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 2018 - MARZO 2019

MARZO 2019

Dirección · Campus Isla Teja · Valdivia · Chile

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

ÍNDICE

		Página
1.	INTRODUCCIÓN	2
2.	OBJETIVOS	6
3.	ANÁLISIS DE DATOS AMBIENTALES DE LARGO PLAZO	8
	3.1. Antecedentes climáticos del área de estudio	8
	3.2. Objetivos	9
	3.3. Material y métodos	9
	3.3.1. Recopilación de datos históricos	9
	3.3.2. Análisis de temperatura mínima del aire, precipitaciones, caudal hídrico y del espejo de agua	9
	3.4. Resultados	12
	3.4.1. Temperatura mínima del aire	12
	3.4.2. Precipitaciones	16
	3.4.3. Caudal hídrico del río Cruces	24
	3.4.4. Nivel del espejo de agua	29
	3.5. Conclusiones	34
	3.6. Referencias	36
4.	COMPONENTES DEL PROGRAMA	38
	4.1. COMPONENTES ABIÓTICOS	38
	4.1.1. CALIDAD DEL AGUA	38
	4.1.1.1 Objetivos	38
	4.1.1.2. Material y métodos	39
	4.1.1.3. Resultados	45
	4.1.1.4. Análisis comparativos en relación a la calidad de agua	244
	4.1.1.5. Conclusiones	254
	4.1.2. CALIDAD DEL SEDIMENTO	257
	4.1.2.1. Objetivos	257
	4.1.2.2. Material y métodos	257
	4.1.2.3. Resultados	261
	4.1.2.4. Análisis comparativos en relación a la calidad de sedimento	311
	4.1.2.5. Conclusiones	328
	4.1.2.6. Referencias	
3330		

4.2. COMPONENTES BIOLÓGICOS 332

4.2.1. MACRÓFITAS ACUÁTICAS 332
4.2.1.1. Análisis espacio-temporal de la calidad del agua y cobertura de macrófitas acuáticas mediante sensores remotos 332
4.2.1.1.1. Antecedentes 332
4.2.1.1.2. Objetivos 334
4.2.1.1.3. Material y métodos 335
4.2.1.1.4. Resultados 351
4.2.1.1.5 Conclusiones 387
4.2.1.1.6. Referencias 389
4.2.2. MACROINFAUNA DE FONDOS SEDIMENTARIOS 391
4.2.2.1. Antecedentes 391
4.2.2.2. Objetivos 392
4.2.2.3. Material y métodos 392
4.2.2.4. Resultados 397
4.2.2.5. Conclusiones 452
4.2.2.6. Referencias 454
4.2.3. MACROFAUNA DE FONDOS RITRALES 480
4.2.3.1. Antecedentes 480
4.2.3.2. Objetivos 481
4.2.3.3. Material y métodos 481
4.2.3.4. Resultados 486
4.2.3.5. Conclusiones 503
4.2.3.6. Referencias 505
4.2.4. FAUNA DE CAMARONES 508
4.2.4.1. Antecedentes 508
4.2.4.2. Objetivos 510
4.2.4.3. Material y métodos 510
4.2.4.4. Resultados 516
4.2.4.5. Conclusiones 564
4.2.4.6. Referencias 566
4.2.5. ICTIOFAUNA 567
4.2.5.1. Antecedentes 567
4.2.5.2. Objetivos 570
4.2.5.3. Material y métodos 571
4.2.5.4. Resultados 577
4.2.5.4.1. Estudios comunitarios y poblacionales 577
4.2.5.4.2. Elementos y compuestos químicos en *Galaxias maculatus* 606
4.2.5.4.3. Estado sanitario y análisis histopatológicos 625
4.2.5.5. Conclusiones 642
4.2.5.6. Referencias 645

4.2.6. HERPETOFAUNA **649**
4.2.6.1. Antecedentes **649**
4.2.6.2. Objetivos **650**
4.2.6.3. Material y métodos **651**
4.2.6.4. Resultados **654**
4.2.6.5. Conclusiones **663**
4.2.6.6. Referencias **664**

4.2.7. AVIFAUNA **677**
4.2.7.1. Análisis comunitarios y poblacionales de la avifauna acuática **677**
4.2.7.1.1. Antecedentes **677**
4.2.7.1.2. Objetivos **677**
4.2.7.1.3. Material y métodos **678**
4.2.7.1.4. Resultados **683**
4.2.7.1.5. Conclusiones **711**

4.2.7.2. Elementos y compuestos químicos en Garza blanca grande (*Casmerodius albus*) **712**

4.2.7.2.1. Antecedentes **712**
4.2.7.2.2. Objetivos **713**
4.2.7.2.3. Material y métodos **713**
4.2.7.2.4. Resultados **715**
4.2.7.2.5. Conclusiones **746**

4.2.7.3. Composición de la comunidad, condición corporal y eficacia biológica de la avifauna de las riberas **748**
4.2.7.3.1. Antecedentes **748**
4.2.7.3.2. Objetivos **749**
4.2.7.3.3. Material y métodos **749**
4.2.7.3.4. Resultados **755**
4.2.7.3.5. Conclusiones **772**
4.2.7.3.6. Referencias **774**

4.2.8. MAMIFEROS ACUATICOS **776**
4.2.8.1. Antecedentes **776**
4.2.8.2. Objetivos **777**
4.2.8.3. Material y métodos **777**
4.2.8.4. Resultados **781**
4.2.8.5. Conclusiones **793**
4.2.8.6. Referencias **793**

4.3. ANÁLISIS COMPARATIVOS DE DATOS OBTENIDOS EN PROGRAMAS DE DIAGNÓSTICO Y MONITOREO CON ESTUDIOS PREVIOS DE RIESGO ECOLÓGICO **804**
4.3.1. Antecedentes **804**
4.3.2. Objetivos **805**
4.3.3. Material y métodos **805**
4.3.4. Resultados **818**
4.3.5. Discusión **841**
4.3.6. Conclusiones **841**
4.3.7. Referencias **842**

4.4. CAMBIOS DE USO DEL SUELO **843**
4.4.1. Antecedentes **843**
4.4.2. Objetivos **844**
4.4.3. Material y métodos **844**
4.4.4. Resultados **847**
4.4.5. Conclusiones **857**
4.4.6. Referencias **858**

4.5. CONOCIMIENTO ECOLÓGICO LOCAL **859**
4.5.1. Antecedentes **859**
4.5.2. Objetivos **863**
4.5.3. Material y métodos **863**
4.5.4. Resultados **867**
4.5.5. Evaluación del programa **874**

5. SINTESIS, ALCANCES Y AMENAZAS O ADVERTENCIAS **881**

6. EQUIPO DE TRABAJO **891**

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.

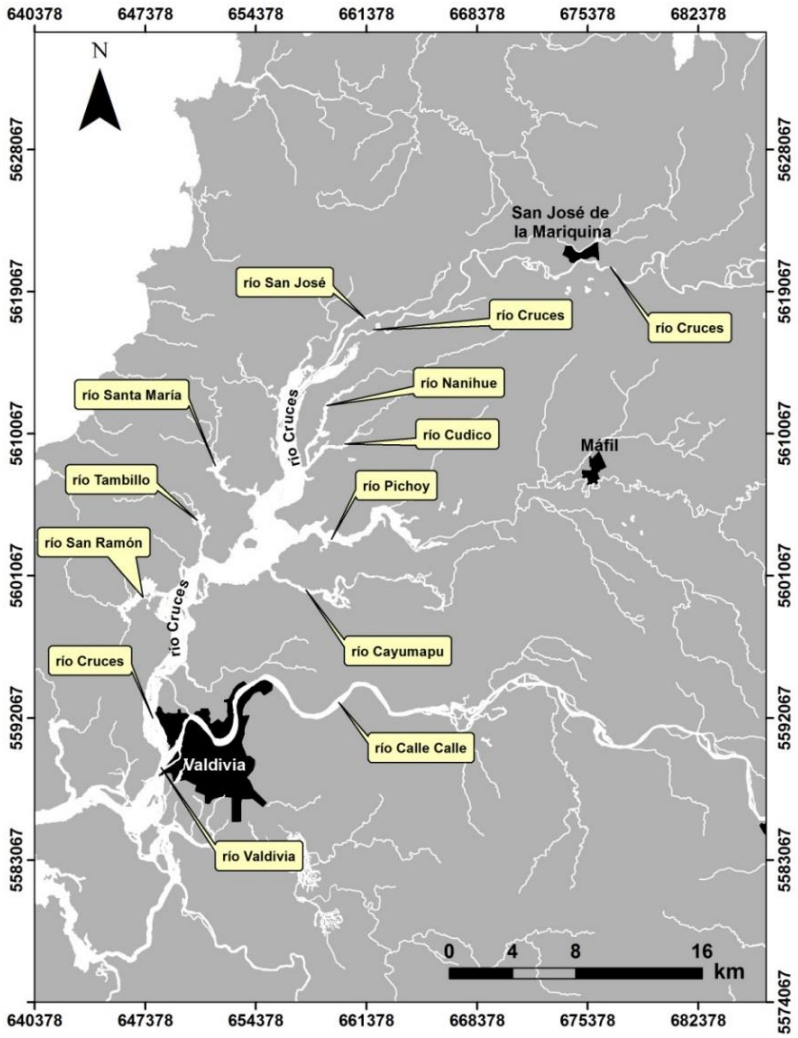


Figura 1. Ubicación del humedal del río Cruces (HRC) y los ríos tributarios de mayor importancia por su volumen hídrico.

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 (2015-2019) y que fue aceptada en marzo del año 2014 por el CCS. Sin embargo, en esa 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 son:

• 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.

En el Capítulo 6 de este Informe (SÍNTESIS Y ALCANCES), se entregan comentarios a los alcances de los objetivos arriba mencionados.

3. ANÁLISIS 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 – 2018, 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 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 a -4^{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 2018.
- 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 cincuenta y nueve 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 1970-2018.

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 2018. 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 2018 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 agrometeorológicas dependientes del INIA.

Los datos de caudales hídricos y altura del espejo de agua cubren el período 1970-2018 y 2000 - 2018, 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 2018
		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 2018
	Caudal río Cruces	DGA	Rucaco	1 ene 1969	31 dic 2018
	Nivel de agua	DGA	Rucaco	1 ene 2000	31 dic 2018

Los análisis se realizaron en R Core Team (2014). 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; la función *filter* () se usó realizar alisados de las series mediante promedios móviles, 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 (sd_{x_t}) de las observaciones (x_t).

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

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 2018, 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 definida (Fig. 3.2).

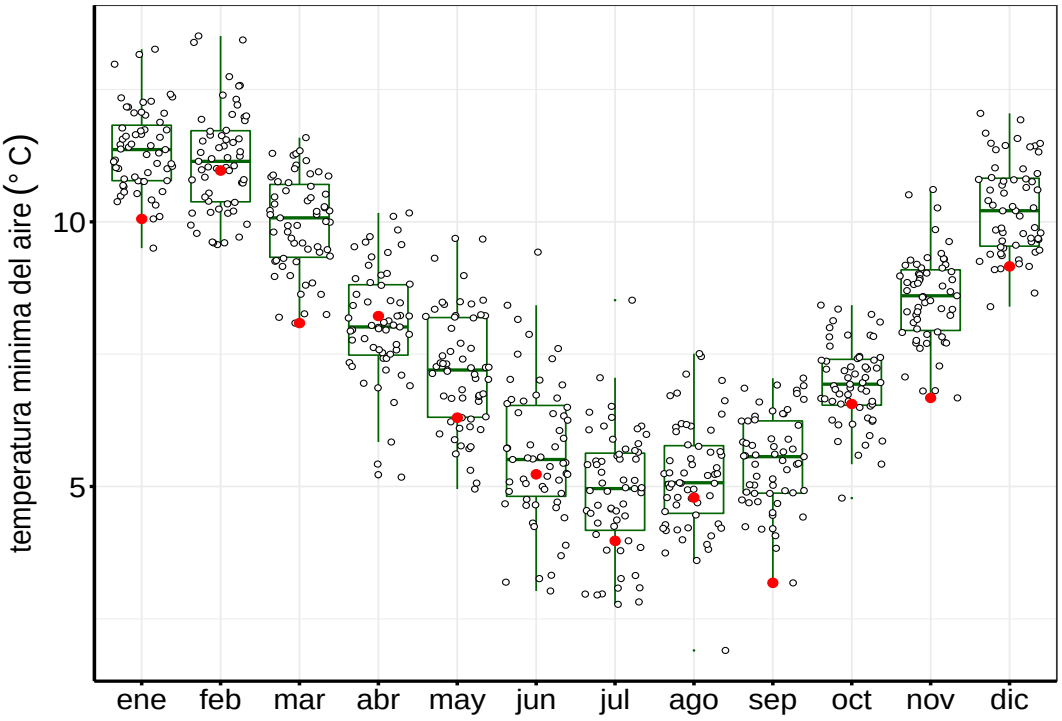


Figura 3.1. Patrón estacional de las temperaturas mínimas del aire en Valdivia. Los círculos negros con fondo blanco indican los promedios mensuales desde enero de 1960 a diciembre del año 2018; los puntos de color rojo indican el valor correspondiente al año 2018.

Sin embargo, la componente tendencia (trend) de la serie presenta períodos con temperaturas altas y otros donde predominan temperaturas menores (Fig. 3.2). El análisis de la componente de tendencia mediante un modelo lineal (Fig. 3.3 A), indica una tendencia suave de largo plazo (*p-value* = 2,044e-08). La prueba de Mann-Kendall sobre las anomalías estandarizadas indica que existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis de no tendencia (*tau*= -0,069 *p-value* = 0,0060), de manera que corrobora la tendencia suave de largo plazo detectada con el modelo lineal (Fig. 3.3 B).

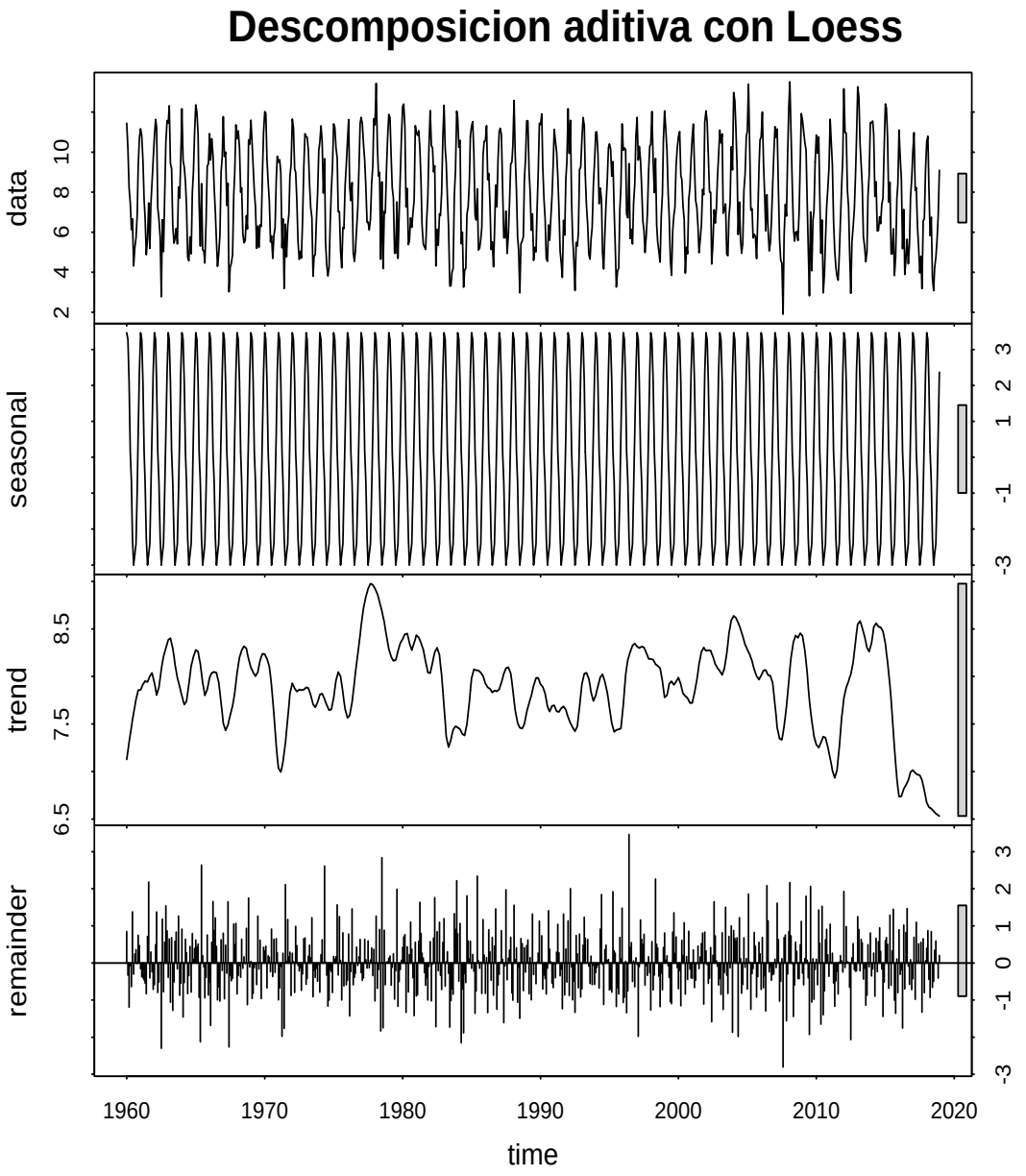


Figura 3.2. Descomposición aditiva con Loess de la serie de temperaturas mínimas mensuales de la zona de Valdivia, desde enero de 1960 a diciembre de 2018.

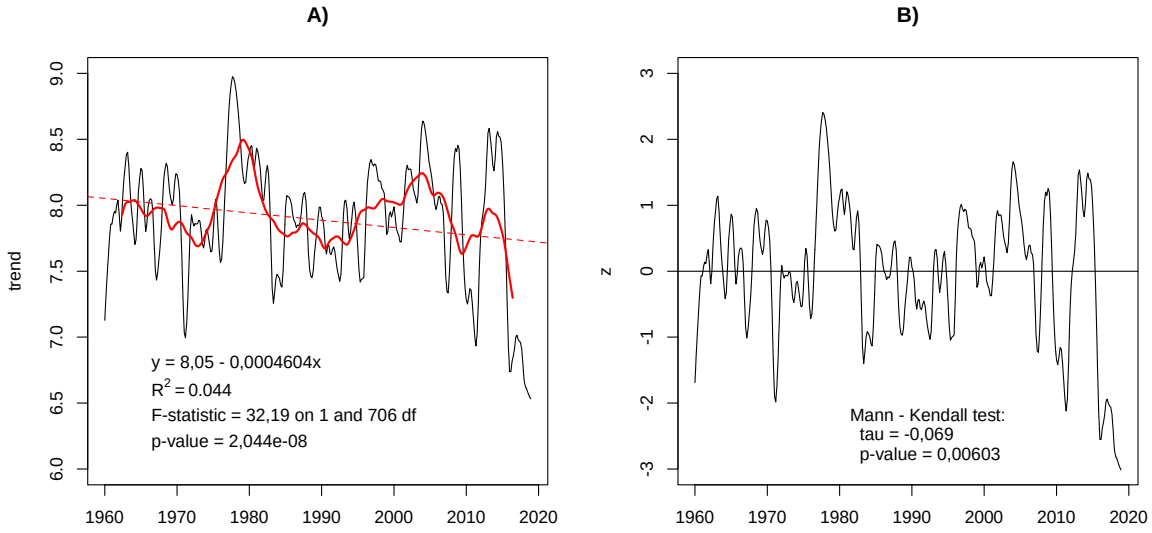


Figura 3.3. A) Componente de tendencia de las temperaturas mínimas mensuales en la zona de Valdivia desde 1960 a 2018, derivada de la descomposición por Loess. La línea roja continua indica el alisado de la serie para un periodo de 120 meses; la línea roja segmentada muestra el ajuste de un modelo lineal a la componente de tendencia.; **B)** Anomalías estandarizadas (z) de la componente de tendencia.

Variabilidad histórica anual

Las temperaturas mínimas anuales en Valdivia, desde 1960 al 2018, presentan una clara variabilidad interanual, sin mostrar tendencia definida en todo el período (Fig. 3.4 A). El ajuste de un modelo lineal a la serie 1960-2018 (Fig. 3.4 A, *p-value* = 0,101) y la aplicación de la prueba de Mann-kendall a las anomalías estandarizadas (Fig. 3.4 B) indican que las temperaturas mínimas anuales no presentan tendencia (tau= - 0,0684, *p-value* = 0,4481).

Durante todo el período se observa una importante variabilidad interanual registrándose cuatro eventos de mínimas, específicamente en los años 1971, 2011, 2016 y 2018 con temperatura mínimas sobresalientes producto de inviernos muy helados. En el año 1971 entre enero y septiembre las temperaturas mensuales variaron entre 3,19 °C a 6,66 °C. En el año 2011 las temperaturas mensuales promedio estuvieron bajo los 5 °C desde junio a septiembre y en el año 2016 las temperaturas promedios mensuales estuvieron bajo dicho nivel entre junio a octubre. En el último año se registra el menor valor de la serie.

Al igual que en la serie mensual se observan fluctuaciones, pero con periodos que podrían abarcar entre 10 y 11 años.

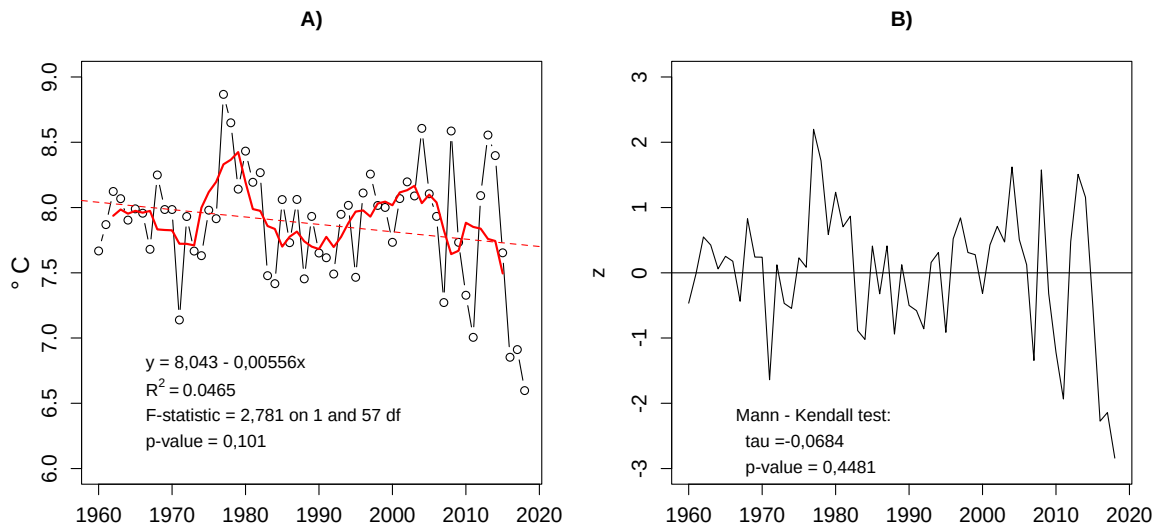


Figura 3.4. A) Temperaturas mínimas anuales promedios en la zona de Valdivia desde 1960 a 2018. La línea roja continua indica el alisado de la serie para un promedio móvil de 5 años; la línea roja segmentada muestra el ajuste de un modelo lineal a la serie; **B)** Anomalías estandarizadas (z) de la tendencia.

3.4.2. Precipitaciones

Datos

La serie de precipitaciones diarias comprende desde 1960 a 2018. 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; 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 puede extenderse hasta abril (Fig. 3.5).

Precipitaciones enero - diciembre de 2018

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 (Fig. 3.6). En los años 2017 y 2018 ocurrieron precipitaciones que superaron levemente el nivel de año normal, revertiendo la tendencia que se venía observando en los 5 años anteriores.

