede favorecer el aprendizaje y la conservación.	• Salida a terreno para observación, identificación y registro de fauna nativa y la interacción entre diversas especies. • Introducción a la historia y técnica de ilustración naturalista y uso de insumos para su elaboración. • Elaboración de ilustraciones asociados a la interacción entre especies. • Presentación de resultados obtenidos y reflexiones sobre el trabajo realizado.	Facultad de Ciencias Universidad Austral de Chile	Ab M

UNIDAD	OBJETIVOS	CONTENIDOS Y PRINCIPALES ACTIVIDADES	LUGAR	PERIODO	PARTICIPANTES
CIENCIA DEL AGUA: HÚMEDO HUMEDAL	Los principales objetivos fueron: • Incrementar el conocimiento, valoración y cuidado de los humedales urbanos en la ciudad de Valdivia. • Descubrir a través de la experimentación las propiedades físicas del agua, sus roles ecológicos y los efectos que sobre ella tienen las acciones humanas. • Conocer y reconocer la macrofauna bentónica como bioindicadores de calidad de agua de los humedales.	Construcción de una bitácora científica, con la cual los niños y niñas irán registrando los aprendizajes nuevos durante el desarrollo del taller. A través de la experimentación se describen las propiedades físicas del agua (adhesión, cohesión, tensión superficial y capilaridad). • Experimento #1: salinidad y densidad del agua. • Experimento #2: temperatura del agua. • Experimento #3: ¿Agua espacial? • Experimento #4: Aguas que caminan. • Experimento #5: ¿Cuántas gotas de agua puede una moneda aguantar antes de derramarse? • Experimento #6: ¿Pueden los clips flotar? Macro-invertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua (Identificación en Salida a terreno) Creación de un insectario artístico visual.	Facultad de Ciencias Universidad Austral de Chile .	Abril a Mayo	Estudiantes (13)
BIOÉTICA	Los principales objetivos fueron: • Reflexionar sobre el valor de la vida y el potencial transformador de la niñez, que se ve enfrentada a habitar la tierra en medio de su acelerada devastación. • Identificar la mirada de mundo que subyace tras la destrucción ecológica actual, por	Definir colectivamente un mínimo moral* consensuado, fundamentado y defendible. *Cuál debería ser el límite del actuar humano frente a la biodiversidad. Qué es legítimo y qué no se puede hacer. Analizar aquello que es compartido entre todos los seres y que nos hace dignas y dignos de	Facultad de Ciencias Universidad Austral de Chile	Mayo a Junio	Estudiantes (10)

UNIDAD	OBJETIVOS	CONTENIDOS Y PRINCIPALES ACTIVIDADES	LUGAR	PERIODO	PARTICIPANTES
	medio de la conversación guiada, la construcción colaborativa de preguntas y la exposición material crítico.	protección y amor. Pregunta rectora: ¿por qué solamente el ser humano merece vivir sin daño? Al finalizar cada sesión se dio un espacio para esbozar temas que van a dar forma a nuestras pegatinas (producto del taller). Las frases e ideas serán escuchadas y retroalimentadas por todas y todos. La última clase se destinó a la construcción e impresión de las pegatinas, que en su fondo tendrán las ilustraciones naturalistas creadas en el taller de arte.			
BOTÁNICA DEL HUMEDAL	Los principales objetivos fueron: • Conocer la flora del humedal microscópica y macroscópicamente, trabajando en terreno tomando muestras y observándolas en el laboratorio para comprender su composición y rol ecológico.	Células vegetales: • Célula embrional • Célula adulta • Cloroplastos en la célula • Cromoplastos en la célula Tejidos vegetales presentes en plantas acuáticas • Asimiladores, Almacenadores y Esponjosos • Visita a Humedal Laguna Los Patos y Parque Saval. • Toma y observación de muestras de cada forma de vida. • Identificación de células y tejidos •Observación de adaptaciones de las plantas acuáticas. Recorrido por humedales de Valdivia: • Relleno natural y Relleno artificial. • Contaminación (Especies indicadoras de contaminación acuática). Los estudiantes desarrollan una idea en base a lo aprendido y lo presentaran al curso como trabajo grupal.	Facultad de Ciencias Universidad Austral de Chile	Mayo a Junio	16 estudiantes