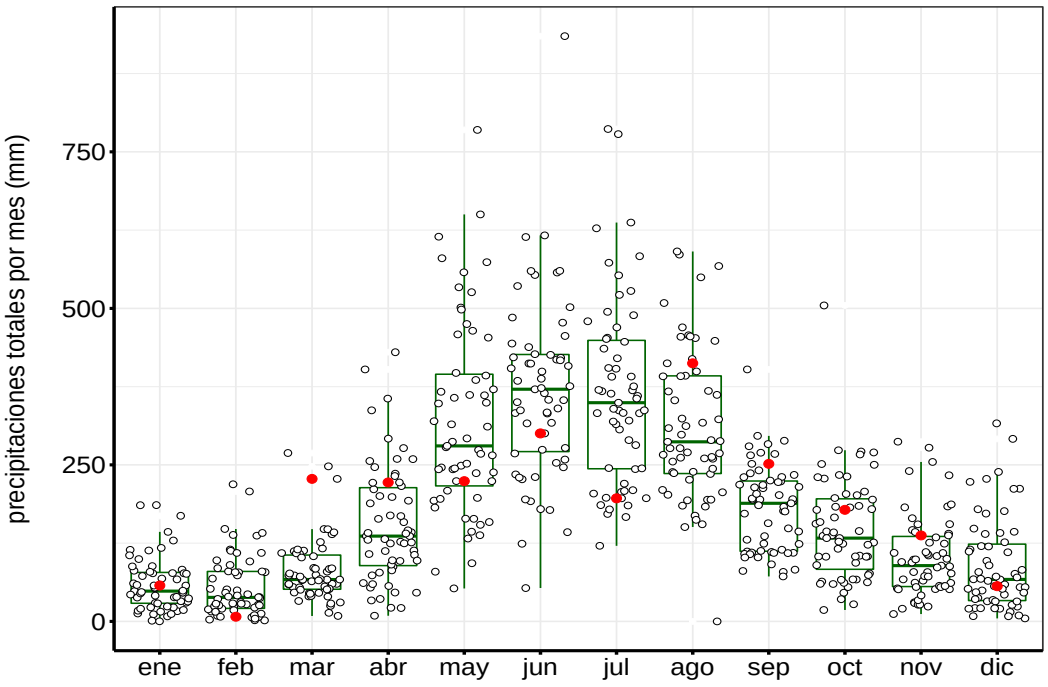


Figura 3.5. Variabilidad mensual y patrón histórico estacional de las precipitaciones registradas entre 1960 y 2018 en Valdivia. Los círculos negros con fondo blanco indican las precipitaciones mensuales desde enero de 1960 a diciembre de 2018; los puntos de color rojo indican el valor correspondiente al año 2018. Fuente de datos: UACh, complementados con datos de la Dirección Meteorológica de Chile.

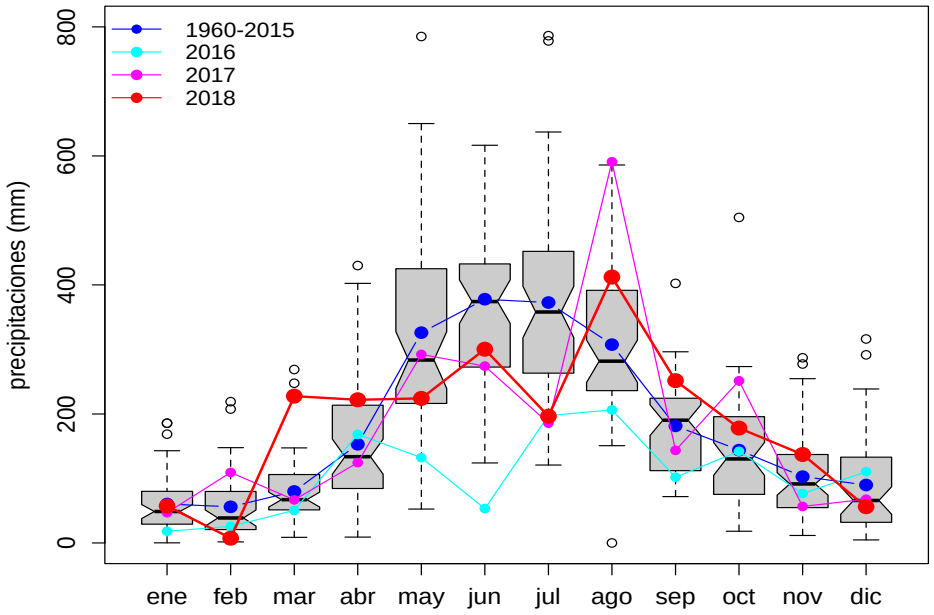


Figura 3.6. Patrón histórico estacional de las precipitaciones medias mensuales registradas entre 1960 y 2015 en Valdivia y precipitaciones mensuales de los últimos 3 años (2016, 2017 y 2018).

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 2018 (Fig. 3.7). Sin embargo, en la parte más reciente de esta serie se observa 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 (Fig. 3.7).

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. 3.8 A). El ajuste de un modelo lineal y la prueba de Mann-Kendall (Fig. 3.8 B) indican que los datos no soportan la hipótesis nula de pendiente cero (*p-value* = 1,748e-13) o no tendencia (*tau* = - 0,167, *p-value* = 2,706e-11),

respectivamente. En otras palabras, ambos análisis indican la presencia de una tendencia decreciente de largo plazo de las precipitaciones, a pesar del nivel normal de agua caída en los dos últimos años (2017 -2018).

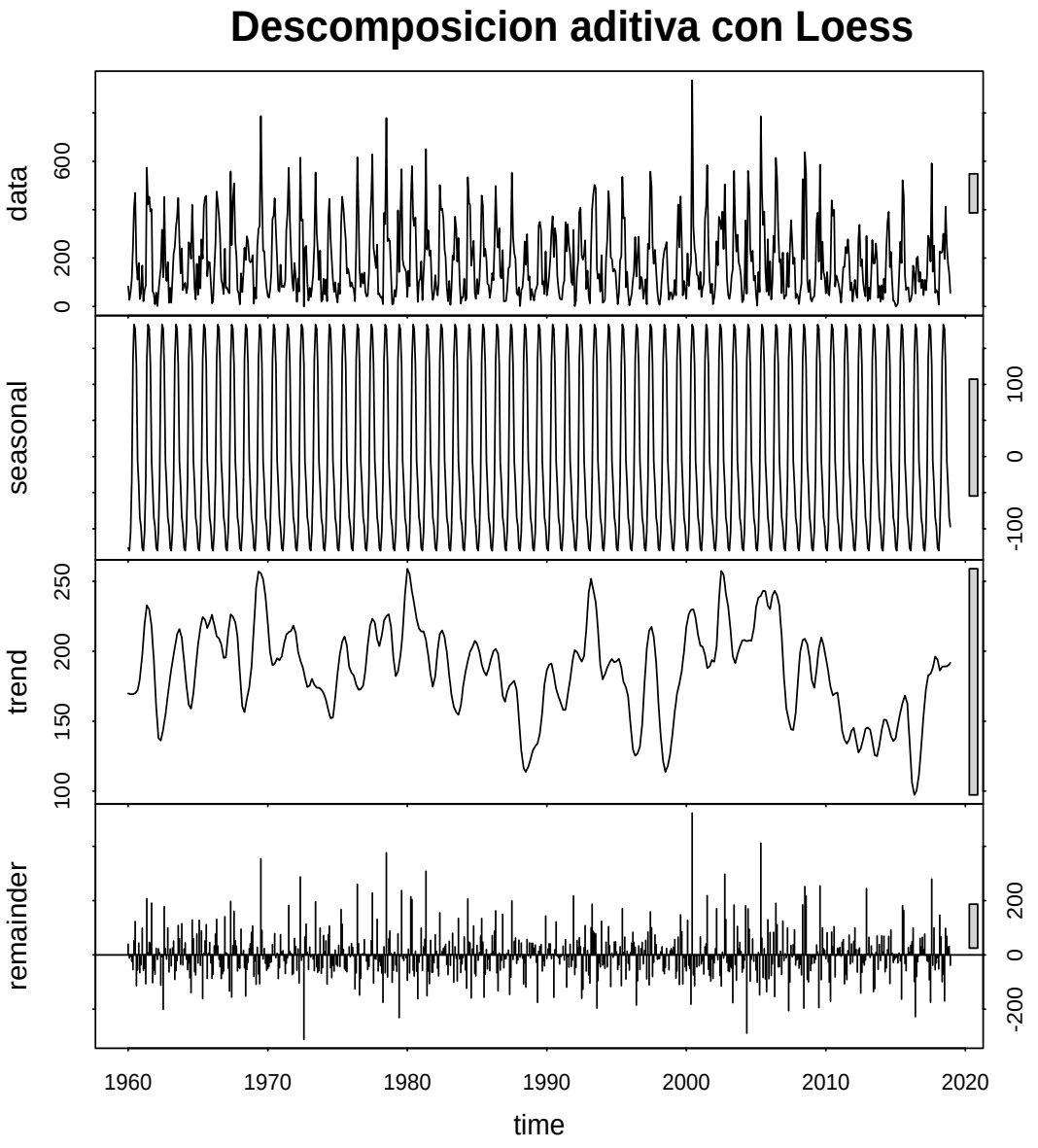


Figura 3.7. Descomposición aditiva con Loess de la serie de precipitaciones mensuales de la zona de Valdivia desde 1960 al 2018, compuestas por la serie UACh y complementada con datos de la estación Aeropuerto Pichoy.

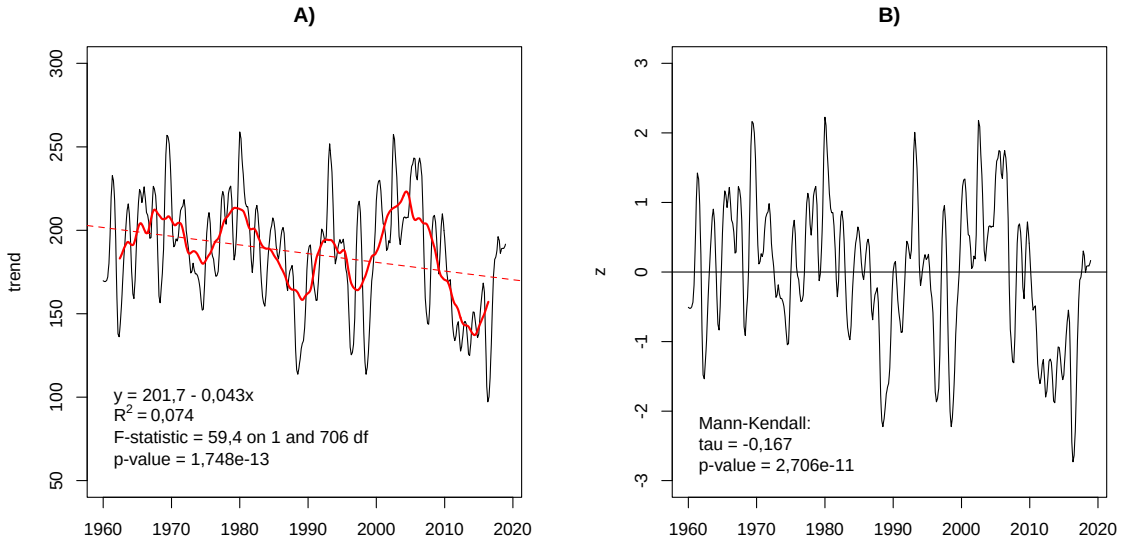


Figura 3.8. A) Componente de tendencia (trend) de la serie mensual de las precipitaciones en la zona de Valdivia desde 1960 a 2018, obtenida mediante descomposición aditiva con Loess. La línea roja indica un alisado lineal de la serie con periodo entre 120 a 136 meses. La línea roja segmentada indica 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 2018 (Fig. 3.9 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* = 0,048). La prueba de Mann – Kendall sobre las anomalías estandarizadas de la serie indica, en el límite del criterio, que no existe evidencia suficiente en los datos para rechazar la hipótesis de no tendencia (*tau*= - 0,168 *p-value* = 0,061), de modo que las variaciones observadas en las precipitaciones medias anuales en el período 1960 a 2018 siguieron un patrón aleatorio sin tendencia (Fig. 3.9 B).

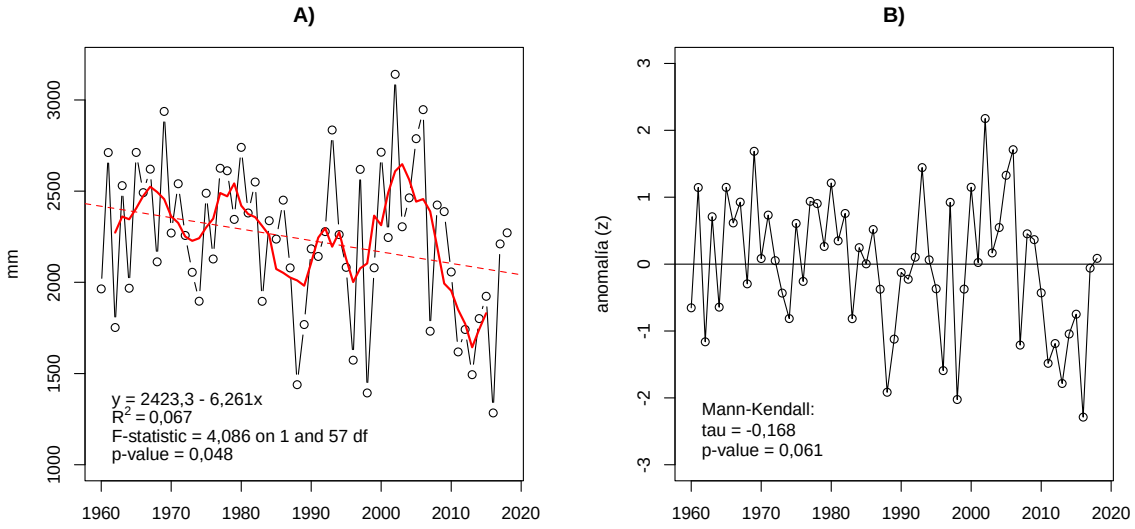


Figura 3.9. A) Serie anual de las precipitaciones en la zona de Valdivia desde 1960 a 2018, compuestas por la serie UACh y complementada con datos de la Dirección Meteorológica de Chile (estación Aeropuerto Pichoy). La linea roja indica un suavizado lineal de 6 años. La línea roja segmentada corresponde 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 (1989-2018). 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. 3.9 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 2016. En este último, destaca la caída persistente de las precipitaciones en los últimos 7 años, alcanzando en el 2016 el menor valor entre 1960 y 2018.

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

La declinación global detectada en la serie anual precipitaciones desde el año 1900 al 2018 (Mann-Kendall *tau* = -0.247, *p-value* = 6.949e-5), mostrada en la Figura 3.10, concuerda con la disminución anual de las precipitaciones señaladas por CONAMA (2007), Quintana & Aceituno (2012), González-Reyes & Muñoz (2013) y UACh (2016 y 2017). Esto indica que la tendencia de las precipitaciones anuales en el período 1960 - 2018, se vió afectada en su significancia estadística por lo corto de la serie de datos.

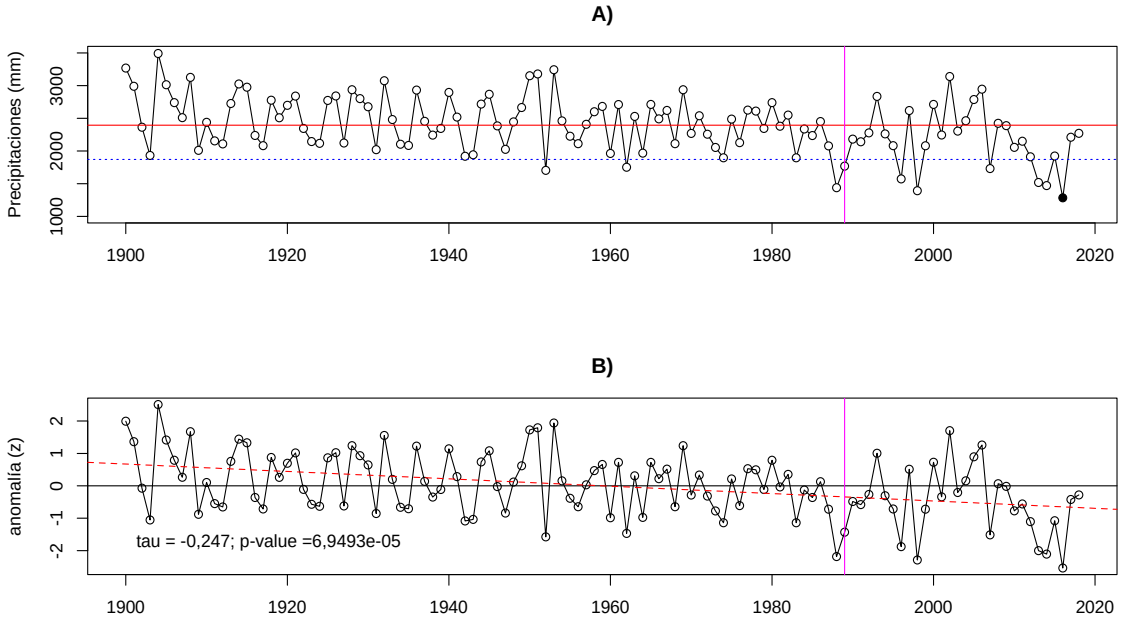


Figura 3.10. A) Serie anual de precipitaciones en Valdivia desde 1900 a 2018 y **B)** serie de anomalías estandarizadas para el mismo período. Las líneas rojas horizontales indican el promedio e intervalos de confianza de la media. La línea azul segmentada en A) indica en nivel de pluviosidad para un 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 las series (119 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 2017 los recopilados en este estudio.

Esta serie también muestra que: 1) el nivel de precipitaciones del año 2016 es el mínimo registrado en 119 años, con 1247 mm de agua caída (Fig. 3.10 A)), 2) en los primeros 18 años del siglo XXI[2] (2001 - 2018) han ocurrido 4 casos con precipitaciones menores a un año normal con una probabilidad de ocurrencia de 0,22 (4/18) y, 3) 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), registrándose no obstante cuatro de ellos en los últimos 15 años de este período.

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 y los datos abarcan desde el 1 de enero de 1970 al 31 de diciembre de 2018. 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.

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

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. 3.11), distinguiéndose un período de bajos caudales desde enero hasta abril, coun 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.

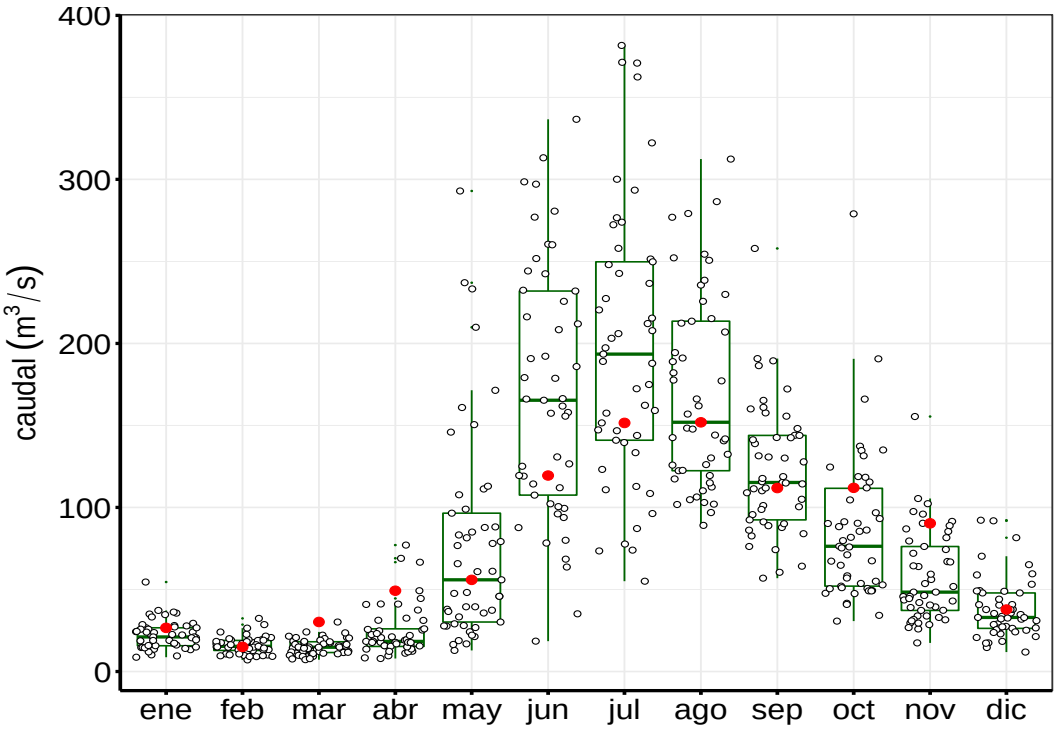


Figura 3.11. Patrón histórico estacional del caudal hídrico del río Cruces en el sector de Rucaco, obtenido a partir de datos diarios registrados por la Dirección General de Aguas entre el 1 de enero de 1970 y el 31 de diciembre de 2018. Los círculos negros vacíos indican los caudales promedios mensuales por año desde enero de 1960 a diciembre 2018; los puntos de color rojo indican el valor correspondiente al año 2018.

El caudal del río Cruces está claramente correlacionado al patrón estacional de precipitaciones (Correlación Pearson = 0,78, *p-value* = 5,493e-119). La relación entre el caudal promedio anual del río Cruces en Rucaco y las precipitaciones anuales en Valdivia

(1970 y 2018) es positiva y puede ser representada por el modelo lineal indicado la Fig. 3.12; el cual presenta un p-valor menor al nivel de significancia del 5% (*p-value* = 5,493e-11) y explica el 59,5 % de la variablidad observada entre ambas variables (R^2 = 0,595).

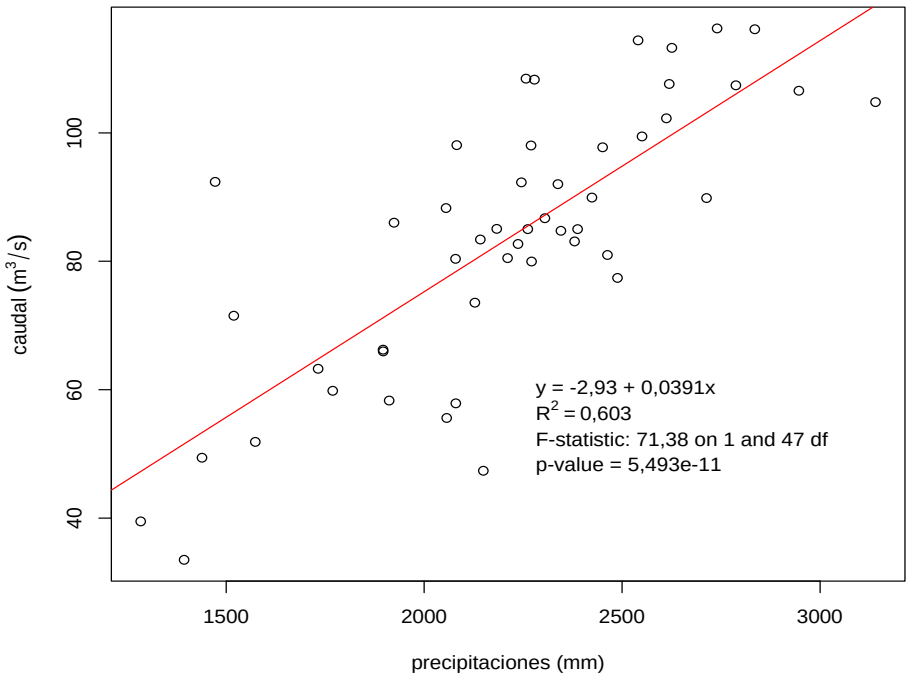


Figura 3.12. Relación lineal entre el caudal promedio del río Cruces (sector Rucaco) y las precipitaciones anuales en la zona de Valdivia.

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. 3.13). La serie de 48 años muestra la alternancia de períodos con mayores y menores flujos hídricos y una aparente tendencia a disminuir hacia los años más recientes.

La alternancia de períodos con altos y bajos caudales de escala mayor a la estacional se observa de forma más clara en la Figura 3.14 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 = 0,11; *p-value* = 2,758e-16) tal como se muestra en la Figura 3.14 A). Similar resultado entrega la prueba de Mann-Kendall a las anomalías estandarizadas de la tendencia (Fig. 3.14 B). Estos resultados se ajustan o correlacionan con la tendencia observada en las precipitaciones (*cf.* Fig. 3.10 B).