UNIDAD	OBJETIVOS	CONTENIDOS Y PRINCIPALES ACTIVIDADES	LUGAR	PERIODO	PARTICIPANTES
HERRAMIENTAS PRÁCTICAS PARA LA RESTAURACIÓN DE HUMEDALES	Los principales objetivos fueron: • Adquirir herramientas prácticas para la conservación de los humedales • Conocer de manera práctica los distintos servicios eco sistémicos que los humedales proveen. • Conocer la relación entre las actividades cotidianas y los impactos al medio ambiente, y cómo podemos hacer un uso más consciente del agua.	Construcción de trampas de microrganismos. Construcción de biofiltros y geofiltros. Conocer las nociones básicas de la permacultura y construcciones sustentables como baños secos.	Parque Urbano el Bosque	Agosto a Diciembre	10 estudiantes
HABILIDADES PARA LA EXPLORACIÓN DE LA NATURALEZA	• Incentivar y cultivar el contacto con las actividades al aire libre, como también disfrutar de naturaleza a través del conocimiento, trabajo en equipo, dando sus primeros pasos para desenvolverse en montaña con un claro acento educativo, fortaleciendo el auto cuidado y protección del medio ambiente.	• Tiempo atmosférico. • Nudos para unir, anclajes y auto seguridad. • Orientación geográfica por medios naturales y artificiales. • Tracking con bastones. • Refugios de circunstancia. • Técnica de manejo de grupos o cuando se encuentra solo con el medio natural. • Sistema de búsqueda con aparato electrónico ARVA. • Paso de obstáculos. • Juegos outdoor.	Parque Urbano el Bosque	Agosto a Noviembre	Estudiantes (20)

UNIDAD	OBJETIVOS	CONTENIDOS Y PRINCIPALES ACTIVIDADES	LUGAR	PERIODO	PARTICIPANTES
PARTICIPACIÓN EN ACTIVIDADES LOCALES	• Relevar la importancia de los humedales urbanos en nuestra ciudad y su rol como reservorios de agua dulce, generando conciencia ambiental, potenciando el juicio crítico y desarrollando hábitos sustentables a partir de la participación en una jornada de limpieza del humedal Angachilla.	El grupo de estudiantes, sus profesores y familias son convocados a participar de la limpieza del humedal Angachilla.	Humedal Angachilla	Agosto	Estudiantes (12)
TALLER PRÁCTICO DE RECICLAJE	Los principales objetivos fueron: • Abrir un espacio de reflexión y debate sobre los principales conceptos relacionados a la basura y economía lineal de producción. • Aprender herramientas prácticas para la gestión de residuos orgánicos, mediante el vermicompostaje.	• Conocer la jerarquía de gestión de residuos. (rechazar, reflexionar, prevenir, reutilizar, reciclar). • Visita a la huerta del CEAM y dinámica de cierre del taller. • En grupos se armó una lombricompostera y aprendimos sobre los principales cuidados de la lombriz.	Universidad Austral de Chile	Septiembre	Estudiantes (10)
TALLER NO DEJE RASTROS (NOLS)	• Enseñar ética ambiental y cómo viajar y acampar de manera sustentable a través de la enseñanza de diferentes habilidades técnicas.	El curso se desarrolló en base a tres componentes: • Técnicas de mínimo impacto para acampar. • Ética ambiental. • Técnicas de enseñanza al aire libre.	Facultad de Ciencias Universidad Austral de Chile	Octubre	15
PARTICIPACIÓN EN ACTIVIDADES LOCALES	• Participar en la 6ta Feria de la sustentabilidad 2019 en el Parque Saval.	El grupo participa en la feria de la sustentabilidad visitando los diferentes stands y completando una ficha de entrevistas según su interés en las distintas iniciativas expuestas en la feria. Además, se inscribe al grupo en la ludoteca dirigida por la feria donde participan con otras personas en juegos de mesa para la	Parque Saval y Universidad Austral	Octubre	20

UNIDAD	OBJETIVOS	CONTENIDOS Y PRINCIPALES ACTIVIDADES	LUGAR	PERIODO	PARTICIPANTES
		sustentabilidad y reconocen el juego como estrategia didáctica.			
CIERRE	• Evaluar del programa con los docentes y estudiantes	Reuniones y conversatorio con los estudiantes y sus profesores asociados al proyecto para dar cierre y evaluar las actividades realizadas durante el año 2019. Muestra de fotos y principales resultados del proyecto.	Escuela Leonardo Da Vinci Escuela El Bosque Escuela Fedor Dostoievski Escuela Alemania	Diciembre	30

4.5.5. Evaluación del programa

La evaluación del año 2019 de la actividad "Piloto del Modelo de Enriquecimiento Escolar para el fortalecimiento del conocimiento ecológico local y el monitoreo del HRC" por parte de los participantes resaltó los siguientes aspectos:

- Se considera positivo realizar actividades fuera del horario escolar.
- Se valora la creatividad, el compromiso y la seriedad en las actividades.
- Destaca como un aspecto valioso la vinculación inter-escolar (con cuatro escuelas participantes).
- Se considera que los talleres que son planificados de acuerdo a los intereses de los niños y niñas.
- Se destaca las variadas actividades al aire libre y experimentos.
- Se valora el trabajo continuo con el mismo grupo de estudiantes, lo que permite profundizar en contenido y habilidades.
- Se valora la vinculación con el entorno sociocultural.