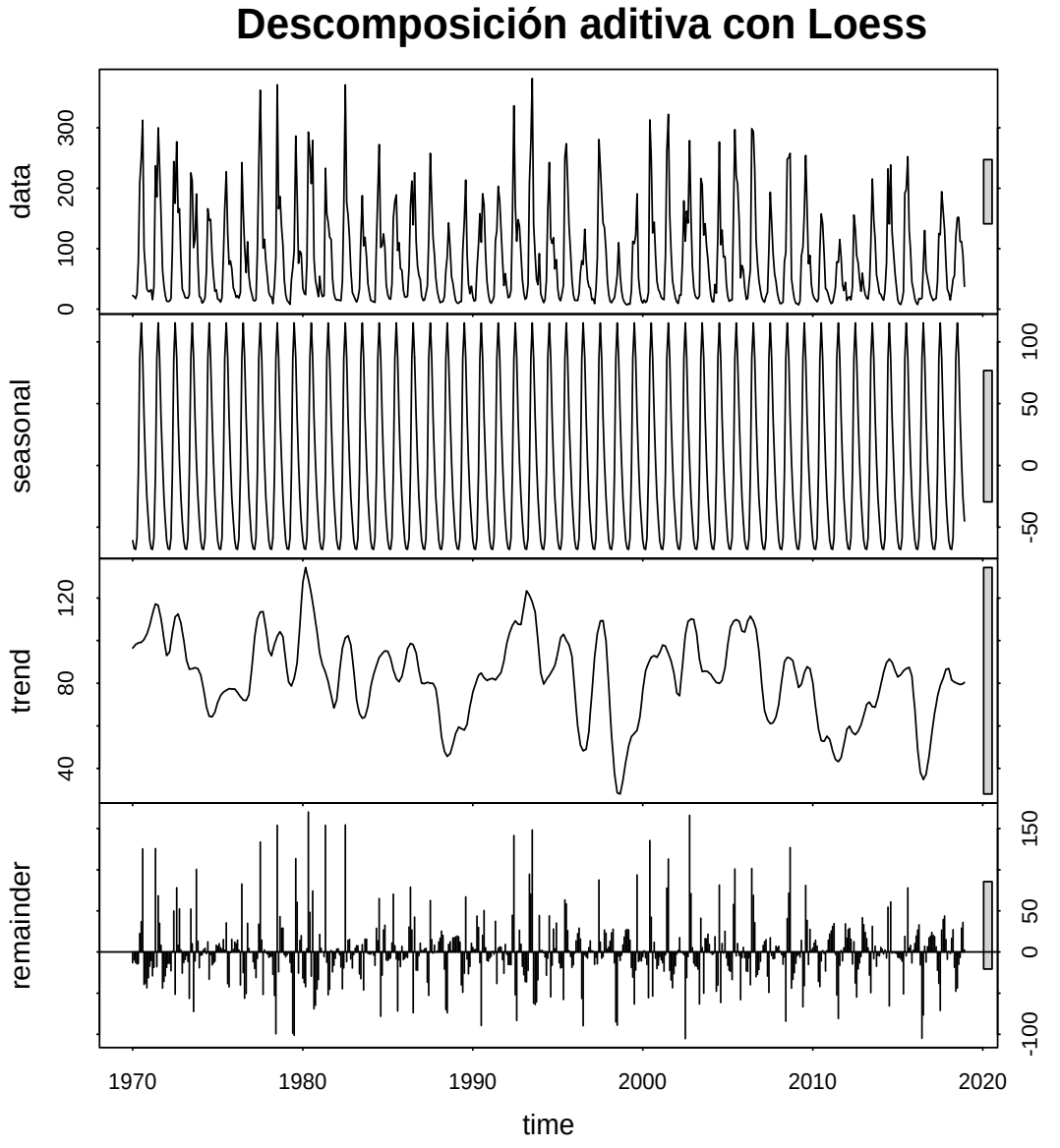


Figura 3.13. Descomposición aditiva con Loess de la serie de caudales medios mensuales en Rucaco desde el 01 enero 1970 al 31 diciembre de 2018, a partir de datos de la Dirección General de Aguas.

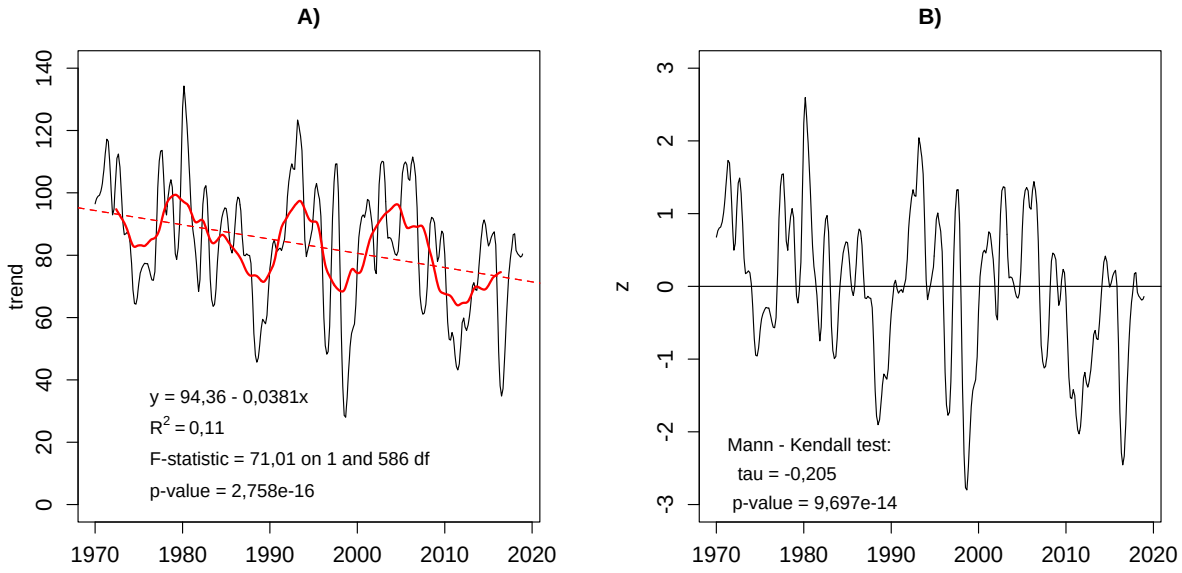


Figura 3.14. A) Componente de la tendencia (trend) obtenida a partir de la descomposición aditiva con Loess de la serie de caudales medios mensuales del río Cruces en Rucaco entre 1970 y 2018. La línea roja continua indica el suavizado de la serie para un período de 120 meses y la línea roja segmentada 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 = 0,12; F = 5,32 con 47 gl; *p-value* = 0,0256) tal como se muestra en la Figura 3.15 A). El análisis de la tendencia de las anomalías estandarizadas anuales con la prueba de Mann-Kendall (*tau* = - 0,207; *p-value* = 0,0362) indica que existe evidencia en los datos para rechazar la hipótesis nula de no tendencia (Fig. 3.15 B). Estos resultados son lógicos, dada la relación directa entre caudal y precipitaciones (Fig. 3.12), y la disminución de las precipitaciones hacia los años más recientes.

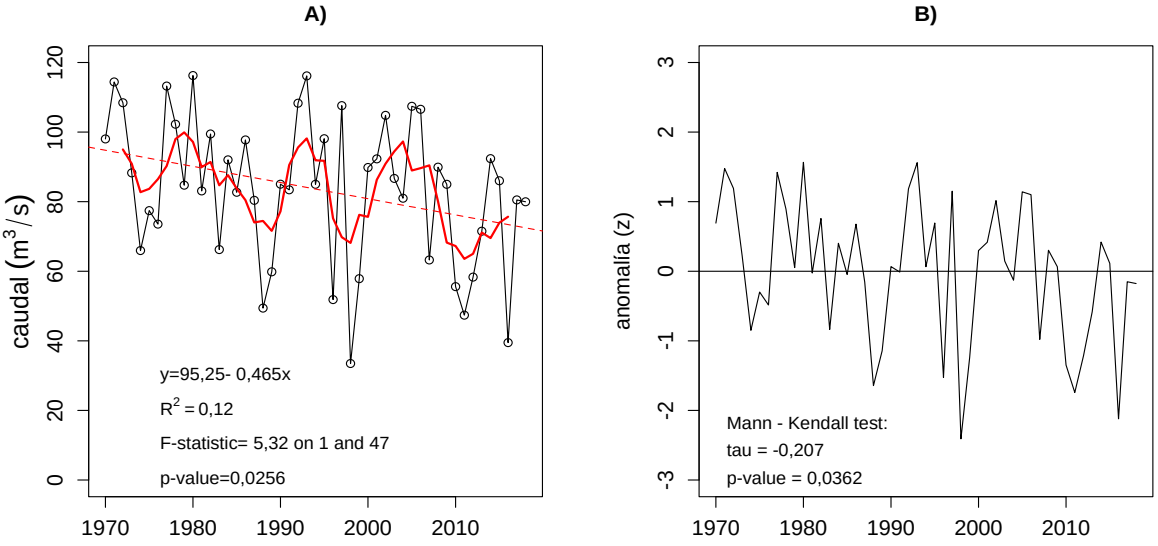


Figura 3.15. A) Serie de caudales medios anuales del río Cruces en Rucaco entre 1970 y 2018. La línea roja continua indica el alisado de la serie para un promedio móvil de 5 años y la línea roja segmentada el ajuste de un modelo lineal; **B)** Anomalías estandarizadas (z) de la componente de tendencia (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 2018, 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 observa un claro patrón estacional a lo largo del año. En la estación estival los niveles o altura del espejo de agua en Rucaco son 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. 3.16).

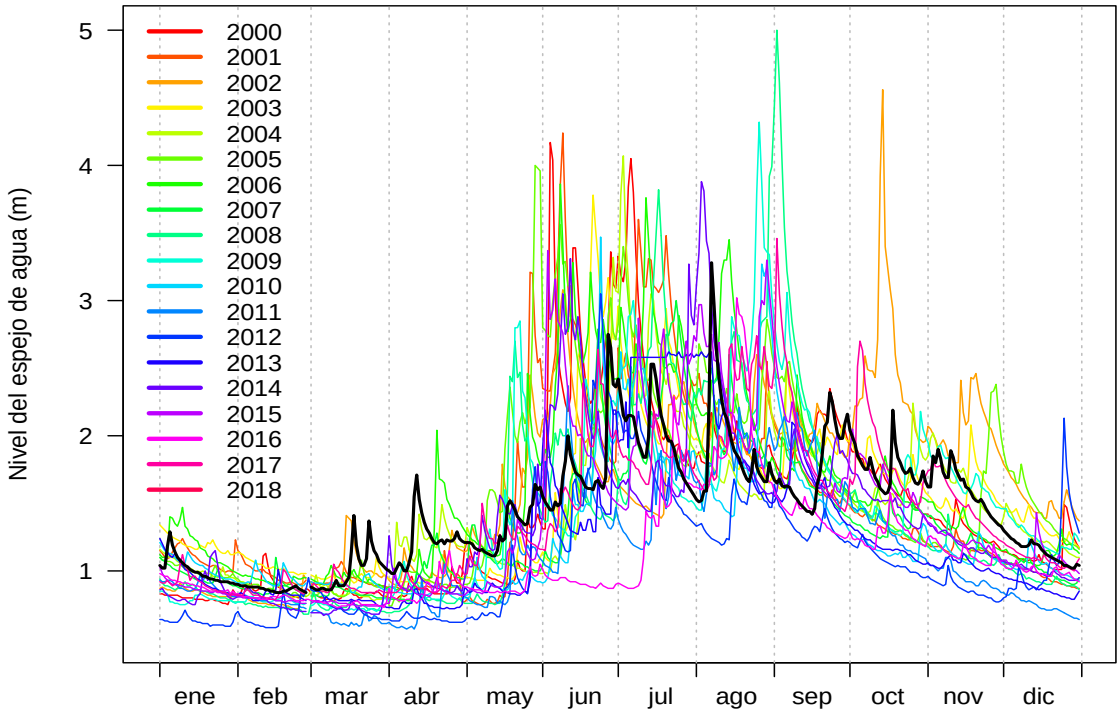


Figura 3.16. Patron y variabilidad diaria del nivel del espejo de agua en el sector de Rucaco, río Cruces, entre el año 2000 y 2018.

En la Figura 3.16 se observa que 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. Aumentos esporádicos del nivel del espejo de agua durante la estación

de primavera e inicios de verano (octubre - diciembre), ocurrieron en el año 2002, que se correlacionan con un 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 2018 se observan varios picks en el nivel del espejo de agua, destacando los ocurridos entre el 16 y 22 de marzo, el 8 al 10 de abril, el 4 al 6 agosto, el 16 y 17 de octubre y entre el 2 y 10 de noviembre, asociados evidentemente a las precipitaciones ocurridas en dichos meses o períodos.

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 (Fig. 3.19). Se observa en la componente de tendencia (trend), una declinación importante entre el año 2005 y 2012 (Fig. 3.17).

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. La serie presenta una disminución hacia los años más recientes (Fig. 3.18), coincidente con la tendencia observada en las precipitaciones (Fig. 3.8, 3.10). La relación entre la altura espejo de agua en el río Cruces y las precipitaciones en su componente estacional y de largo plazo, como fuente de causalidad es evidente y estadísticamente significativa (Figura 3.19 A)). La correlación de Spearman 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 asociación entre ellas (ρ = 0,825; *p-value* = 2,2e-16; Fig. 3.19 B).

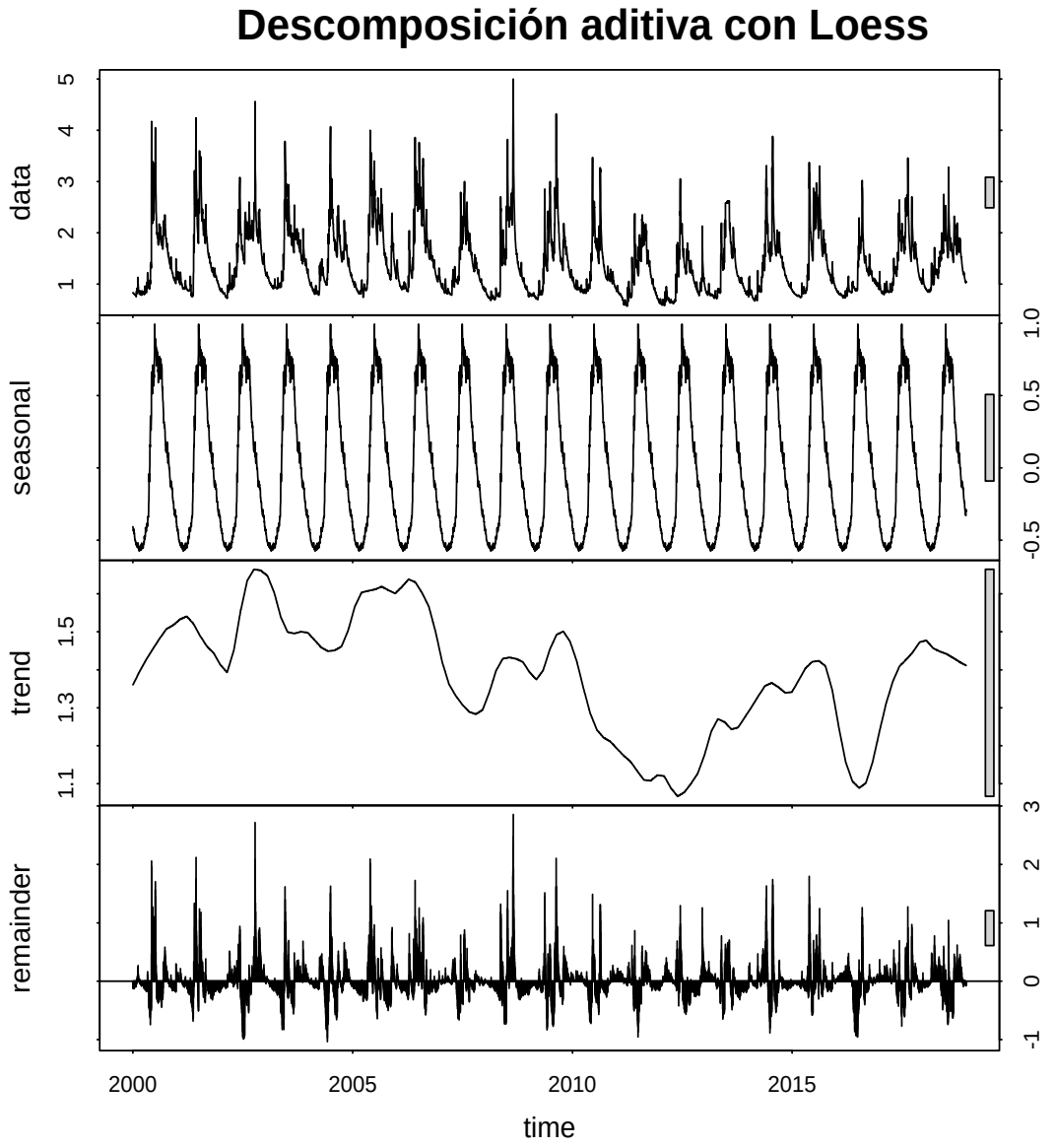


Figura 3.17. Descomposición aditiva de la serie de altura diaria del espejo de agua en el sector de Rucaco, río Cruces, entre el año 1 enero de 2000 y 31 de diciembre de 2018.

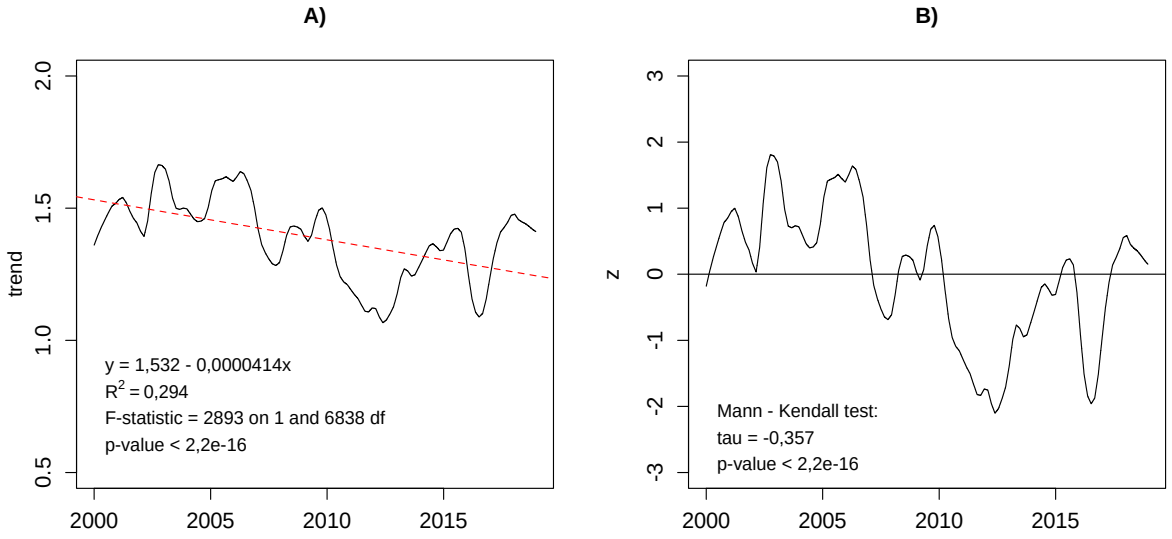


Figura 3.18. A) Componente de tendencia (trend) de altura diaria del espejo de agua del río Cruces en Rucaco entre el 1 de enero de 2000 y el 31 de diciembre de 2018. La línea roja segmentada señala el ajuste de un modelo lineal y, **B)** Anomalías estadarizadas (z) de la serie y test de Mann - Kendall.

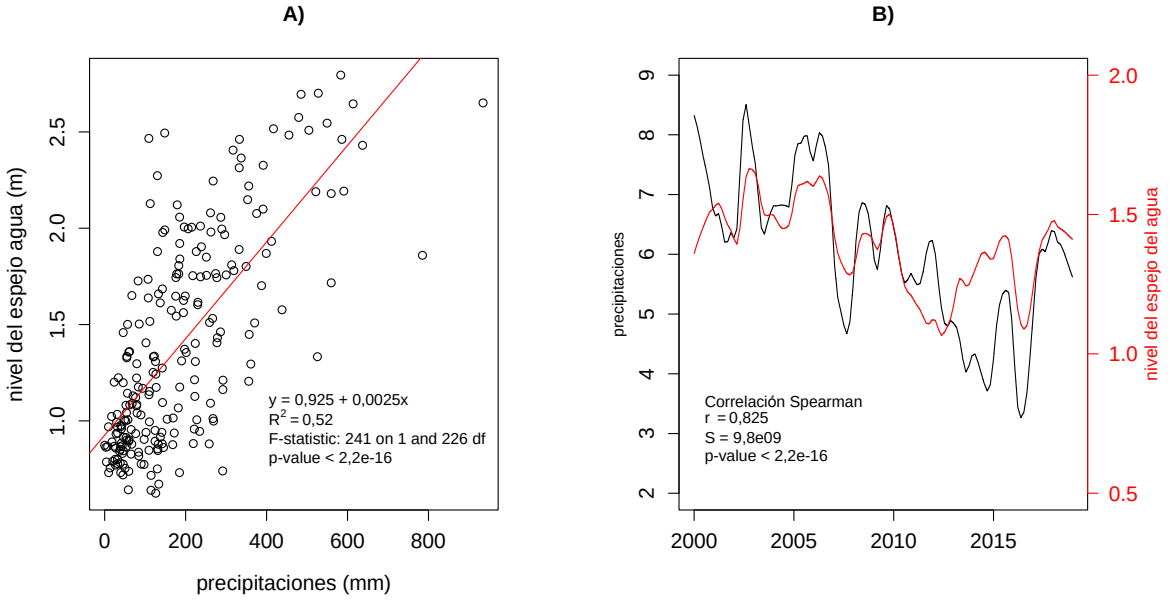


Figura 3.19. A) Relación lineal entre las precipitaciones medias y el nivel medio del espejo de agua a nivel mensual y **B)** Correlación entre la tendencia de las precipitaciones diarias y tendencia del nivel del espejo de agua del río Cruces en Rucaco, entre el 1 de enero de 2000 y el 31 diciembre de 2018.

3.5. Conclusiones

- En general las conclusiones indicadas en los informes de seguimiento del HRC del año 2016 y 2017 se mantienen (UACh 2016, UACh 2017 y UACh 2018). Lo más relevante en este nuevo periodo es que: 1) la pluviosidad del año 2018 fue superior al nivel de referencia de un año normal (1871 mm, establecido por la Dirección Meteorológica de Chile) e inferior al promedio histórico general ($\bar{x}$=2396 mm, IC = [2316 - 2476]) y, 2) las máximas precipitaciones acumuladas ocurrieron en agosto y no en julio, pero también destacan las ocurridas en marzo-abril y entre agosto - noviembre.
- Las temperaturas mínimas del aire registradas desde 1960 a 2018, muestran 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 muestra una tendencia a disminuir arrastrada por los dos últimos años fríos. A nivel anual, la temperatura mínima del aire muestra 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 - 2018), muestra el claro y típico patrón 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 observa, tanto en la serie mensual como anual, fluctuaciones a nivel de décadas en torno a un nivel promedio.
- Las precipitaciones totales en la zona de Valdivia muestran una disminución significativa entre 1960 y 2018, tendencia coincidente con lo señalado por Quintana (2004), Quintana & Aceituno (2012) y con el decrecimiento

significativo de las precipitaciones anuales desde 1901 al 2005 señalado por González-Reyes & Muñoz (2013).

- Durante los últimos años se observa un aumento de eventos con pluviosidades menores al promedio histórico de la serie (2397 mm) y al normal anual de la Dirección Meteorológica de Chile (1871 mm), con un incremento de los valores extremos. No obstante, como se mencionó anteriormente, en el 2017 y 2018 el agua caída fue marcadamente mayor que en los años inmediatamente anteriores rompiendo, al menos por el momento, la declinación observada entre el año 2009 y 2016, pero que no logran minar la declinación de largo plazo.
- El 2016 se ha constituido en el año con la menor pluviosidad histórica en 119 años (1901 – 2018), y también en el mínimo global para el registro completo de precipitaciones en Valdivia entre 1853 y el 2018 (de acuerdo con datos publicados por González-Reyes & Muñoz, 2013).
- La serie histórica mensual de los mínimos caudales hídricos y del espejo de agua del río Cruces en Rucaco, muestran como era de esperar una estacionalidad asociada directa y significativa con el patrón estacional de precipitaciones.
- El patrón histórico del caudal hídrico y del nivel del espejo de agua, dependientes de la pluviosidad, muestran 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-Chile, 63 pp.

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

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

Kendall M.G. 1970. Rank Correlation Methods, 2nd Ed., New York: Hafner.

Koppe C., G. De Long. 1958. Weather and Climate. McGraw-Hill Company, Inc., New York, Toronto, London. 341 p.

Mann H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. Econométrica 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. Santiago, Chile. Departamento de Geofísica Universidad de Chile. 88 p.

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

R Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL http://www.R-project.org/.

Reyes J.C. 1981. Características de las precipitaciones de Valdivia: 1960-1976. Tesis. Universidad Austral de Chile, Valdivia, 1981.

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

UACh (Universidad Austral de Chile). 2009. Informe Final. Recopilación y análisis de información en apoyo para la elaboración del anteproyecto de la norma secundaria de

calidad ambiental, para la protección de las aguas de la cuenca del río Valdivia. Junio de 2009. 220 pp.

UACh (Universidad Austral de Chile). 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. 374 pp.

UACh (Universidad Austral de Chile). 2016. Programa de Monitoreo Ambiental Actualizado del Humedal del Río Cruces y sus Rios Tributarios. Informa final. Abril de 2016. 683 pp.

UACh (Universidad Austral de Chile). 2017. Programa de Monitoreo Ambiental Actualizado del Humedal del Río Cruces y sus Ríos Tributarios. Informa final. Marzo 2017. 830 pp.

UACh (Universidad Austral de Chile). 2018. Programa de Monitoreo Ambiental Actualizado del Humedal del Río Cruces y sus Ríos Tributarios. Informe anual correspondiente al periodo abril 2017- marzo 2018. 817págs.

4. COMPONENTES DEL PROGRAMA

A continuación, se describen los resultados de la etapa correspondiente al cuarto año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2018- marzo 2019), los cuales se comparan con los resultados del Programa de Diagnóstico Ambiental (abril 2014 - marzo 2015) y con los del primer, segundo y tercer año de ese Programa de Monitoreo (abril 2015 - marzo 2016, abril 2016 - marzo 2017 y abril 2017- marzo 2018).

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 Adsorbibles (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 cuarto año del Programa de Monitoreo actualizado del HRC y sus ríos tributarios (abril 2018 - marzo 2019), 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 2018 (períodos de menor y mayor caudal hídrico, respectivamente).

Además de lo anterior, se han recolectado datos mensuales entre enero y diciembre del año 2018 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 con el objetivo de realizar análisis comparativos con los resultados obtenidos durante el Programa de Diagnóstico Ambiental y los tres primeros años del Programa de Monitoreo del HRC.

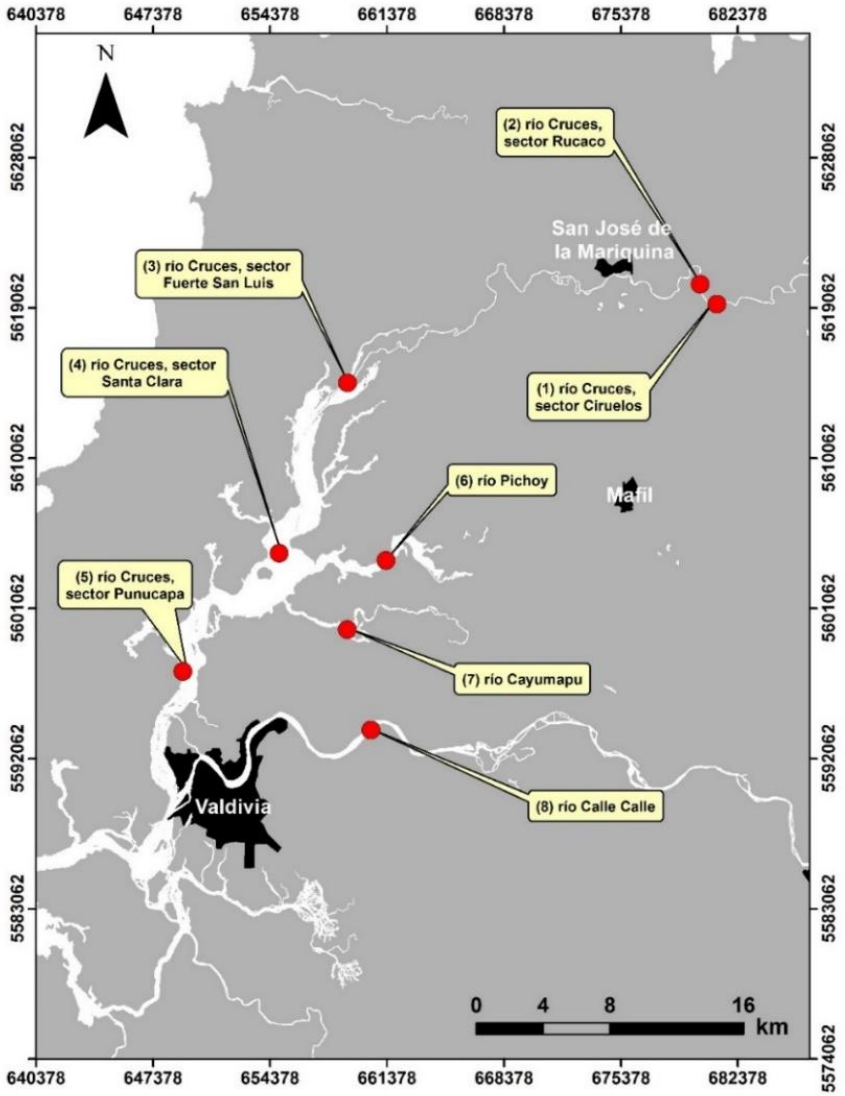


Figura 4.1.1.1. Ubicación de los sitios de muestreo (1 a 8) para análisis de calidad del agua en el área de estudio.

Tabla 4.1.1.1. Estaciones y fechas de muestreos de la calidad del agua durante abril y julio del año 2018.

Estaciones	período de menor caudal	período de mayor caudal
Porción superior del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	18-abr-2018	11-jul-2018
2 (sector Rucaco)	18-abr-2018	11-jul-2018
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	17-abr-2018	10-jul-2018
4 (sector Santa Clara)	17-abr-2018	10-jul-2018
5 (sector Punucapa)	17-abr-2018	10-jul-2018
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	16-abr-2018	09-jul-2018
7 (río Cayumapu)	16-abr-2018	09-jul-2018
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	16-abr-2018	09-jul-2018

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 des - ionizada 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 multi-paramétrica 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 multi-paramétrica 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, excepto amonio en µmol/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 columbimétrica 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 categorizarlos como sigue:

- 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 y 2018, 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): sectores del área de estudio y campañas realizadas en los diferentes años de muestreo (2014, 2015, 2016, 2017 y 2018), 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 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 y 2018.

Los datos de los meses correspondientes al año 2014 fueron generados durante la ejecución del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, mientras que los correspondientes a los años 2015, 2016, 2017 y 2018, corresponden a los 4 primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC.

Temperatura

En términos generales, la variabilidad espacial de la temperatura del agua durante cada muestreo fue bastante homogénea, con la ocurrencia general de valores más altos

durante el período estival y 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 (área límnica)												
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 (área 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 (área 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 (área 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

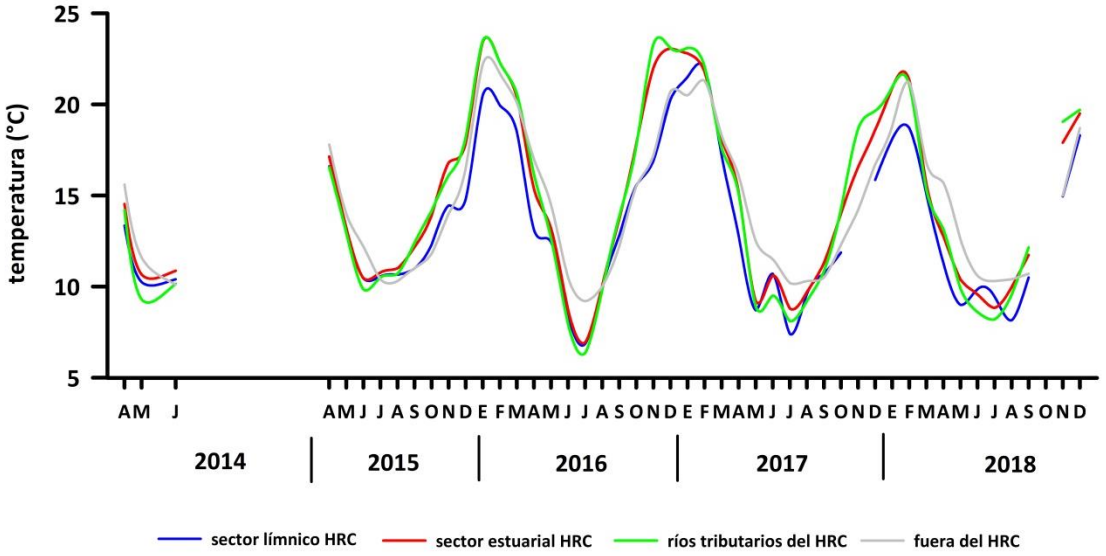


Figura 4.1.1.2. Comparación interanual de la temperatura (°C) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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 altos ocurrieron en el sector límnico y fuera del HRC, particularmente durante los años 2016 y 2018 (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 (área límnica)												
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 (área límnica)												
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 (área 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 (área 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

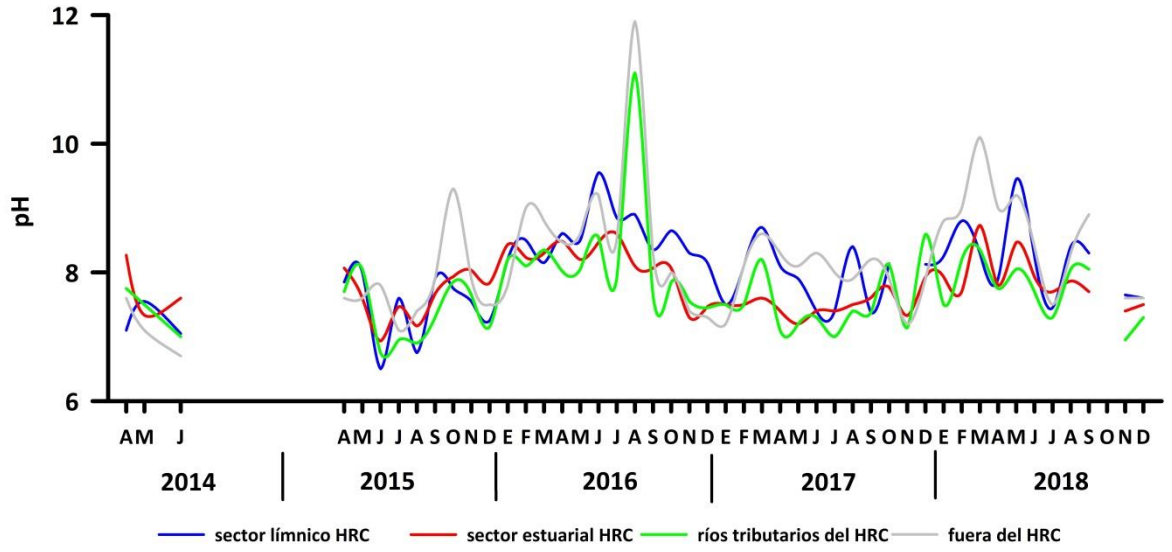


Figura 4.1.1.3. Comparación interanual del pH en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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 (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.

La variabilidad de la conductividad del agua en las estaciones de Ciruelos y Rucaco (sector límnico del área de estudio), fue en general similar a la del río Calle Calle (fuera del HRC) durante la mayor parte del año, con la excepción de los meses estivales o época de menor caudal hídrico, la conductividad del agua fue mayor en Rucaco *vs.* Ciruelos (particularmente en abril, aproximadamente cuatro veces más alta), tendencia que se ha repetido desde el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (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 (área límnica)												
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 (área límnica)												
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 (área 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 (área llímnico)												
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

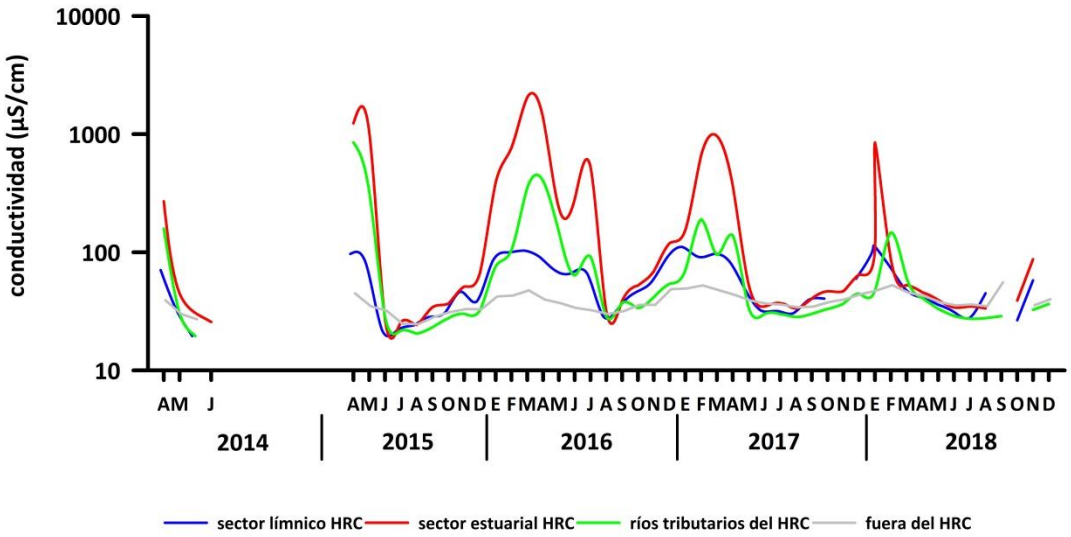


Figura 4.1.1.4. Comparación interanual de la conductividad (µS/cm) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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 (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 (área límnica)												
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 (área límnica)												
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 (área 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 (área límnica)												
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

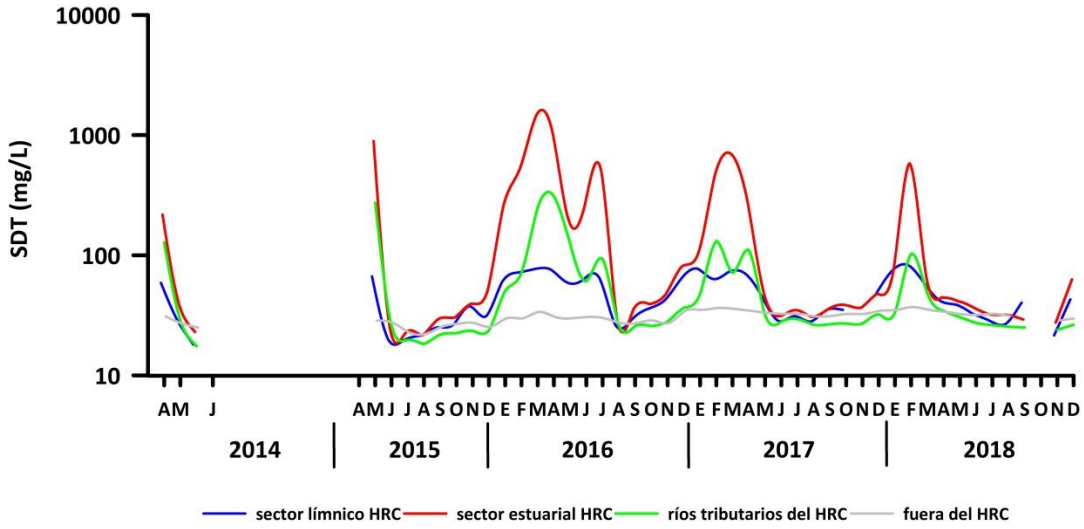


Figura 4.1.1.5. Comparación interanual de los Sólidos Disueltos Totales (SDT) (mg/L) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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 - 2018. En términos generales, las concentraciones de SST fueron más altas en el sector límnico y en los ríos tributarios del HRC y durante el período invernal (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 (área límnica)												
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	2,3	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 (área límnica)												
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 (área 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 (área límnica)												
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

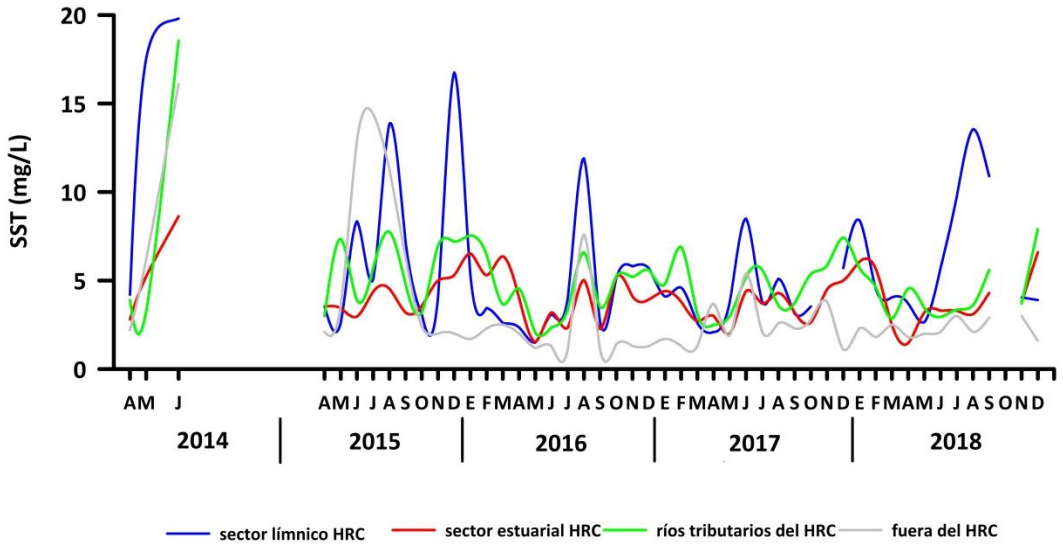


Figura 4.1.1.6. Comparación interanual de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) (mg/L) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

Transparencia del agua

Los valores más altos de transparencia se observaron en la estación ubicada fuera del HRC (Calle Calle); la misma que en general ha tenido las concentraciones más bajas de SST (*cf.* Tablas 4.1.1.6 y 4.1.1.7 y Fig. 4.1.1.6 y 4.1.1.7).

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 (área límnica)												
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 (área límnica)												
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 (área 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 (área límnica)												
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

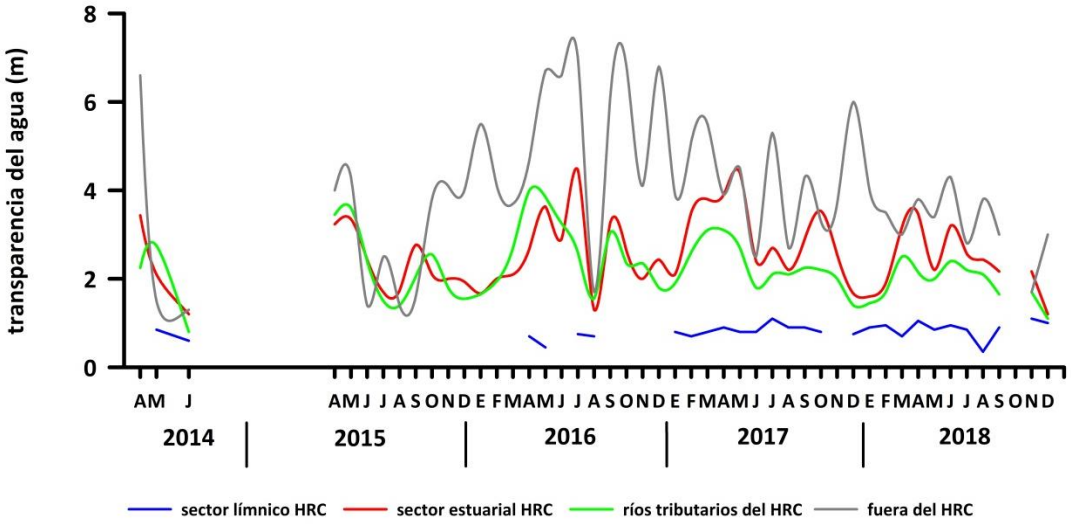


Figura 4.1.1.7. Comparación interanual de la transparencia (m) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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. Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* de Tukey para evaluar los efectos Año, Mes y Sector.

Tabla 4.1.1.8. Variabilidad interanual (2014-2018) 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 2015	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

La Tabla 4.1.1.9 muestra que las concentraciones de SST, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2014 y durante los periodos de mayor caudal (julio). No se detectaron diferencias significativas ($p>0,05$) entre sectores.

Los valores de transparencia del agua fueron significativamente más altos ($p<0,05$) durante los años 2016 y 2017, durante el periodo de bajo caudal hídrico (abril) y en el sitio de muestreo ubicado 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), Mes (A = abril, J = julio) y Sector (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). 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	396,211	99,053	9,870	**<0,001**	2014>2015=2016=2017=2018
	Mes (M)	1	253,770	253,770	25,287	**<0,001**	
	Sector (S)	3	66,081	22,027	2,195	0,104	
	A x S	12	144,808	12,067	1,202	**<0,001**	
	Error	40	401,418	10,035			
Transparencia	Año (A)	4	15,222	3,806	6,371	**<0,001**	2016=2017>2014=2015=2018
(***)	Mes (M)	1	8,193	8,193	13,716	**<0,001**	A > J
	Sector (S)	3	93,045	31,015	51,922	**<0,001**	F > EE = T > L
	A x S	12	8,877	0,740	1,238	**<0,001**	
	Error	40	23,984	0,597			

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.

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 y 2018.

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 (área límnica)												
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 (área límnica)												
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 (área 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 (área 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 (área 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 (área 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 (área límnica)												
1 (sector Ciruelos)	9,9	8,3	8,3	11,8	13,7	12,8	12,2	9,1	12,0	SD	SD	SD
2 (sector Rucaco)	9,7	8,8	8,8	12,5	13,9	12,8	12,0	9,7	3,2	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	12,2	SD	SD	SD
4 (sector Santa Clara)	9,1	9,4	11,0	11,7	12,3	12,4	12,2	9,3	4,3	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	4,9	SD	SD	SD
7 (Sector Cayumapu)	5,1	5,5	8,4	8,1	11,3	10,0	10,6	9,0	5,1	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	4,1	SD	SD	SD

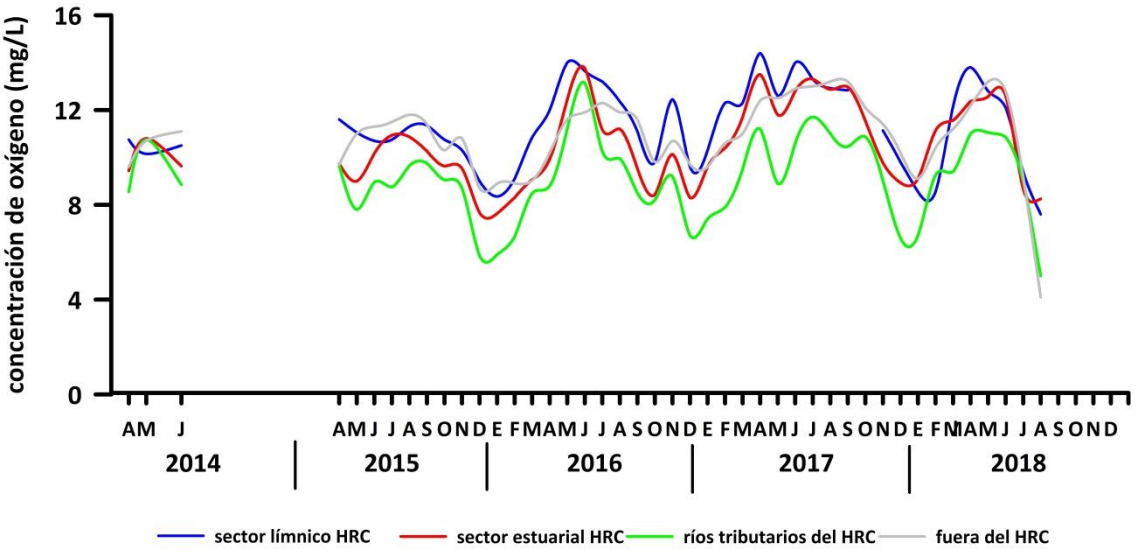


Figura 4.1.1.8. Comparación interanual de la concentración de oxígeno (mg/L) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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 (área límnica)												
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 (área límnica)												
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 (área límnica)												
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 (área 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 (área 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 (área 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 (área límnica)												
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

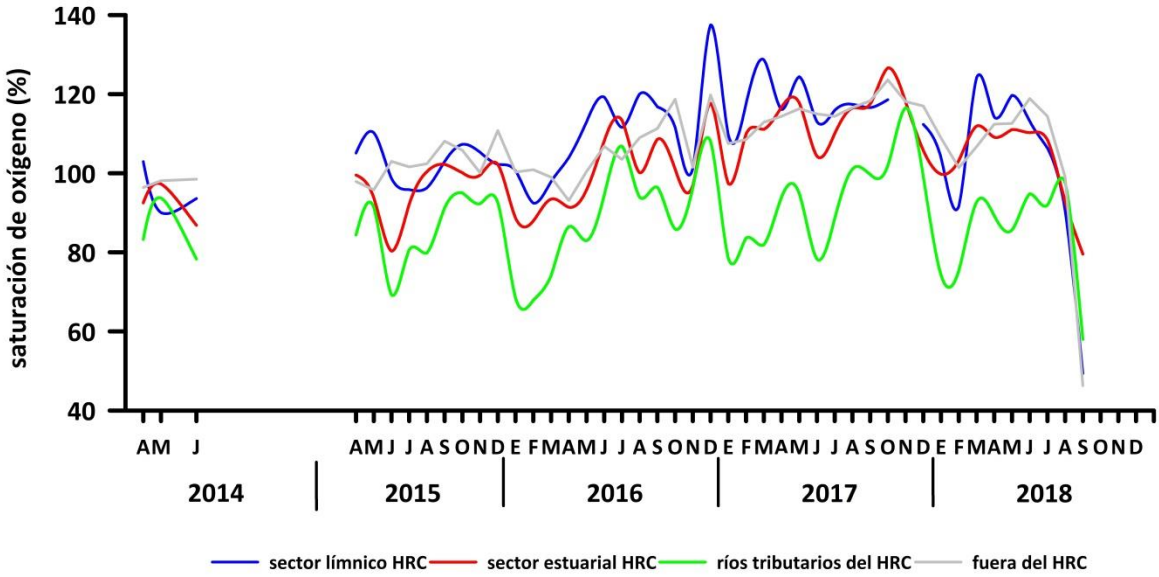


Figura 4.1.1.9. Comparación interanual de la saturación de oxígeno (%) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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. Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* para evaluar eventuales diferencias entre los factores Años y Sector.