En la evaluación realizada con los estudiantes, estos expresan motivación y voluntad de seguir con actividades relacionadas con la temática de humedales, proponiendo ellos mismos temáticas cada vez más específicas y nuevas interrogantes relacionadas con las experiencias previas.

El equipo coordinador y los docentes destacan la evolución positiva en el compromiso de los niños y niñas con las actividades y el grupo como unidad de trabajo. Fue posible observar el incremento de reflexiones, argumentos y la adquisición de nuevas conductas relacionadas con lo aprendido en el programa, específicamente en torno al manejo de residuos, cuidado del agua, conocimiento de interacciones ecológicas y servicios ecosistémicos de los humedales.

Cabe destacar que los conocimientos y habilidades permean a las respectivas comunidades educativas mediante la participación de los niños y niñas en ferias científicas

de las escuelas con temáticas asociadas a los talleres del programa. Los profesores por su parte, planifican actividades que combinan la temática ambiental con otras asignaturas (por ejemplo, en la escuela el Bosque se desarrolló el taller “Humedales en ingles” como una estrategia de convocar a estudiantes al taller de idiomas).

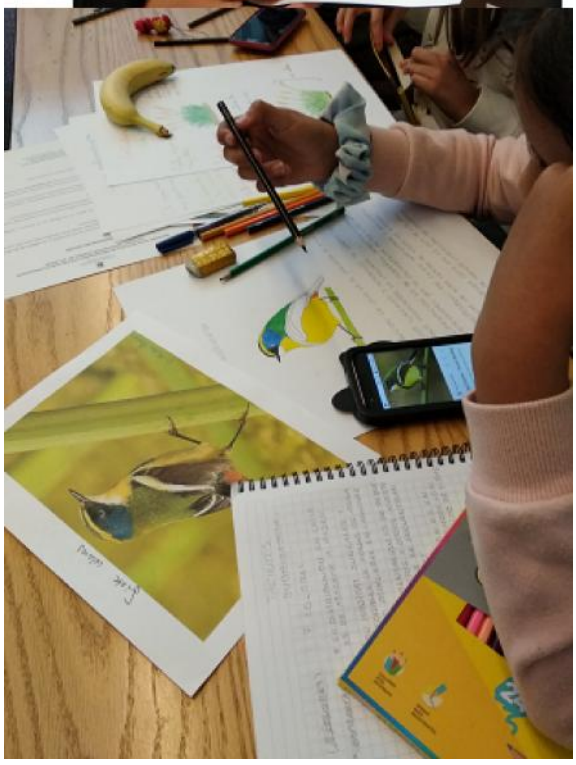
Registro Fotográfico:
































Detroit

6. EQUIPO DE TRABAJO

Se incluye a continuación el equipo de académicos, investigadores, asistentes técnicos y de investigación, que participaron en el quinto año del Programa de Monitoreo Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (abril 2019- marzo 2020).

i) Variabilidad ambiental de largo plazo en el área de estudio

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile

Pedro Rubilar, Biólogo Marino, M.Sc. Ecología Aplicada (c)
Eduardo Jaramillo, Ph.D.

ii) Estudios específicos

Calidad del agua y sedimentos

Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Laboratorio de Oceanografía Química (LOQ), Universidad de Concepción

Marco Salamanca, Biólogo Marino, M.Sc., Ciencias Marinas Ambientales, Ph.D. Oceanografía Costera
Cristián Chandia, Biólogo Marino, Diplomado en Ingeniería Química Ambiental
Claudia Figueroa, Químico Analista
Gabriela Franyola, Biólogo Marino
Verónica Pinto, Químico Analista
Francesca Gauthier, Químico Analista
Juanita Elgorriaga, Químico Analista
Carlos Casanueva, Químico Analista
Leonardo Rosemberg, Biólogo Marino
Edgardo Muñoz, Técnico de terreno
Michel Rivas, Técnico de terreno

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile

Eduardo Jaramillo, Ph.D.
Marcia González, M.Sc., mención Zoología
Cesar Barrales, Biólogo Marino
Felipe Navarro, Biólogo Marino

Macrófitas acuáticas y sensores remotos

Facultad de Ciencias, Universidad Santo Tomás, Santiago
Fabio Labra, Biólogo Marino, Dr. en Ciencias Biológicas, mención Ecología

Macroinfauna de fondos sedimentarios

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile
Eduardo Jaramillo, Ph.D.
Marcia González, M.Sc., mención Zoología
Felipe Navarro, Biólogo Marino

Macrofauna de fondos ritrales

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile
Felipe Navarro, Biólogo Marino
Eduardo Jaramillo, Ph.D.
Pablo Fierro, Biólogo Marino, Dr.