Tabla 4.1.1.12. Variabilidad interanual (2014-2017) 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

La Tabla 4.1.1.13 muestra que las concentraciones de oxígeno fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante los años 2018 y 2017, en los meses de mayor caudal hídrico (julio) y significativamente más bajas ($p<0,05$) en los ríos tributarios (Tabla 4.1.1.13).

Los valores de saturación de oxígeno fueron significativamente más bajos ($p<0,05$) durante el año 2014 y 2015 en los ríos tributarios; no se observaron diferencias significativas ($p>0,05$) entre los periodos de menor y mayor caudal (abril *vs*. julio) (Tabla 4.1.1.13).

Tabla 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), Mes (A = abril, J = julio) y Sector (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). 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	57,205	14,301	17,937	**<0,001**	2018=2017>2016>2015=2014
(**)	Mes (M)	1	26,237	26,237	32,908	**<0,001**	J > A
	Sector (S)	3	36,232	12,077	15,148	**<0,001**	L = EE = F > T
	A x S	12	8,704	0,725	0,910	0,546	
	Error	40	31,891	0,797			
Oxigeno (%)	Año (A)	4	3003,134	750,783	7,430	**<0,001**	2018 = 2017 > 2014 = 2015
(**)	Mes (M)	1	9,472	9,472	0,0937	0,761	
	Sector (S)	3	3794,545	1264,848	12,517	**<0,001**	L = EE = F > T
	A x S	12	644,440	53,703	0,531	0,881	
	Error	40	4041,960	101,049			

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 Figura 4.1.1.10, 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 y 2018. 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 (área límnica)					
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**

	DBO_5 (mg/L^{-1})			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)				
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)	0,7 (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**

	DBO_5 (mg/L^{-1})	
estaciones	**2018**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
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)
5 (sector Punucapa)	*	1,2 (0,07)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	*	1,6 (0,35)
7 (río Cayumapu)	*	1,4 (0,49)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	*	1,5 (0,28)

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 y 2018. 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 (área límnica)					
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 (área límnica)				
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**	
	abril	**Julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	8,0 (1,4)	3,5 (0,7)
2 (sector Rucaco)	8,0 (1,4)	5,5 (0,7)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	8,5 (0,7)	4,5 (0,7)
4 (sector Santa Clara)	9,0 (1,4)	4,5 (0,7)
5 (sector Punucapa)	12,0 (0,0)	5,0 (0,0)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	13,5 (0,7)	9,0 (0,0)
7 (río Cayumapu)	16,0 (0,0)	10,0 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	8,0 (1,4)	5,5 (2,1)

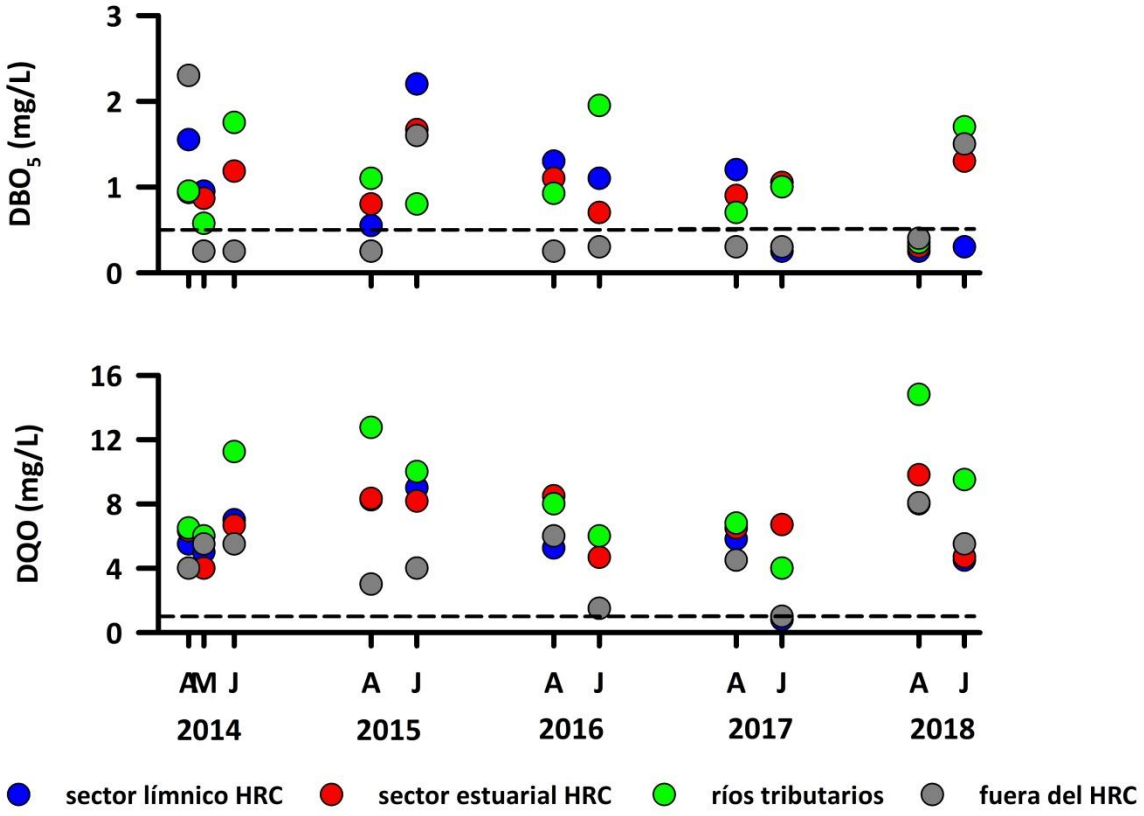


Figura 4.1.1.10. Comparación interanual de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y de la demanda química de oxígeno (DQO) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. Línea segmentada indica el 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. Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* para evaluar eventuales diferencias entre los factores Años Sector y Mes.

Tabla 4.1.1.16. Variabilidad interanual (2014-2018) 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

Los valores de demanda bioquímica de oxígeno, no presentaron diferencias significativas ($p<0,05$) entre años y sectores (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 los sectores del eje central y tributarios del río Cruces 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), Mes (A = abril, J = julio) y Sector (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). 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)	4	1,520	0,380	1,033	0,430	
	Mes (M)	1	0,638	0,638	1,734	0,213	
	Sector (S)	3	0,746	0,249	0,676	0,583	
	A × S	12	4,413	0,368			
	Error	39	13,921	0,357			
DQO	Año (A)	4	72,385	18,096	8,092	**0,002**	2018=2015>2014=2016=2017
	Mes (M)	1	22,350	22,350	9,994	**0,008**	A > J
	Sector (S)	3	114,135	38,045	17,012	**<0,001**	T = EE > L = F
	A × S	12	26,836	2,236			
	Error	39	326,944	8,383			

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

Carbono orgánico total (COT)

La Tabla 4.1.1.18 y Figura 4.1.1.11 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 y 2018. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

	COT (µg/L)				
estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)					
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 (µg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)				
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 (µg/L)	
estaciones	**2018**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	2,62 (0,31)	0,96 (0,17)
2 (sector Rucaco)	2,74 (0,18)	1,34 (0,15)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	2,18 (0,04)	1,08 (0,00)
4 (sector Santa Clara)	4,11 (0,11)	1,91 (0,11)
5 (sector Punucapa)	3,19 (0,0)	1,34 (0,07)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	4,43 (0,33)	2,09 (0,04)
7 (río Cayumapu)	4,89 (0,22)	2,45 (0,34)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	2,14 (0,33)	1,06 (0,10)

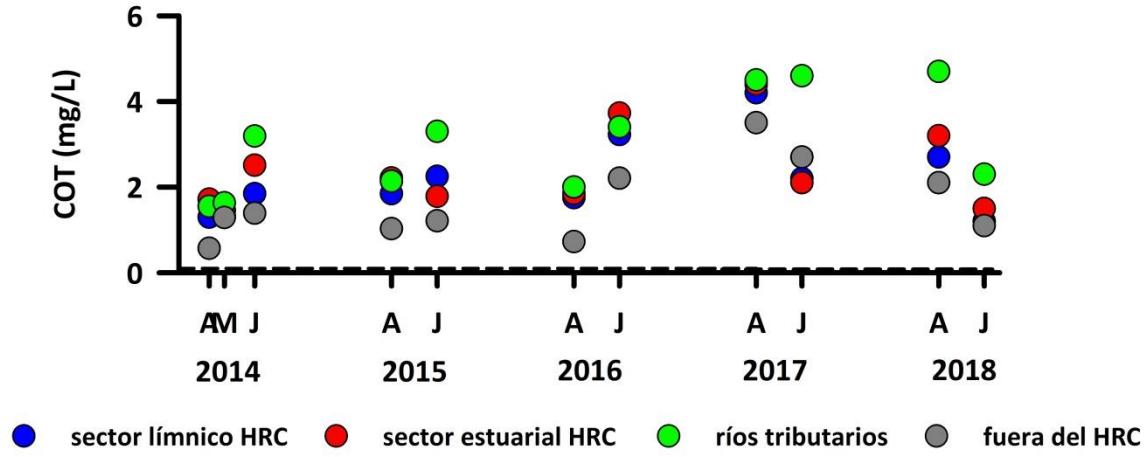


Figura 4.1.1.11. Comparación interanual de la concentración de carbono orgánico total en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. La línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

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. Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* para evaluar eventuales diferencias entre los factores Años y Sector.

Tabla 4.1.1.19. Variabilidad interanual (2014, 2015, 2016, 2017 y 2018) 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 (µg/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

Los análisis indican que las concentraciones de COT fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2017, en los ríos tributarios y el eje central estuarial del HRC (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), Sector (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) 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 (**)	Año (A)	4	14,936	3,734	17,583	**<0,001**	2017>2014=2015=2016=2018
	Mes (M)	1	0,00225	0,00225	0,0106	0,920	
	Sector (S)	3	11,877	3,959	18,641	**<0,001**	T = EE > L = F
	A × S	12	2,548	0,212			
	Error	39	47,668	1,222			

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.

Nutrientes

Amonio, nitrato, nitritos y nitrógeno total.

Las Tablas 4.1.1.21 a 4.1.1.24 y Figura 4.1.1.12 muestran la variabilidad del contenido de Amonio, Nitrato, Nitrito y Nitrógeno total en el agua del área de estudio durante los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018.

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 en el año 2018 en todas las estaciones (Tabla 4.1.1.24 y Fig. 4.1.1.12).

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 y 2018. 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 (área límnica)					
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)

estaciones	N-NH4 (mg /L)			
	2016		2017	
	abril	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (área límnica)				
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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	0,009 (0,0007)	0,019 (0,0007)
2 (sector Rucaco)	0,010 (0,0021)	0,019 (0,0007)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,012 (0,0042)	0,019 (0,0014)
4 (sector Santa Clara)	0,006 (0,0007)	0,015 (0,0000)
5 (sector Punucapa)	0,005 (0,0000)	0,013 (0,0000)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	0,011 (0,0014)	0,020 (0,0014)
7 (río Cayumapu)	0,010 (0,0014)	0,018 (0,0007)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	*	0,008 (0,0042)

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 y 2018. 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 (área límnica)					
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 (área límnica)				
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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	0,130 (0,006)	0,180 (0,003)
2 (sector Rucaco)	0,115 (0,003)	0,170 (0,001)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,122 (0,028)	0,203 (0,000)
4 (sector Santa Clara)	0,087 (0,000)	0,218 (0,003)
5 (sector Punucapa)	0,036 (0,002)	0,127 (0,004)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	0,061 (0,001)	0,188 (0,000)
7 (río Cayumapu)	0,018 (0,001)	0,166 (0,003)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	0,028 (0,004)	0,060 (0,003)

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 y 2018. 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 (área límnica)					
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-NO2 (mg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)				
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-NO2 (mg/L)	
estaciones	**2018**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	*	0,002 (0,000)
2 (sector Rucaco)	*	0,003 (0,000)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	*	0,002 (0,000)
4 (sector Santa Clara)	*	0,003 (0,001)
5 (sector Punucapa)	*	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)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	*	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 y 2018. 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 (área límnica)					
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 (área límnica)				
1 (sector Ciruelos)	0,195 (0,023)	0,193 (0,011)	0,181 (0,017)	0,192 (0,018)
2 (sector Rucaco)	0,239 (0,010)	0,229 (0,005)	0,204 (0,006)	0,162 (0,001)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,205 (0,017)	0,242 (0,020)	0,349 (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)	0,248 (0,009)	0,296 (0,022)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,181 (0,017)	0,156 (0,003)	0,145 (0,008)	0,372 (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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	0,243 (0,001)	0,258 (0,001)
2 (sector Rucaco)	0,259 (0,010)	0,281 (0,004)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,261 (0,001)	0,290 (0,006)
4 (sector Santa Clara)	0,229 (0,005)	0,307 (0,002)
5 (sector Punucapa)	0,196 (0,004)	0,220 (0,019)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	0,264 (0,005)	0,300 (0,013)
7 (río Cayumapu)	0,264 (0,000)	0,291 (0,008)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	0,109 (0,001)	0,107 (0,006)

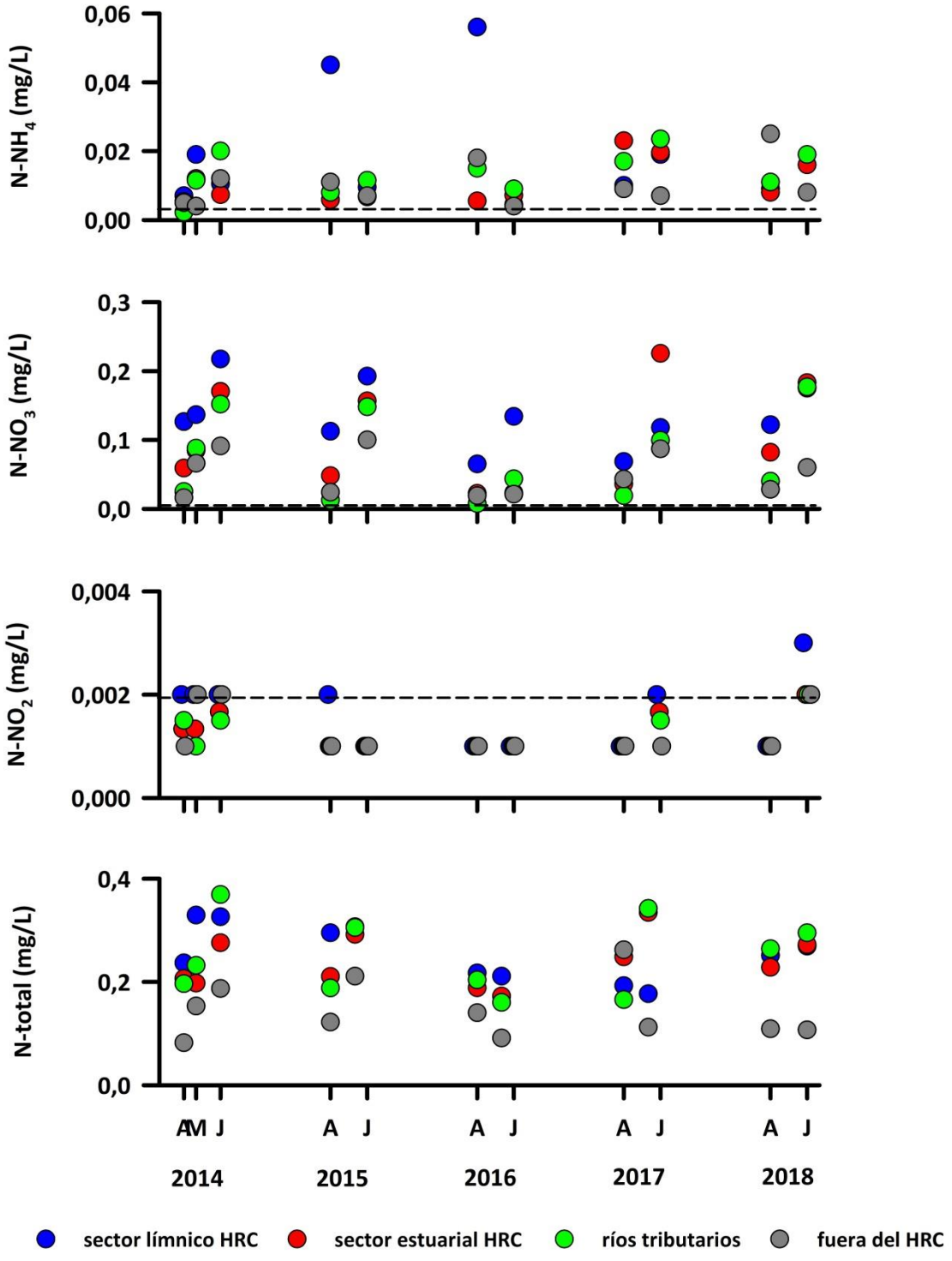


Figura 4.1.1.12. Comparación interanual de la concentración de amonio (N-NH_4), nitrato (N-NO_3), nitrito (N-NO_2), y nitrógeno total (N-total) en aguas superficiales del sector sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. La línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

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 y 2018. Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* para evaluar eventuales diferencias entre los factores Años y Sector. No se realizaron estos análisis para la variable Nitrito, debido a que no fue detectado en la mayor parte de las campañas realizadas.

Tabla 4.1.1.25. Variabilidad interanual (2014-2018) 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

No se observaron diferencias significativas ($p>0,05$) en las concentraciones de Amonio, ya sea entre períodos o sitios de muestreo (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). Las concentraciones de este nutriente fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el periodo de mayor

caudal hídrico (julio), en el sector límnico y eje central estuarial del HRC (Tabla 4.1.1.26).

Los contenidos de Nitrógeno total fueron significativamente más altos (p<0,05) durante julio y en el sector límnico, eje central estuarial y ríos tributarios del HRC (Tabla 4.1.1.26). No se observaron diferencias significativas (p<0,05) de este nutriente entre los años de estudio (Tabla 4.1.1.26).

Tabla 4.1.1.26. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en el valor 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 y 2018), Sector (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) 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
$N\text{-}NH_4$ (**)	Año (A)	4	0,00027	0,00007	0,704	0,604	
	Mes (M)	1	0,00007	0,00007	0,733	0,409	
	Sector (S)	3	0,00048	0,00016	1,699	0,220	
	A × S	12	0,00115	0,00010			
	Error	39	0,00435	0,00011			
$N\text{-}NO_3$	Año (A)	4	0,0242	0,0061	9,176	**0,001**	2018=2017=2015=2014>2016
	Mes (M)	1	0,0639	0,0639	96,764	**<0,001**	J > A
	Sector (S)	3	0,0398	0,0133	20,098	**<0,001**	L = EE > F
	A × S	12	0,0079	0,0007			
	Error	39	0,162	0,0042			
N-Total (*)	Año (A)	4	0,0240	0,0060	2,944	0,066	
	Mes (M)	1	0,0163	0,0163	8,006	**0,015**	J > A
	Sector (S)	3	0,0819	0,0273	13,390	**<0,001**	T = L = EE > F
	A x S	12	0,0245	0,0020			
	Error	39	0,211	0,0054			

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 uno de los supuestos de ANDEVA; (***) = No cumple supuestos de ANDEVA.

Fosfatos y Fósforo total

Las Tablas 4.1.1.27 a 4.1.1.28 y Figura 4.1.1.13 muestran la variabilidad del contenido de Fosfato y Fósforo total en el agua del área de estudio durante los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018.

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 y 2018. 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 (área límnica)					
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-PO4 (mg/L)			
Estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)				
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-PO4 (mg/L)	
Estaciones	**2018**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	0,004 (0,002)	0,002 (0,0000)
2 (sector Rucaco)	0,003 (0,000)	0,002 (0,0000)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,002 (0,000)	0,002 (0,0000)
4 (sector Santa Clara)	*	0,003 (0,0007)
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)	0,002 (0,000)	0,003 (0,0007)

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 y 2018. 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 (área límnica)					
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 (área límnica)				
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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	0,020 (0,0007)	0,018 (0,0007)
2 (sector Rucaco)	0,019 (0,0007)	0,030 (0,0028)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,015 (0,0014)	0,022 (0,0035)
4 (sector Santa Clara)	0,010 (0,0000)	0,014 (0,0007)
5 (sector Punucapa)	0,011 (0,0000)	0,011 (0,0000)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	0,017 (0,0007)	0,014 (0,0000)
7 (río Cayumapu)	0,020 (0,0007)	0,015 (0,0007)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	0,011 (0,0000)	0,010 (0,0007)

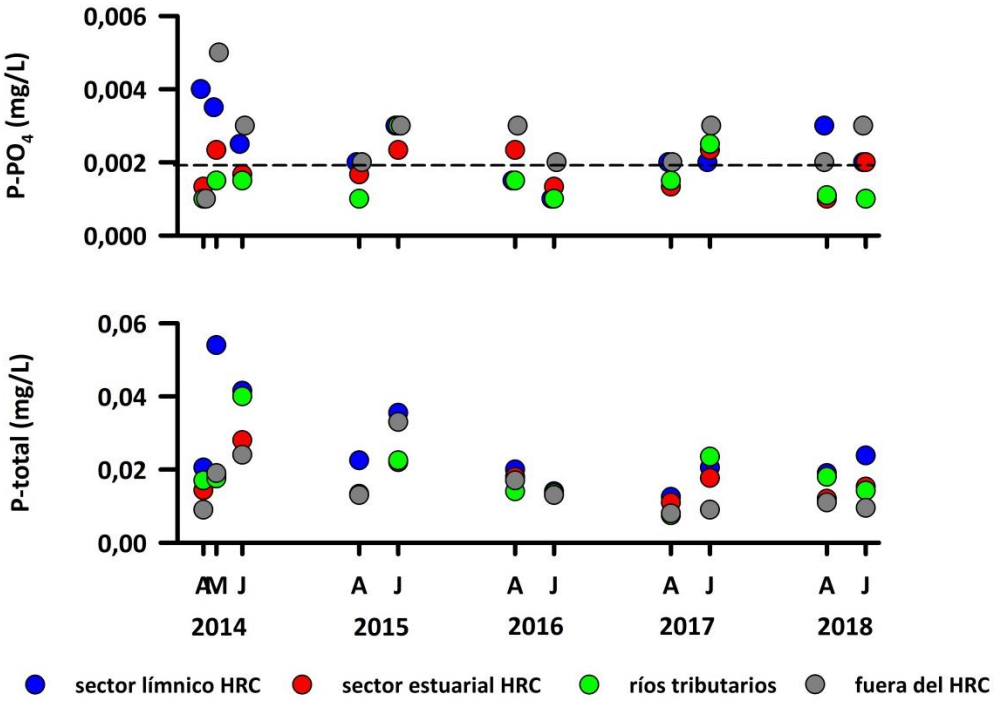


Figura 4.1.1.13. Comparación interanual de la concentración de Fosfato ($P\text{-}PO_4$) y Fósforo total (P-total) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. La línea segmentada indica el límite 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 y 2018. Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* para evaluar eventuales diferencias entre los factores Años y Sector.

Tabla 4.1.1.29. Variabilidad interanual (2014-2018) y estacional (abril- julio) de la concentración de Fosfato (P-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-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

No se observaron diferencias significativas en las concentraciones de Fosfatos al comparar años, por el contrario, las concentraciones de estas sales fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en el periodo de mayor caudal hídrico, en el sector límnico del HRC y fuera de este (Tabla 4.1.1.30).

Las concentraciones de Fósforo total fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante los años 2014 y 2015, durante el periodo de mayor caudal hídrico (julio) y en el 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 ($P\text{-}PO_4$) y Fósforo Total (P-Total) registrado en aguas superficiales del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014, 2015, 2016, 2017 y 2018), Sector (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) 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)	4	0,0000014	0,0000003	1,328	0,315	
	Mes (M)	1	0,0000012	0,0000012	4,820	**0,049**	J > A
	Sector (S)	3	0,0000057	0,0000189	7,443	**0,004**	L = F > T = EE
	A x S	12	0,0000031	0,0000003			
	Error	39	0,000025	0,0000006			
P-Total (**)	Año (A)	4	0,000689	0,000172	14,916	**<0,001**	2014=2015>2016=2017=2018
	Mes (M)	1	0,000526	0,000526	45,492	**<0,001**	J > A
	Sector (S)	3	0,000416	0,000139	11,998	**<0,001**	L > EE = T = F
	A x S	12	0,000139	0,000012			
	Error	39	0,00270	0,000069			

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 uno de los supuestos de ANDEVA; (***) = No cumple supuestos de ANDEVA.

Bacterias Coliformes totales y fecales

Las Tablas 4.1.1.31 y 4.1.1.32 y Figura 4.1.1.14 muestran las concentraciones de Bacterias Coliformes totales y fecales, en el agua del área de estudio durante los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018.

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 y 2018. 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 (área límnica)					
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 (área 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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnico)		
1 (sector Ciruelos)	5.100 (3960)	2.045 (1775)
2 (sector Rucaco)	3.300 (0,0)	2.200 (1556)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	1.395 (1280)	4.100 (1131)
4 (sector Santa Clara)	2.000 (424)	490 (0,0)
5 (sector Punucapa)	895 (573)	1.045 (361)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	625 (233)	665 (615)
7 (río Cayumapu)	1.895 (1987)	2.000 (1838)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	895 (573)	410 (113)

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 y 2018. 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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnico)		
1 (sector Ciruelos)	360 (184)	795 (431)
2 (sector Rucaco)	290 (85,0)	1290 (1428)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	49 (0,0)	140 (128)
4 (sector Santa Clara)	33 (0,0)	28 (7)
5 (sector Punucapa)	32 (1,0)	410 (113)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	40 (9,0)	13 (0,0)
7 (río Cayumapu)	35 (16,0)	41 (11)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	52 (26,0)	36 (18)

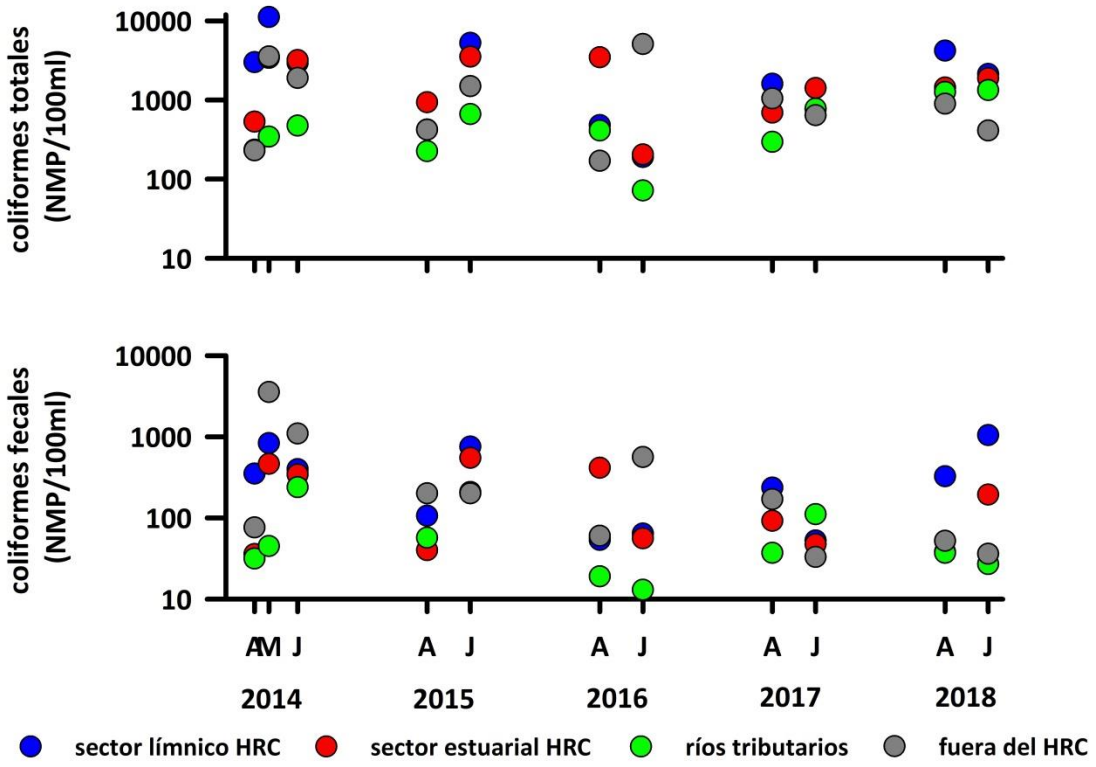


Figura 4.1.1.14. Comparación interanual de la concentración de Bacterias coliformes totales y fecales (NMP/100ml) en aguas superficiales del sector sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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 en los sectores de estudio. Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* para evaluar eventuales diferencias entre los factores Años y Sector.

Tabla 4.1.1.33. Variabilidad interanual (2014-2018) y estacional (abril- julio) de las concentraciones de Bacterias coliformes totales (col. totales) y Bacterias fecales (col. fecales) 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.

	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

Las concentraciones de Bacterias coliformes totales no mostraron diferencias significativas ($p>0,05$) entre los factores de estudio (Tabla 4.1.1.34).

Las concentraciones de Bacterias coliformes fecales no presentaron diferencias significativas ($p<0,05$) entre años y sectores (Tabla 4.1.1.34), sin embargo, estas concentraciones fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante los meses 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 Sector (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). 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)	4	3395314,65	848828,66	0,390	0,812	
(**)	Mes (M)	1	3862001,02	3862001,02	1,775	0,207	
	Sector (S)	3	13039602,7	4346534,23	1,998	0,168	
	A x S	12	26105699,4	2175474,95			
	Error	39	75197834,8	1928149,61			
Col. fecales	Año (A)	4	248586,25	62146,56	1,020	0,436	
(**)	Mes (M)	1	322202,50	322202,50	5,289	**0,040**	J > A
	Sector (S)	3	361450,90	120483,63	1,978	0,171	
	A x S	12	731059,55	60921,63			
	Error	39	2734319,50	70110,76			

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 uno de los supuestos de ANDEVA; (***) = No cumple supuestos de ANDEVA.

Cloruro y Sulfato

La Tabla 4.1.1.35 y Figura 4.1.1.15 muestra las concentraciones de los iones Cloruro y Sulfato disueltos en el agua, durante los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018.

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). El agua de Ciruelos (sector límnico) y del río Calle Calle (fuera del HRC), muestra las concentraciones más bajas de estos compuestos, a la vez que el agua de los sitios ubicados en el eje central del HRC (sector estuarial) presentó las concentraciones más altas, particularmente en Punucapa y durante la campaña de abril de los años 2015 y 2016, a su vez, los datos obtenidos el presente año mostraron las concentraciones más bajas (Tabla 4.1.1.35 y Figura 4.1.1.15).

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 y 2018. 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 (área límnica)					
1 (sector Ciruelos)	2,8 (0,01)	2,3 (0,13)	2,0 (0,04)	3,8 (0,05)	3,6 (0,39)
2 (sector Rucaco)	16,3 (0,93)	4,1 (0,14)	2,7 (0,02)	19,5 (0,18)	5,0 (0,16)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	12,9 (0,25)	5,0 (0,06)	3,0 (0,01)	17,0 (0,26)	6,0 (0,03)
4 (sector Santa Clara)	23,3 (1,63)	5,2 (0,07)	3,2 (0,01)	249,4 (0,70)	7,8 (1,65)
5 (sector Punucapa)	178,8 (0,86)	6,5 (0,17)	4,2 (0,01)	703,7 (3,36)	5,7 (0,32)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	3,8 (0,10)	3,7 (0,06)	3,2 (0,12)	31,6 (0,32)	6,0 (1,03)
7 (río Cayumapu)	85,6 (0,67)	5,5 (0,04)	3,6 (0,19)	517,3 (2,74)	7,4 (0,30)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	1,5 (0,13)	1,6 (0,01)	2,0 (0,06)	1,8 (0,19)	3,5 (0,23)

Continuación **Tabla 4.1.1.35**

	Cloruro (mg/L)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)				
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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	2,1 (0,0)	2,3 (0,2)
2 (sector Rucaco)	7,1 (0,1)	4,8 (0,1)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	5,9 (0,0)	4,2 (0,1)
4 (sector Santa Clara)	5,2 (0,0)	4,6 (0,1)
5 (sector Punucapa)	5,3 (0,1)	3,6 (0,1)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	3,5 (0,0)	3,7 (0,1)
7 (río Cayumapu)	6,9 (0,1)	4,2 (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)

Continuación **Tabla 4.1.1.35**

	Sulfatos (mg/L)				
estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)					
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 (área límnica)				
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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	2,3 (0,0)	2,6 (0,1)
2 (sector Rucaco)	6,2 (0,0)	3,1 (0,1)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	5,3 (0,0)	2,6 (0,1)
4 (sector Santa Clara)	3,9 (0,0)	2,0 (0,0)
5 (sector Punucapa)	3,0 (0,1)	2,2 (0,0)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	2,2 (0,1)	1,1 (0,0)
7 (río Cayumapu)	4,4 (0,0)	1,7 (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)

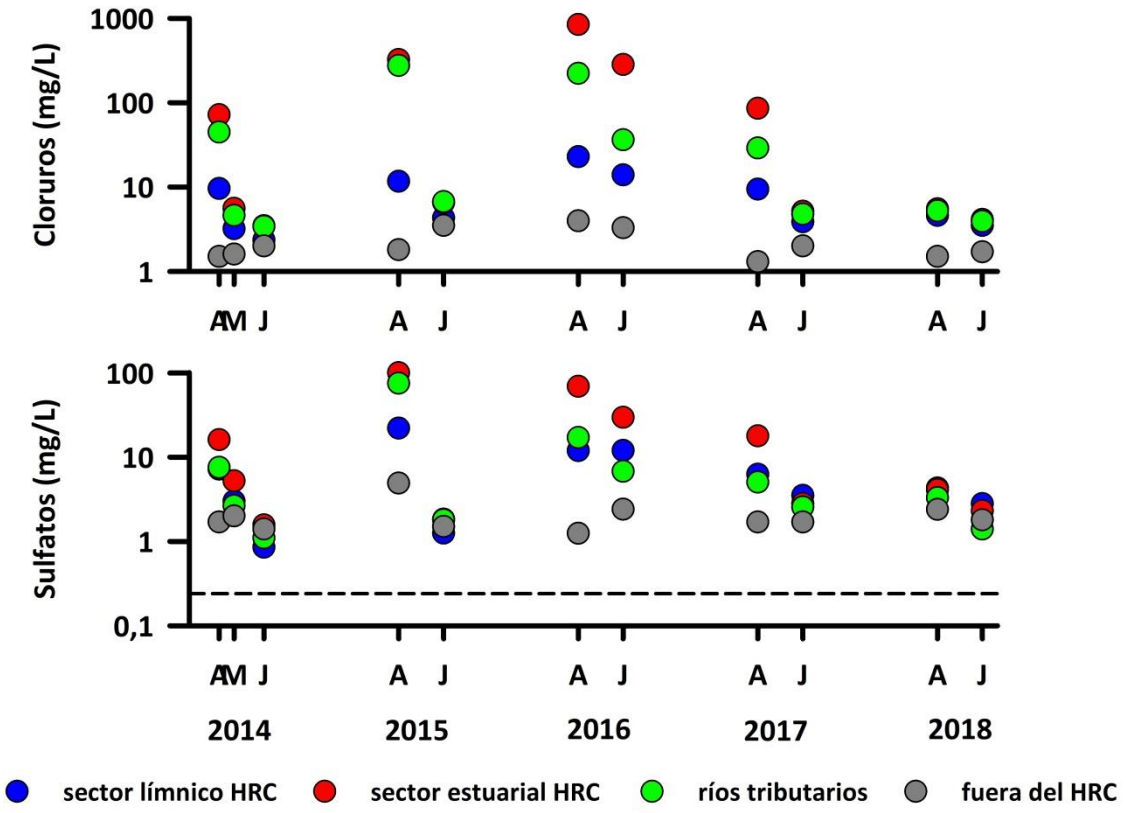


Figura 4.1.1.15. Comparación interanual de cloruros (mg/L) y sulfatos (mg/L) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. La línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

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. Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* para evaluar eventuales diferencias entre los factores Años y Sector.

Tabla 4.1.1.36. Variabilidad interanual (2014-2018) 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

Las concentraciones de Cloruros registradas durante los años 2015 y 2016, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las registradas durante el Programa de Diagnostico y los dos últimos años de Monitoreo (Tabla 4.1.1.37). Las concentraciones de estos compuestos fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en el eje central estuarial durante las campañas de menor caudal hídrico (Tabla 4.1.1.37).

Las concentraciones de Sulfatos fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2015, en el eje central y estuarial del HRC y durante las campañas de abril (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 y 2018) y Sector (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). 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)	4	168963,93	42240,98	6,496	**0,005**	2015=2016>2014=2017=2018
	Sector (S)	1	61929,03	61929,03	9,523	**0,009**	EE > L = F
	Mes (M)	3	165800,90	55266,97	8,499	**0,003**	A > J
	A × S	12	78034,11	6502,84			
	Error	39	894994,27	22948,57			
Sulfato	Año (A)	4	3423,09	855,77	5,187	**0,012**	2015 > 2014 = 2017 = 2018
	Sector (S)	1	2224,57	222457	13,482	**0,003**	EE > L = F
	Mes (M)	3	2784,72	928,24	5,626	**0,012**	A > J
	A × S	12	1979,98	164,99			
	Error	39	18081,26	463,62			

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 uno de los supuestos de ANDEVA; (***) 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 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 y 2018 (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 y 2018. 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 4.1.1.38**

	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 4.1.1.38**

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

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 y 2018. 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 4.1.1.39**

	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 4.1.1.39**

	Aluminio (µg/L)	
estaciones	**2018**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	21,7 (0,5)	8,1 (0,9)
2 (sector Rucaco)	9,8 (0,2)	10,6 (0,2)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	16,4 (0,4)	13,4 (0,3)
4 (sector Santa Clara)	16,0 (0,0)	21,6 (0,1)
5 (sector Punucapa)	25,7 (0,1)	17,1 (0,3)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	41,4 (0,5)	32,3 (0,5)
7 (río Cayumapu)	39,4 (0,0)	37,3 (0,9)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	12,0 (0,2)	6,6 (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 y 2018. 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 4.1.1.40**

	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 4.1.1.40**

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

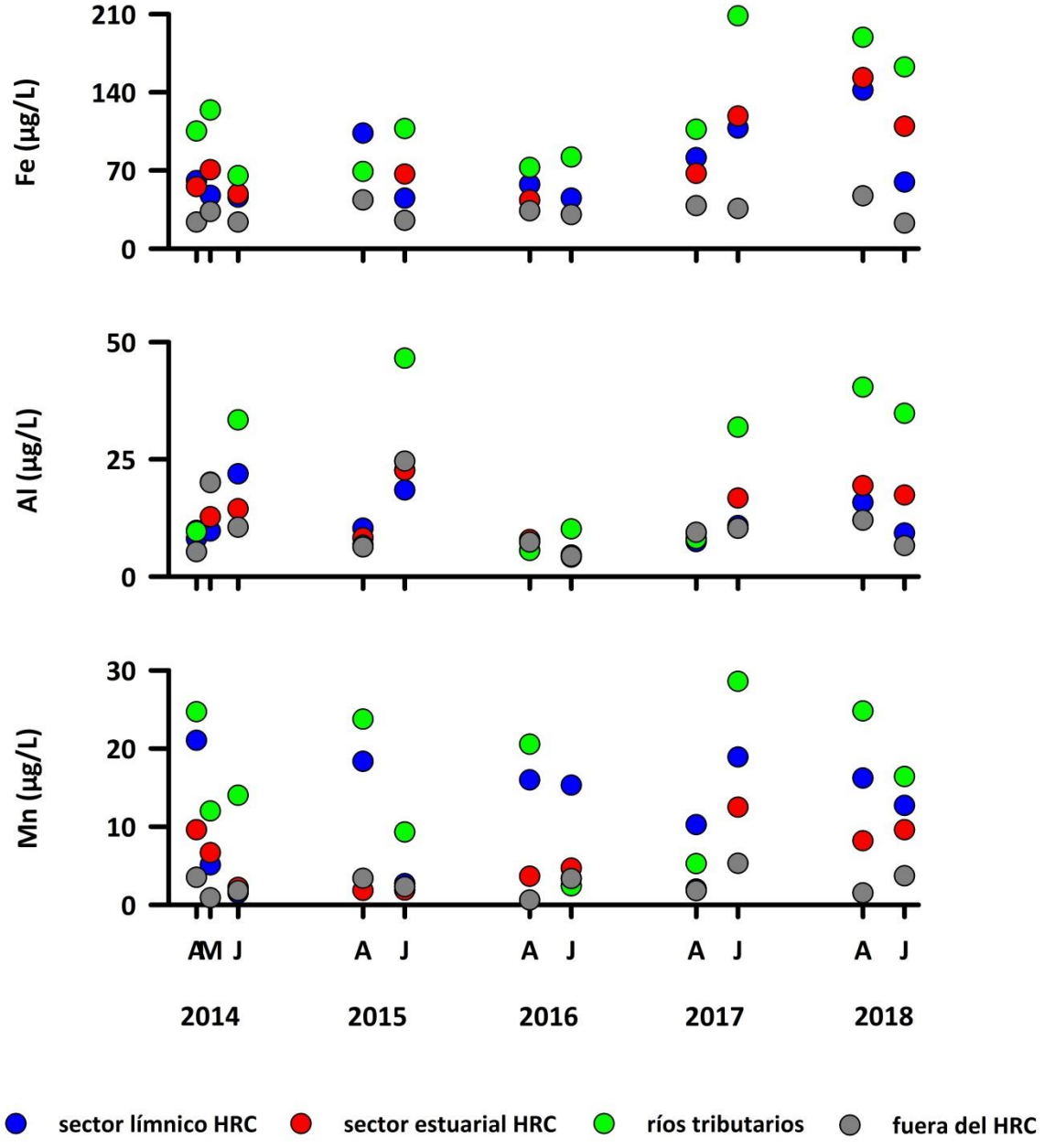


Figura 4.1.1.16. Comparación interanual de la concentración de Hierro, Aluminio y Manganeso disuelto en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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. Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* para evaluar eventuales diferencias entre los factores Años y Sector.

Tabla 4.1.1.41. Variabilidad interanual (2014, 2105, 2016, 2017 y 2018) 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

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 Año, Sector y Mes**.** Estos indican que las concentraciones de Hierro fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante los años 2018 y 2017, particularmente en los ríos tributarios, 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 y en los ríos tributarios (Tabla 4.1.1.42). Los valores de Manganeso no difirieron significativamente (p>0,05) entre años y estaciones; sin embargo, tales concentraciones fueron significativamente más altas (p<0,05) en el sector límnico y ríos tributarios (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 Año de muestreo (2014, 2015, 2016, 2017 y 2018), Mes de muestreo (A = abril y J = julio) y Sector (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). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	P	Prueba de Tukey
Fe	Año (A)	4	23653,17	5913,29	14,861	**<0,001**	2018=2017>2014=2015=2016
	Mes (M)	1	227,53	227,53	0,572	0,464	
	Sector (S)	3	35625,44	11875,15	29,844	**<0,001**	T > L = EE > F
	A × S	12	4774,96	397,91			
	Error	39	84609,44	2169,47			
Al (**)	Año (A)	4	832,80	208,20	10,590	**<0,001**	2014=2015=2017=2018>2016
	Mes (M)	1	485,81	485,81	24,708	**<0,001**	J > A
	Sector (S)	3	1027,27	342,42	17,416	**<0,001**	T > L = EE = F
	A × S	12	235,93	19,66			
	Error	39	4246,22	108,33			
Mn	Año (A)	4	76,51	19,128	0,657	0,633	
	Mes (M)	1	57,60	57,600	1,980	0,185	
	Sector (S)	3	1314,71	438,236	15,061	**<0,001**	L = T > EE = F
	A × S	12	349,18	29,098			
	Error	39	2606,16	66,825			

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; (***) = No cumple los supuestos del ANDEVA.

Las Tablas 4.1.1.43 a la 4.1.1.48 y Fig. 4.1.1.17 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 y 2018 (Programa de Monitoreo Ambiental del HRC).

Durante el año 2018, el Zinc fue detectado en todas las estaciones en ambas temporadas de estudio (Tabla 4.1.1.44). El Cadmio solo ha sido detectado en mayo 2014 (sector límnico) y en abril 2015 (sector límnico y ríos tributarios) (Tabla 4.1.1.46). El Arsénico solo fue detectado durante el mes de abril del año 2017 en Punucapa (sector estuarial) y en el río Calle Calle (fuera del humedal), a la vez que concentraciones de Mercurio no han sido detectadas (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 y 2018. 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 (área límnica)					
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 (área límnica)				
1 (sector Ciruelos)	0,8 (0,02)	0,63 (0,03)	0,4 (0,0)	1,0 (0,3)
2 (sector Rucaco)	0,8 (0,02)	0,60 (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)	0,65 (0,01)	0,6 (0,0)	1,1 (0,3)
4 (sector Santa Clara)	0,8 (0,29)	0,48 (0,06)	0,4 (0,0)	1,2 (0,0)
5 (sector Punucapa)	1,2 (0,00)	0,63 (0,05)	0,5 (0,0)	1,4 (0,2)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	1,1 (0,23)	0,70 (0,00)	0,5 (0,0)	1,5 (0,2)
7 (río Cayumapu)	0,9 (0,00)	0,74 (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)	0,79 (0,05)	0,4 (0,0)	1,1 (0,3)

Continuación **Tabla 4.1.1.43**

	Cobre (µg/L)	
estaciones	**2018**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	1,7 (0,02)	0,63 (0,01)
2 (sector Rucaco)	1,7 (0,03)	0,55 (0,00)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	2,0 (0,02)	0,59 (0,02)
4 (sector Santa Clara)	2,2 (0,03)	0,88 (0,01)
5 (sector Punucapa)	1,7 (0,00)	0,60 (0,02)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	1,4 (0,01)	0,69 (0,01)
7 (río Cayumapu)	2,0 (0,03)	0,84 (0,03)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río calle Calle)	2,1 (0,02)	0,55 (0,03)

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 y 2018. 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 (área límnica)					
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 (0,00)	*	*
5 (sector Punucapa)	0,66 (0,65)	0,60 (0,21)	*	*	*
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 (0,00)	*	*
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 (área límnica)				
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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	2,35 (0,22)	0,18 (0,00)
2 (sector Rucaco)	0,39 (0,01)	0,24 (0,02)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,97 (0,06)	1,53 (0,52)
4 (sector Santa Clara)	1,21 (0,17)	0,58 (0,05)
5 (sector Punucapa)	0,07	0,60 (0,45)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	0,85 (0,06)	0,65 (0,02)
7 (río Cayumapu)	0,45 (0,02)	0,65 (0,15)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río calle Calle)	0,27 (0,02)	0,11 (0,01)

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 y 2018. 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 (área límnica)					
1 (sector Ciruelos)	*	0,01 (0,00)	0,02 (0,00)	0,02 (0,00)	0,02 (0,00)
2 (sector Rucaco)	*	*	0,02 (0,00)	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 (0,00)	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 (0,00)	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 (área límnica)				
1 (sector Ciruelos)	0,021 (0,004)	0,030 (0,000)	0,018 (0,001)	0,066 (0,030)
2 (sector Rucaco)	0,019 (0,000)	0,025 (0,002)	*	0,057 (0,004)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,030 (0,016)	0,014 (0,000)	0,032 (0,000)	0,054 (0,027)
4 (sector Santa Clara)	0,015 (0,006)	0,023 (0,001)	0,019 (0,000)	0,034 (0,012)
5 (sector Punucapa)	0,027 (0,014)	0,021 (0,004)	0,017 (0,000)	0,046 (0,022)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,024 (0,000)	0,020 (0,002)	0,022 (0,000)	0,044 (0,014)
7 (río Cayumapu)	0,020 (0,001)	0,013 (0,002)	0,038 (0,000)	0,064 (0,040)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río calle Calle)	0,029 (0,001)	0,044 (0,005)	*	0,051 (0,012)

Continuación **Tabla 4.1.1.45**

	Plomo (µg/L)	
estaciones	**2018**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	0,05 (0,00)	*
2 (sector Rucaco)	0,03 (0,00)	*
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,04 (0,00)	*
4 (sector Santa Clara)	0,04 (0,01)	*
5 (sector Punucapa)	0,03 (0,00)	*
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	0,01 (0,00)	*
7 (río Cayumapu)	0,03 (0,00)	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río calle Calle)	0,07 (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 y 2018. 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 (área límnica)					
1 (sector Ciruelos)	*	0,004 (0,000)	*	0,025	*
2 (sector Rucaco)	*	*	*	0,097	*
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)	*	*	*	0,064	*
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 (área límnica)				
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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
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 4.1.1.47. 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 y 2018. * = 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 (área límnica)					
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 (área límnica)				
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)	*	*	0,239 (0,015)	*
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)	*	*	0,4825 (0,005)	*

Continuación **Tabla 4.1.1.47**

	Arsénico (µg/L)	
estaciones	**2018**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
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 4.1.1.48. 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 y 2018. * = 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 (área límnica)					
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 (área límnica)				
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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
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)	*	*

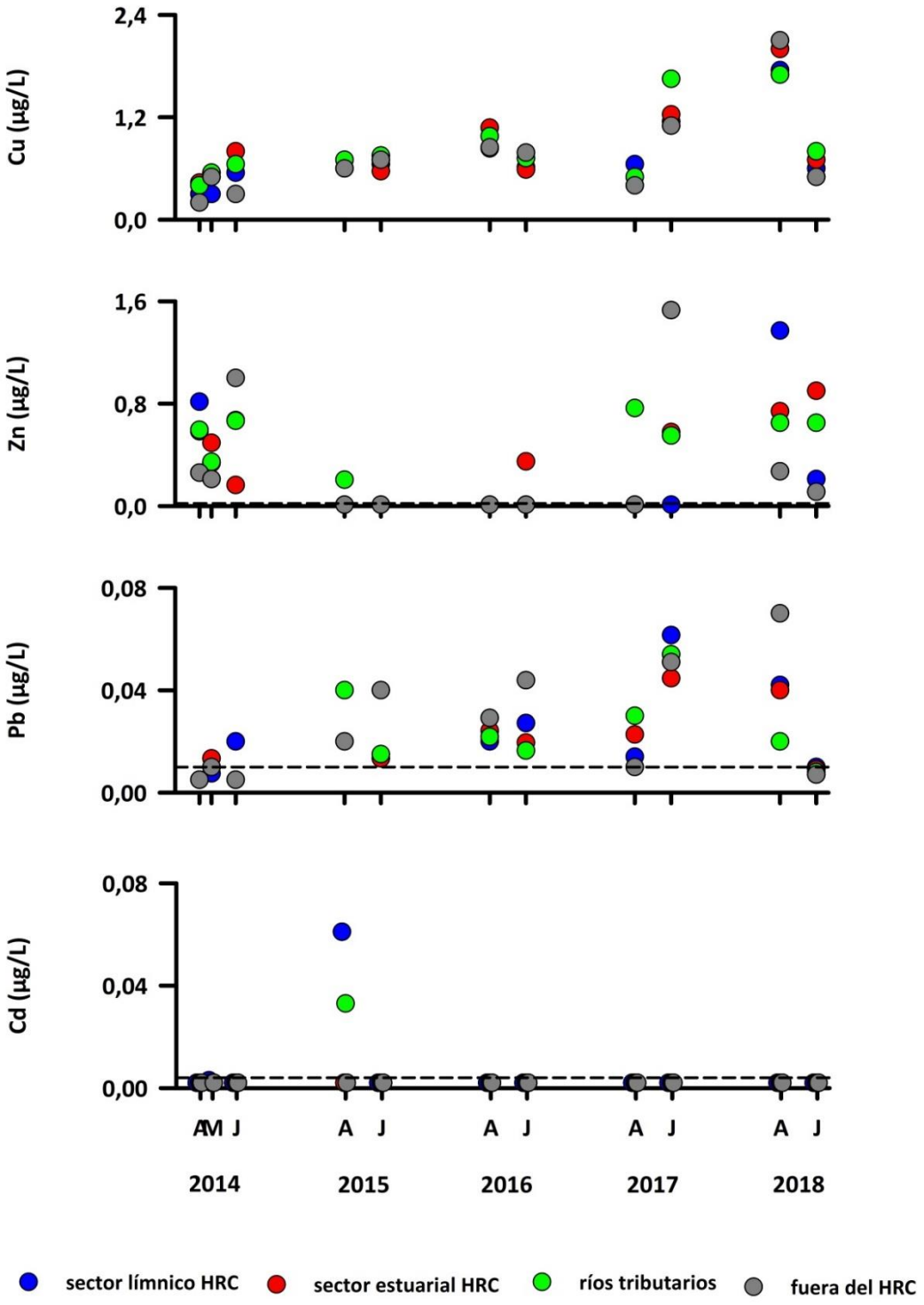


Figura 4.1.1.17. Comparación interanual de la concentración de Cobre, Zinc, Plomo y Cadmio disuelto en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. La línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

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. Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* para evaluar eventuales diferencias entre los factores Años y Sector. 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.