Fauna de camarones

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile
Eduardo Jaramillo, Ph.D.
Pamela López, Biólogo Marino

Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Laboratorio de Oceanografía Química (LOQ), Universidad de Concepción
Marco Salamanca, Biólogo Marino, M.Sc., Ciencias Marinas Ambientales, Ph.D. Oceanografía Costera
Cristián Chandia, Biólogo Marino, Diplomado en Ingeniería Química Ambiental
Claudia Figueroa, Químico Analista
Gabriela Franyola, Biólogo Marino
Verónica Pinto, Químico Analista
Francesca Gauthier, Químico Analista
Juanita Elgorriaga, Químico Analista
Carlos Casanueva, Químico Analista
Leonardo Rosemberg, Biólogo Marino
Edgardo Muñoz, Técnico de terreno
Michel Rivas, Técnico de terreno

Ictiofauna

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile
- Eduardo Jaramillo, Ph.D.
- Pamela López, Biólogo Marino

Facultad de Ciencias Veterinarias
- Enrique Paredes, Médico Veterinario, Dr. med. vet.
- Ricardo Enríquez, Médico Veterinario, Dr. med. vet.
- María José Navarrete, Médico Veterinaria, M.Sc., Medicina Preventiva Animal, Ph.D. Patología Animal
- Pamela Muñoz, Médico Veterinaria, M.Sc., Ciencias Animales y Veterinarias, mención Medicina Preventiva Animal
- Alex Romero, Bioquímico, Dr. en Ciencias, mención Biología Celular y Molecular
- Jorge Vásquez, Bioquímico

Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Laboratorio de Oceanografía Química (LOQ), Universidad de Concepción
- Marco Salamanca, Biólogo Marino, M.Sc., Ciencias Marinas Ambientales, Ph.D. Oceanografía Costera
- Cristián Chandia, Biólogo Marino, Diplomado en Ingeniería Química Ambiental
- Claudia Figueroa, Químico Analista
- Gabriela Franyola, Biólogo Marino
- Verónica Pinto, Químico Analista
- Francesca Gauthier, Químico Analista
- Juanita Elgorriaga, Químico Analista
- Carlos Casanueva, Químico Analista
- Leonardo Rosemberg, Biólogo Marino
- Edgardo Muñoz, Técnico de terreno
- Michel Rivas, Técnico de terreno

Herpetofauna

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile
- José Nuñez, Bioquímico, Dr. en Ciencias, mención Zoología

Avifauna

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile
- Eduardo Jaramillo, Ph.D.
- Juan Navedo, PhD.

Jorge Ruiz, Médico Veterinario

Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Laboratorio de Oceanografía Química (LOQ), Universidad de Concepción

Marco Salamanca, Biólogo Marino, M.Sc., Ciencias Marinas Ambientales, Ph.D. Oceanografía Costera
Cristián Chandia, Biólogo Marino, Diplomado en Ingeniería Química Ambiental
Claudia Figueroa, Químico Analista
Gabriela Franyola, Biólogo Marino
Verónica Pinto, Químico Analista
Francesca Gauthier, Químico Analista
Juanita Elgorriaga, Químico Analista
Carlos Casanueva, Químico Analista
Leonardo Rosemberg, Biólogo Marino
Edgardo Muñoz, Técnico de terreno
Michel Rivas, Técnico de terreno

Mamíferos acuáticos

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile

Cesar Barrales, Biólogo Marino
Felipe Navarro, Biólogo Marino

Análisis comparativos de datos en estudios de riesgo ecológico

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile

Cesar Barrales, Biólogo Marino
Eduardo Jaramillo, Ph.D.

Cambios de uso del suelo

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile

Adriano Rovira, Geógrafo, Dr. en Geografía

Conocimiento ecológico local

Facultad de Filosofía y Humanidades Universidad Austral de Chile

María Ignacia Fuenzalida, Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, M.Sc. Desarrollo Rural (c)
Alejandra Carmona, Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, M.Sc. Desarrollo Rural (c)
Kenneth Alvarado, Licenciado en Ecoturismo, M.Sc. Desarrollo Rural (c)

Nadia Pérez, Licenciada en Medicina Veterinaria Universidad de Chile,
Magister en desarrollo rural Universidad Austral de Chile.