Tabla 4.1.1.49. Variabilidad interanual (2014, 2015, 2016, 2017 y 2018) 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. Base de datos para análisis de ANDEVA factorial y test a posteriori (ver Tabla 4.1.1.53).

	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	0,74	0,65	0,27	0,04	0,04	0,02	0,07
julio 2018	0,6	0,7	0,8	0,5	0,21	0,90	0,65	0,11	*	*	*	*

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 Año, Sector y

Mes**.** Estos indican que las concentraciones de Cobre detectadas durante el año 2018, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que en años anteriores. No se detectaron diferencias significativas ($p<0,05$) estacionales, ni entre sectores (Tabla 4.1.1.50).

Las concentraciones de Zinc detectadas durante el año 2017 fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las detectadas durante el año 2015; no se observaron diferencias significativas ($p<0,05$) entre campañas y sectores (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 2018 del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC. A su vez, no se encontraron diferencias significativas entre sectores y 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 (Cu), Zinc (Zn), Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Arsénico (As) disueltos en aguas superficiales del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016-2017-2018), Mes de muestreo (A = abril y J = julio) y Sector (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). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	P	Prueba de Tukey
Cu (**)	Año (A)	4	2,800	0,700	30,00	**<0,001**	2018 > 2015 = 2016 = 2017 > 2014
	Mes (M)	1	0,064	0,064	2,743	0,124	
	Sector (S)	3	0,137	0,046	1,957	0,174	
	A × S	12	0,280	0,023			
	Error	39	8,015	0,206			
Zn	Año (A)	4	3,123	0,781	5,533	**0,009**	2017 > 2015
	Mes (M)	1	0,192	0,192	1,360	0,266	
	Sector (S)	3	0,552	0,184	1,304	0,318	
	A × S	12	1,693	0,141			
	Error	39	10,067	0,258			
Pb	Año (A)	4	0,00315	0,00078	7,370	**0,003**	2018 = 2017 =2016 = 2015 > 2014
	Mes (M)	1	0,000	0,000	0,000	1,000	
	Sector (S)	3	0,00039	0,000131	1,223	0,344	
	A × S	12	0,00128	0,000107			
	Error	39	0,0111	0,000285			

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; (***) = No cumple los supuestos del ANDEVA.

Metales pesados particulados

Las Tablas 4.1.1.51 a la 4.1.1.53 y la Figura 4.1.1.18 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 y 2018 (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 y 2018. 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 (área límnica)					
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 (área límnica)				
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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	84.644 (11.501)	65.996 (1.239)
2 (sector Rucaco)	259.055 (215.105)	69.490 (208)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	133.470 (58.310)	83.073 (3.243)
4 (sector Santa Clara)	102.422 (6.076)	133.055 (32.121)
5 (sector Punucapa)	48.249 (74.765)	133.052 (32.740)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	121.467 (12.979)	188.729 (28.595)
7 (río Cayumapu)	53.096 (17.878)	113.965 (2.263)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	58.004 (6.453)	52.758 (3.284)

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 y 2018. 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 (área límnica)					
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 (área límnica)				
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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	19.349 (9.731)	77.440 (4.472)
2 (sector Rucaco)	25.628 (29.275)	50.370 (7.057)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	13.918 (17.247)	65.786 (13.236)
4 (sector Santa Clara)	14.114 (2.981)	142.814 (132.002)
5 (sector Punucapa)	26.282 (1.709)	207.217 (20.427)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	34.320 (9.282)	93.313 (9.320)
7 (río Cayumapu)	125.167 (35.789)	147.096 (12.041)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	13.844 (7.562)	131.288 (109.799)

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 y 2018. 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 (área límnica)					
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 (área límnica)				
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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	3.474 (333)	4.223 (111)
2 (sector Rucaco)	9.346 (8.562)	3.334 (121)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	9.820 (3.964)	6.024 (972)
4 (sector Santa Clara)	6.998 (1.684)	4.642 (1.349)
5 (sector Punucapa)	5.982 (1.494)	3.834 (1.078)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	4.684 (594)	7.252 (1.918)
7 (río Cayumapu)	1.892 (577)	3.109 (298)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	7.518 (1.337)	1.689 (51)

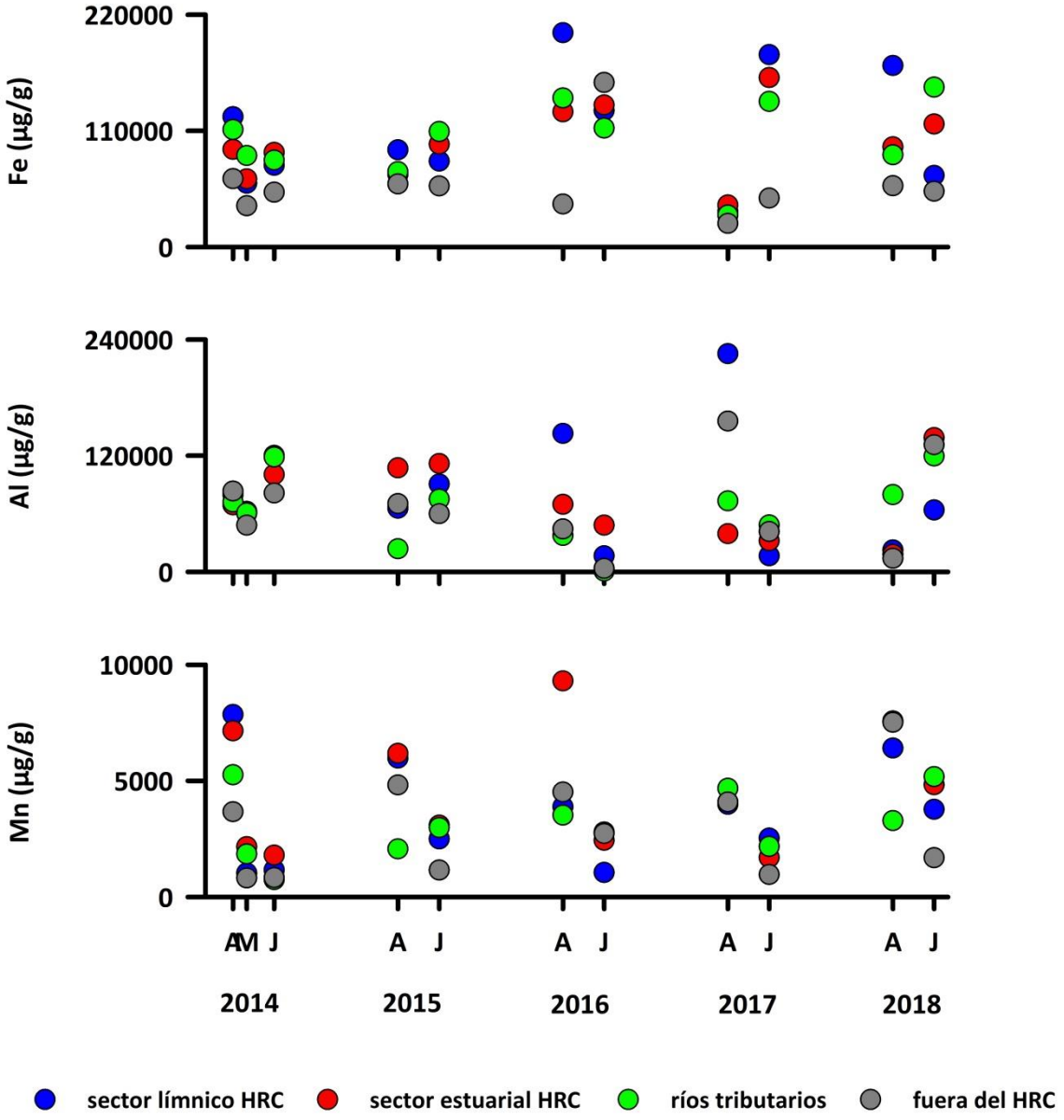


Figura 4.1.1.18. Comparación interanual de la concentración de Hierro, Aluminio y Manganeso particulado en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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. Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* para evaluar eventuales diferencias entre los factores Años y Sector.

Tabla 4.1.1.54. Variabilidad interanual (2014, 2015, 2016, 2017 y 2018) 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

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**.**

No se encontraron diferencias significativas (<0,05) en las concentraciones de Hierro particulado a través de los años. A su vez, las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas (p<0,05) en el sector límnico que fuera del humedal (Tabla 4.1.1.55).

Las concentraciones de Aluminio particulado no presentaron diferencias significativas (p<0,05) entre los factores de estudio (Tabla 4.1.1.55).

Las concentraciones de Manganeso no difirieron significativamente (p>0,05) entre años, pero sí fueron significativamente más altas (p<0,05) en el sector del eje estuarial durante el periodo 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 y 2018), Mes (A = abril, J = julio) y Sector (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). 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	Año (A)	4	14210778702,0	3552694675,5	2,272	0,122	
	Mes (M)	1	3245510340,9	3245510340,9	2,075	0,175	
	Sector (S)	3	17263485118,2	5754495039,4	3,680	**0,043**	L > F
	A x S	12	18765650564,6	1563804213,7			
	Error	39	79110688204,0	2028479184,7			
Al	Año (A)	4	8922045643,4	2230511410,8	1,973	0,163	
	Mes (M)	1	139379022,2	139379022,2	0,123	0,732	
	Sector (S)	3	2154723510,0	718241170,0	0,635	0,606	
	A x S	12	13565488111,2	1130457342,6			
	Error	39	88556103840,7	2270669329,2			
Mn	Año (A)	4	11979737,9	2994934,4	1,261	0,338	
	Mes (M)	1	108596611,6	108596611,6	45,716	**<0,001**	A > J
	Sector (S)	3	32392006,2	10797335,4	4,545	**0,024**	EE > T = F
	A x S	12	28505496,6	2375458,0			
	Error	39	227055136,4	5821926,5			

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 (***) = No cumple supuestos de ANDEVA.

Cobre, Zinc y Plomo

Las Tablas 4.1.1.56 a la 4.1.1.58 y la Figura 4.1.1.19 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 Diagnostico del HRC), 2015, 2016, 2017 y 2018 (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 y 2018. 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 (área límnica)					
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 (área límnica)				
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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	51,8 (8,0)	70,3 (2,8)
2 (sector Rucaco)	169,1 (137,8)	113,4 (8,6)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	56,5 (35,3)	92,4 (2,6)
4 (sector Santa Clara)	131,7 (87,1)	63,3 (10,9)
5 (sector Punucapa)	86,9 (8,9)	100,1 (11,5)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	45,0 (7,9)	74,9 (5,9)
7 (río Cayumapu)	87,9 (92,2)	61,3 (0,9)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	*	58,5 (7,9)

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 y 2018. 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 (área límnica)					
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 (área límnica)				
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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	737,2 (646,8)	*
2 (sector Rucaco)	1.157,4 (629,5)	117,1 (1,1)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	722,4 (226,6)	*
4 (sector Santa Clara)	1.832,4 (1.357,3)	1.164 (263,1)
5 (sector Punucapa)	579,4 (322,3)	2241 (453,5)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	151,0 (59,6)	*
7 (río Cayumapu)	346,1 (180,0)	133 (18,9)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	367,1 (348,1)	707,2 (35,5)

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 y 2018. 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 (área límnica)					
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 (área límnica)				
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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	16 (2,9)	10 (0,6)
2 (sector Rucaco)	41 (21,9)	14 (0,4)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	15 (4,6)	13 (0,8)
4 (sector Santa Clara)	68 (59,4)	49 (45,9)
5 (sector Punucapa)	18 (5,5)	29 (4,8)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	14 (0,7)	23 (0,6)
7 (río Cayumapu)	13 (4,0)	14 (2,0)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	60 (31,2)	18 (2,5)

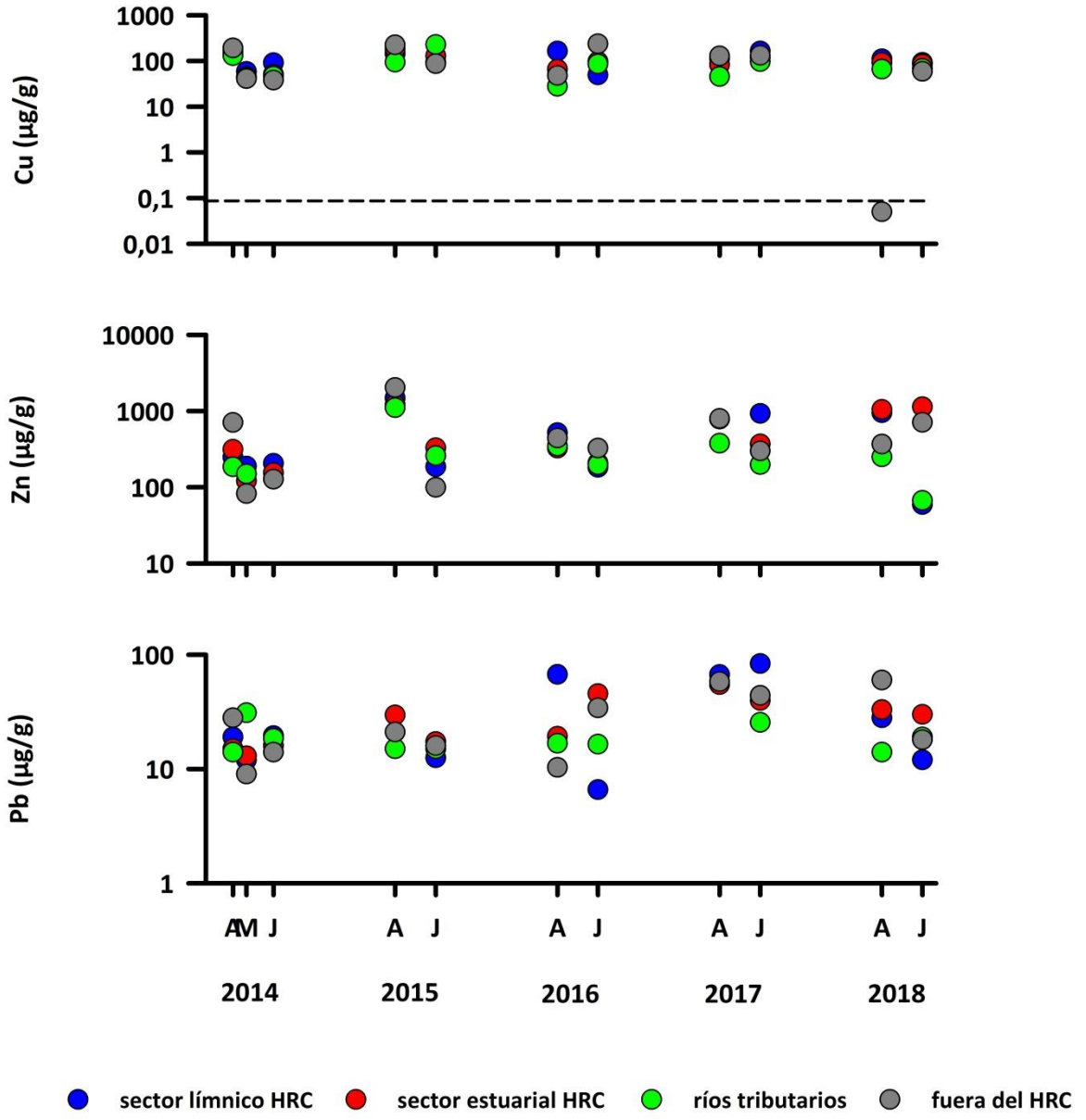


Figura 4.1.1.19. Comparación interanual de la concentración de Cobre, Zinc, Plomo y Cadmio particulado en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. La línea segmentada indica el límite de cuantificación del método utilizado.

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 particulados en aguas superficiales del área de estudio. Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* para evaluar eventuales diferencias entre los factores Años y Sector.

Tabla 4.1.1.59. Variabilidad interanual (2014, 2015, 2016, 2017 y 2108) 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	0,005	947	1.045	249	367	28	33	14	60
julio 2018	92	85	68	59	59	1.135	67	707	12	30	19	18

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 no presentaron diferencias significativas entre los factores de estudio (Tabla 4.1.1.60).

Las concentraciones de Zinc particulado detectadas durante los años 2015, 2017 y 2018 fueron significativamente más altas (p<0,05) que las observadas durante los años 2014 y 2016; los valores de este metal fueron significativamente más altos (p<0,05) durante el periodo de bajo caudal hídrico (abril) (Tabla 4.1.1.60).

Las concentraciones de Plomo particulado detectadas durante los años 2018 y 2017, fueron significativamente más altas (p<0,05) que las registradas durante los años 2014 y 2015 de estudio (Tabla 4.1.1.60). No se observaron diferencias significativas (p<0,05) entre campañas y sectores (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), Mes (A = abril, J = julio) y Sector (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). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Cu	Año (A)	4	24099,8	6024,9	1,786	0,196	
	Mes (M)	1	801,5	801,5	0,238	0,635	
	Sector (S)	3	4955,0	1651,7	0,490	0,696	
	A x S	12	40478,2	3373,2			
	Error	39	122748,7	3147,4			
Zn	Año (A)	4	1704611,7	426152,9	5,666	**0,008**	2018=2017=2015>2014=2016
	Mes (M)	1	1633372,2	1633372,2	21,717	**<0,001**	A > J
	Sector (S)	3	535343,5	178447,8	2,272	0,122	
	A x S	12	902546,7	75212,2			
	Error	39	7580237,8	194365,0			
Pb (**)	Año (A)	4	7031,7	1757,9	5,816	**0,008**	2018 = 2017 > 2014 = 2015
	Mes (M)	3	476,1	476,1	1,575	0,233	
	Sector (S)	1	792,6	264,2	0,874	0,482	
	A x S	12	3627,3	302,3			
	Error	39	14194,4	363,9			

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; (***) = 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 y 2018 (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 y 2018. 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 (área límnica)					
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**

	Cadmio (µg/g)			
estaciones	**2016**		**2017**	
	abril	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)				
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 (área límnica)				
1 (sector Ciruelos)	0,90 (0,26)	0,37		
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)		
5 (sector Punucapa)	0,70 (0,51)	*		
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,53 (0,12)	4,49 (0,15)		
7 (río Cayumapu)	0,30 (0,13)	*		
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	2,48 (0,22)	*		

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 y 2018. 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 (área límnica)					
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 (área límnica)				
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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
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 y 2018. 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 (área límnica)					
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 (área límnica)				
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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	0,54 (0,02)	5,63 (1,65)
2 (sector Rucaco)	0,83 (0,06)	1,28 (0,40)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	2,00 (1,56)	2,34 (1,41)
4 (sector Santa Clara)	0,57 (0,18)	1,97 (1,69)
5 (sector Punucapa)	1,37 (0,50)	3,83 (2,59)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	0,52 (0,05)	4,12 (0,83)
7 (río Cayumapu)	0,41 (0,08)	3,76 (0,70)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	1,20 (0,72)	2,40 (1,49)

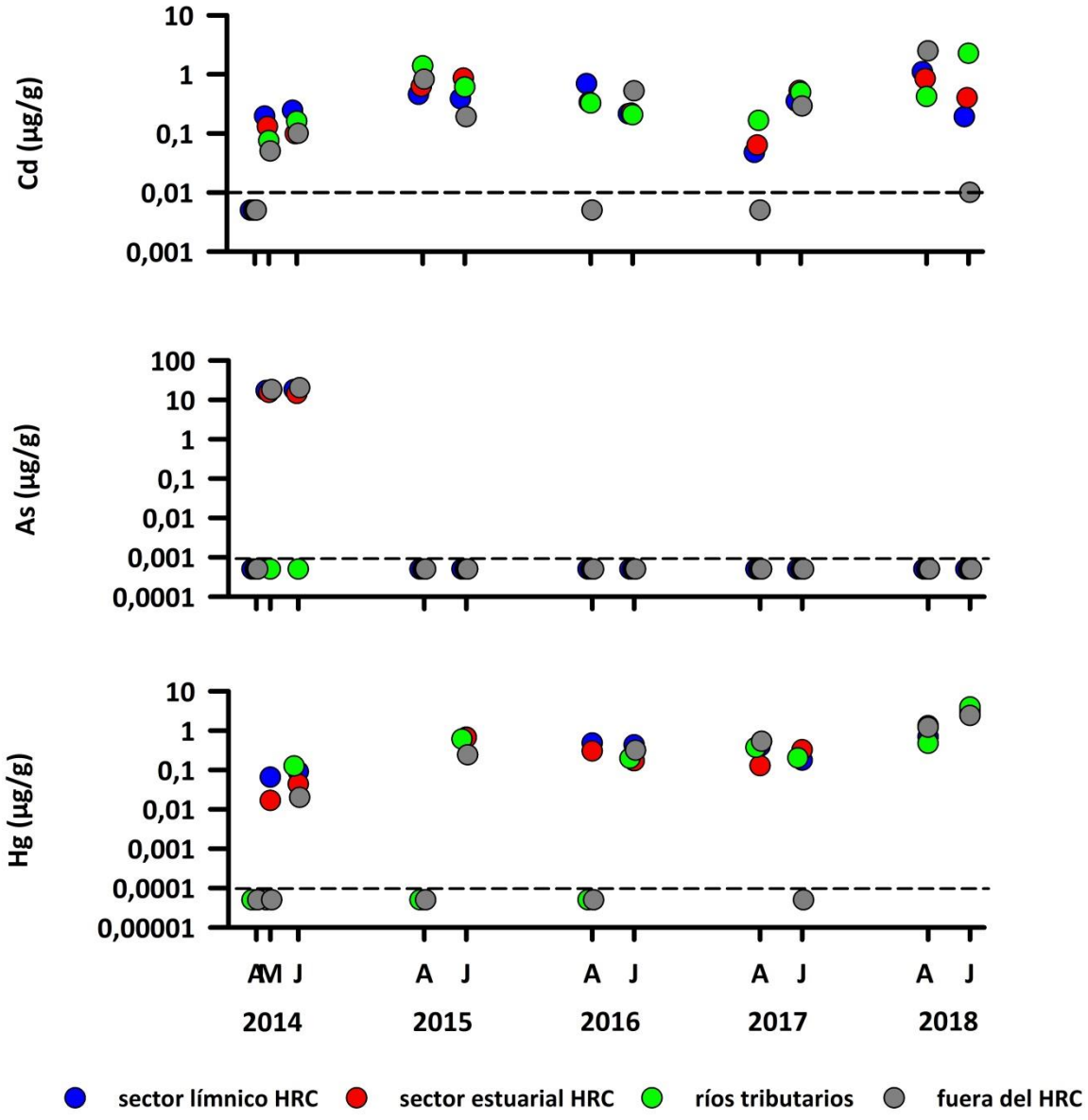


Figura 4.1.1.20. Comparación interanual de la concentración de Cadmio, Arsénico y Mercurio particulado en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. La línea segmentada indica el límite de detección 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. Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* para evaluar eventuales diferencias entre los factores Años y Sector. 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 y 2018) 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	0,00
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

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 Año, Sector y Mes**.**

Las concentraciones de Cadmio particulado detectadas durante el año 2015 fueron significativamente más altas (p<0,05) que las encontradas durante los otros años; no se observaron diferencias significativas entre sectores y campañas (Tabla 4.1.1.65).

Las concentraciones de Mercurio particulado detectadas durante el último año de Monitoreo (2018) fueron significativamente más altas (p<0,05) que las detectadas durante el programa de Diagnóstico Ambiental (2014) y los tres primeros 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).

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), Arsénico (As) y Mercurio (Hg) registradas en aguas del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014, 2015, 2016, 2017 y 2018), Mes (A = abril, J = julio y Sector (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). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Cd (*)(**)	Año (A)	4	13,910	3,477	5,738	**0,008**	2018=2015>2014=2016=2017
	Mes (M)	1	2,983	2,983	4,921	**0,047**	J > A
	Sector (S)	3	3,239	1,080	1,782	0,204	
	A x S	12	7,273	0,606			
	Error	39	39,549	1,014			
Hg	Año (A)	4	21,398	5,350	40,847	**<0,001**	2018>2014=2015=2016=2017
	Mes (M)	1	2,905	2,905	22,179	**<0,001**	J > A
	Sector (S)	3	0,157	0,0523	0,399	0,756	
	A x S	12	1,572	0,131			
	Error	39	34,323	0,880			

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; (***) = 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 4.1.1.21 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 y 2018 (Programa de Monitoreo Ambiental del HRC). No se han detectado Ácidos resínicos durante los cinco años de estudio (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 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. * = 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 (área límnica)					
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 (área límnica)				
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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	0,6 (0,02)	0,7 (0,03)
2 (sector Rucaco)	0,6 (0,01)	0,7 (0,00)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,7 (0,01)	0,6 (0,02)
4 (sector Santa Clara)	0,7 (0,03)	0,6 (0,01)
5 (sector Punucapa)	0,8 (0,04)	0,6 (0,00)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	0,7 (0,02)	0,6 (0,01)
7 (río Cayumapu)	0,8 (0,00)	0,7 (0,03)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	0,7 (0,00)	0,6 (0,01)

Continuación **Tabla 4.1.1.66**

	Ácidos resínicos (µg/L)				
estaciones	**2014**			**2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)					
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 (área límnica)				
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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
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)	*	*

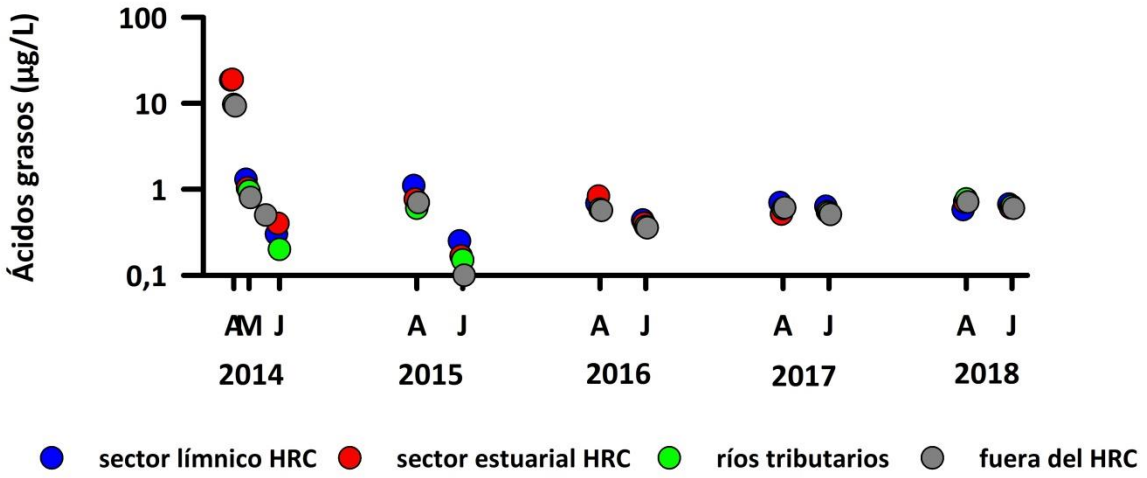


Figura 4.1.1.21. Comparación interanual de la concentración de Ácidos grasos en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

Compuestos Órgano-Halogenados Adsorbibles (AOX)

La Tabla 4.1.1.67 y la Figura 4.1.1.22 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 y 2018 (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 (área límnica)					
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 (área límnica)				
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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	7,0 (0,46)	6,0 (0,63)
2 (sector Rucaco)	23,2 (1,26)	15,5 (1,76)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	27,0 (1,38)	13,2 (1,87)
4 (sector Santa Clara)	18,0 (0,41)	9,9 (1,34)
5 (sector Punucapa)	16,3 (0,24)	11,9 (0,69)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	13,7 (1,53)	9,3 (0,97)
7 (río Cayumapu)	13,6 (0,13)	11,8 (0,42)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	5,3 (0,12)	4,9 (0,49)

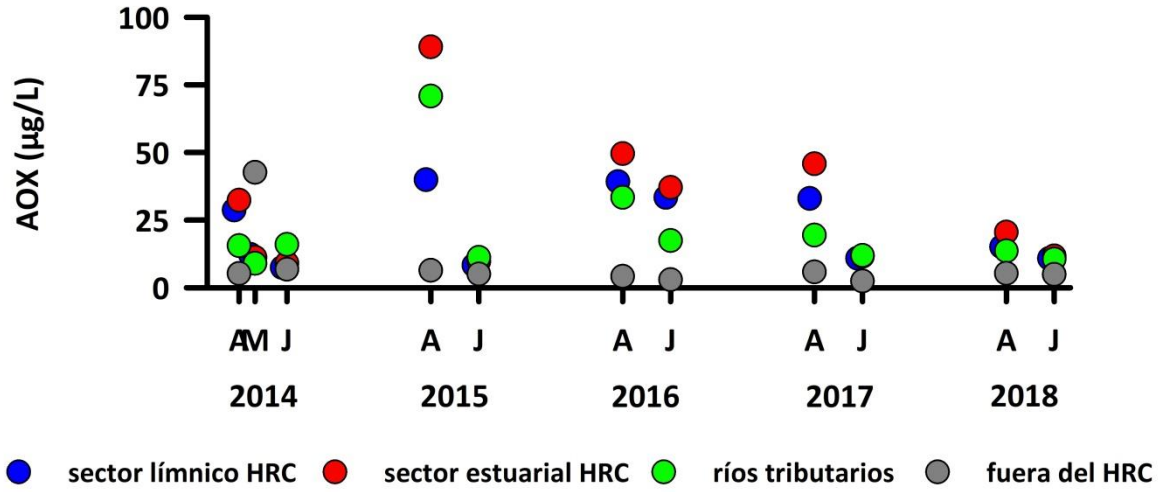


Figura 4.1.1.22. Comparación interanual de la concentración de los compuestos órgano-halogenados adsorbibles (AOX) en aguas superficiales del sector sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

Análisis estadísticos

La tabla 4.1.1.68 presenta las concentraciones promedio de Ácidos grasos y AOX en aguas superficiales del área de estudio. Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* para evaluar eventuales diferencias entre los factores Años y Sector.

Tabla 4.1.1.68. Variabilidad interanual (2014, 2015, 2016, 2017 y 2018) 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

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 Año, Sector y Mes**.**

Las concentraciones de Ácidos grasos detectadas durante el Programa de Diagnostico (2014) fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las encontrada durante todo el Programa de Monitoreo Ambiental. Además, estas concentraciones fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante la campaña de menor caudal hídrico (Tabla 4.1.1.69).

Las concentraciones de AOX fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante los años 2014 y 2015 que, durante el año 2018, por su parte estas concentraciones fueron

significativamente más altas (p<0,05) durante el periodo de abril y significativamente más bajas (p<0,05) en el sector ubicado fuera del HRC (río Calle Calle) (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 Año de muestreo (2014-2015-2016-2017-2018) y Sector (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). 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	Año (A)	4	284,44	71,11	24,94	**<0,001**	2014 > 2015 = 2016 = 2017 = 2018
(**)	Mes (M)	1	87,26	87,26	30,60	**<0,001**	A > J
	Sector (S)	3	9,74	3,25	1,14	0,373	
	A x S	12	34,22	2,85			
	Error	39	749,93	19,23			
AOX	Año (A)	4	2015,2	503,8	5,020	**0,013**	2015 = 2014 > 2018
	Mes (M)	1	2788,9	2788,9	27,8	**<0,001**	A > J
	Sector (S)	3	3740,5	1246,8	12,4	**<0,001**	L = EE = T > F
	A x S	12	1204,3	100,4			
	Error	39	14155,1	362,9			

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; (***) = No cumple supuestos de ANDEVA.

Dioxinas y Furanos

Las Tablas 4.1.1.70 y Figura 4.1.1.23, 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 y 2018 (Programa de Monitoreo Ambiental del HRC).

Durante el año 2018 se detectó nuevamente la Dioxina 1.2.3.7.8-PCDD, específicamente en aguas del sector Rucaco (sector límnico), Punucapa (eje estuarial) y río Calle Calle (fuera del humedal), además, se detectó por primera vez la Dioxina 2.3.7.8-TCDD en aguas del sector Punucapa y río Calle Calle.

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 y 2018. 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 (área límnica)				
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 (área límnica)		
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**
	abril
Eje central del río Cruces (área límnica)	
1 (sector Ciruelos)	0,0058 (0,0044)
2 (sector Rucaco)	0,0031 (0,0000)
Eje central del río Cruces (área estuarial)	
3 (sector Fuerte San Luis)	0,0013 (0,0005)
4 (sector Santa Clara)	0,0021 (0,0003)
5 (sector Punucapa)	0,0032 (0,0006)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)	
6 (río Pichoy)	0,0018 (0,0002)
7 (río Cayumapu)	0,0018 (0,0004)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)	
8 (río Calle Calle)	0,0060 (0,0025)

Continuación **Tabla 4.1.1.70**

	Furanos (ng/L)			
estaciones	**2014**			**2015**
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)				
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 (área límnica)		
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**
	abril
Eje central del río Cruces (área límnica)	
1 (sector Ciruelos)	0,0040 (0,0029)
2 (sector Rucaco)	0,0035 (0,0012)
Eje central del río Cruces (área estuarial)	
3 (sector Fuerte San Luis)	0,0001 (0,0001)
4 (sector Santa Clara)	0,0001 (0,0001)
5 (sector Punucapa)	0,0041 (0,0019)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)	
6 (río Pichoy)	0,0003 (0,0002)
7 (río Cayumapu)	0,0001 (0,0002)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)	
8 (río Calle Calle)	0,0062 (0,0046)

Continuación **Tabla 4.1.1.70**

	EQTs (ng/L)			
Estaciones	**2014**			**2015**
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)				
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 (área límnica)		
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**
	abril
Eje central del río Cruces (área límnica)	
1 (sector Ciruelos)	0,00028 (0,00034)
2 (sector Rucaco)	0,00058 (0,00064)
Eje central del río Cruces (área estuarial)	
3 (sector Fuerte San Luis)	0,00000 (0,00000)
4 (sector Santa Clara)	0,00002 (0,00001)
5 (sector Punucapa)	0,00072 (0,00014)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)	
6 (río Pichoy)	0,00001 (0,00000)
7 (río Cayumapu)	0,00000 (0,00000)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)	
8 (río Calle Calle)	0,00086 (0,00034)

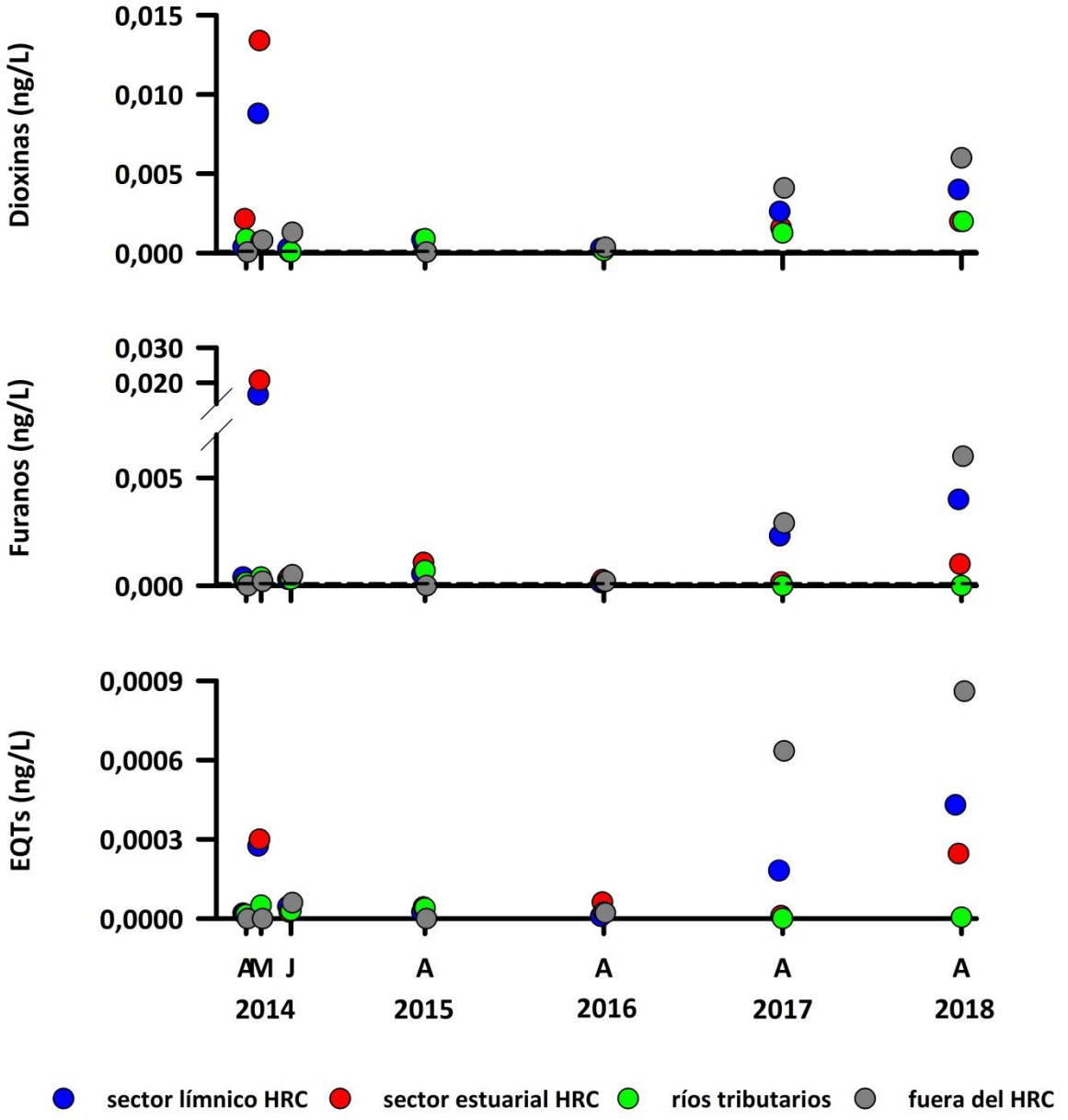


Figura 4.1.1.23. Comparación interanual de la concentración de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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. Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* para evaluar eventuales diferencias entre los factores Años y Sector.

Tabla 4.1.1.72. Variabilidad interanual (2014, 2015, 2016, 2017 y 2018) 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

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 año 2018, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las observadas durante los años anteriores. Las concentraciones de Dioxinas fueron significativamente más bajas ($p<0,05$) en los ríos tributarios (Tabla 4.1.1.73).

Las concentraciones de Furanos detectadas en el eje estuarial y fuera del humedal fueron significativamente más altas (p<0,05) que las detectadas en el sector límnico y ríos tributarios del HRC.

Las concentraciones de EQTs fueron significativamente más altas (p<0,05) durante los años 2017 y 2018, especialmente en el sector ubicado fuera del HRC (río calle Calle) (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 Año de muestreo (2014, 2015, 2016 y 2017) y Sector (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). 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	Año (A)	4	0,000111	0,0000549	29,357	**<0,001**	2018 > 2017 > 2014 = 2015 = 2016
(**)	Sector (S)	3	0,0000097	0,0000032	3,399	**0,024**	F = EE = L > T
	A x S	12	0,0000483	0,0000040	4,255	**<0,001**	
	Error	58	0,0000549	0,0000009			
Furanos	Año (A)	4	0,0000711	0,0000178	12,456	**<0,001**	2018 > 2014 = 2015 = 2016 = 2017
(***)	Sector (S)	3	0,0000258	0,0000086	6,025	**0,001**	F = L > EE = T
	A x S	12	0,0000592	0,0000049	3,456	**<0,001**	
	Error	58	0,0000828	0,0000014			
EQTs	Año (A)	4	0,0000014	0,0000003	11,675	**<0,001**	2018 = 2017 > 2014 = 2015 = 2016
(***)	Sector (S)	3	0,0000006	0,0000002	6,299	**<0,001**	F > T = EE
	A x S	12	0,0000011	0,0000001	2,958	**0,003**	
	Error	58	0,0000018	0,0000000			

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 a 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 analítico. 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 y consecuentemente, 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 4.1.1.73 a 4.1.1.80 muestran la comparación entre los datos obtenidos en este programa, indicando si cumplen los parámetros impuestos en dichas normas.

De acuerdo a 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 - 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 4.1.1.74-4.1.1.76); a su vez, los valores de pH sobrepasaron en algunos casos el valor máximo sugerido por la Norma 1333 para Agua de Uso Recreativo de esta norma (Tablas 4.1.1.73 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).

Tabla 4.1.1.73. 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 (estaciones 1 y 2)	Norma Chilena 1333 para Agua de Riego											Norma Chilena 1333 para Agua de Uso Recreativo										
	2014			2015		2016		2017		2018		2014			2015		2016		2017		2018	
variables	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	J
Fe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Al	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Mn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Cu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Zn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Pb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Cd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
As	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Hg	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Cloruros	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Sulfatos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Temperatura												✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
pH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓
Coliformes fecales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
Transparencia												✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 4.1.1.74. 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 (estaciones 3, 4 y 5)	Norma Chilena 1333 para Agua de Riego											Norma Chilena 1333 para Agua de Uso Recreativo										
	2014			2015		2016		2017		2018		2014			2015		2016		2017		2018	
variables	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	J
Fe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Al	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Mn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Cu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Zn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Pb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Cd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
As	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Hg	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Cloruros	✓	✓	✓	X	✓	X	X	✓	✓	✓	✓											
Sulfatos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Temperatura												✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
pH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓
Coliformes fecales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Transparencia												✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 4.1.1.75. 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 (estaciones 6 y 7)	Norma Chilena 1333 para Agua de Riego											Norma Chilena 1333 para Agua de Uso Recreativo										
	2014			2015		2016		2017		2018		2014			2015		2016		2017		2018	
variables	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	M	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												✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 4.1.1.76. 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 HRC (estación 8)	Norma Chilena 1333 para Agua de Riego											Norma Chilena 1333 para Agua de Uso Recreativo										
	2014			2015		2016		2017		2018		2014			2015		2016		2017		2018	
variables	A	M	J	A	J	A	J	A	J			A	M	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	✓
Coliformes fecales	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Transparencia												✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 4.1.1.77. 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										
	2014			2015		2016		2017		2018		2014			2015		2016		2017		2018		2014			2015		2016		2017		2018		2014			2015		2016		2017		2018	
	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	M	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			
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	x	✓	x	✓		x					✓	✓			x			✓				
DBO5	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓																											

Tabla 4.1.1.78. 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										
	2014			2015		2016		2017		2018		2014			2015		2016		2017		2018		2014			2015		2016		2017		2018		2014			2015		2016		2017		2018	
	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	M	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			
Sulfatos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																																	
Nitrito	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																																	
Ph	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓							x										x													x			
Conductividad	✓	✓	✓	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓					x		x								✓		✓																
SDT	✓	✓	✓	SD	✓	x	x	✓	✓	✓	✓							x	✓									x													✓			
SST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																																	
O_2 disuelto	✓	✓	✓	SD	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																																	
Coliformes fecales	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	✓	✓	✓	x	x		x	x		x	x				✓	x		✓	✓		✓	✓				✓
DBO5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																																	

Tabla 4.1.1.79. 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										
	2014			2015		2016		2017		2018		2014			2015		2016		2017		2018		2014			2015		2016		2017		2018		2014			2015		2016		2017		2018	
	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	M	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			
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	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																					
Coliformes totales	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓																					
DBO5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																																	

Tabla 4.1.1.80. 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										
	2014			2015		2016		2017		2018		2014			2015		2016		2017		2018		2014			2015		2016		2017		2018		2014			2015		2016		2017		2018	
	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	M	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	x	✓	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		x	✓									✓										
Coliformes totales	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓		✓				x											✓					
DBO5	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																																	

4.1.1.5. 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 en el eje central del río Cruces 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 del área de estudio.

• 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.

• 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 el sector lÍmnico del HRC.

• 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; la transparencia del agua varió inversamente con la concentración de sólidos suspendidos totales.

• Los valores de concentración de oxígeno estuvieron casi en su totalidad cercanos a los 8 mg/L; en general, los valores más altos se registraron durante los años 2017 y 2018 en el periodo de mayor caudal hídrico y en los sectores Límnico y 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.

• La DBO_5 presentó valores en el rango informado para el año 2014; durante el año 2015, 2016, 2017 y 2018. No hay diferencias estadísticas para este parámetro y los factores analizados (sector, mes y año).

• Durante el año 2018 la Demanda Química de Oxígeno (DQO) presentó valores significativamente más altos que el año 2014 (Diagnostico), en datos obtenidos desde el sector ríos Tributarios y eje central del HRC, durante el periodo de bajo caudal hídrico.

• El carbono orgánico total (COT) durante el 2018 presentó concentraciones más bajas que las detectadas durante el año 2017, particularmente más bajas en el sector límnico y fuera del HRC.

• El Amonio no presento diferencias significativas entre los factores de estudio, el Nitrato y Nitrógeno total presentaron valores significativamente más altos en el sector límnico y eje estuarial del humedal del río Cruces, durante el periodo de mayor 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.

Las concentraciones de Fosfato fueron significativamente más altas en el periodo de mayor caudal hídrico, en el sector límnico del HRC y fuera de este, el Fósforo total detectado los últimos tres años de monitoreo fueron significativamente más bajo que los observados en años anteriores.

• La concentración de coliformes totales y fecales no presentaron diferencias significativas entre los factores de estudio. Sin embargo, las concentraciones de coliformes fecales fueron más altas durante los meses de mayor caudal hídrico.

• Las concentraciones de Cloruros y Sulfatos presentaron valores significativamente más bajos durante los últimos dos años de Monitoreo Ambiental, fuera del humedal río Cruces y durante el periodo de menor caudal hídrico.

• Las concentraciones de metales pesados disueltos y particulados presentaron diferencias significativas entre meses (Al "disueltos" – Fe, Mn, Zn, Cd y Hg "particulado"), sectores (Fe, Al, Mn "disueltos" – Mn "particulado") y años estudiados (Fe, Al, Cu, Zn y Pb "disueltos" – 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 cuatro años de Monitoreo Ambiental, están dentro del rango informado para el 2014, registro que ha presentado concentraciones significativamente más altas que los años siguientes. El mes de abril ha presentado regularmente mayores concentraciones que julio, con significancia estadística.

• No se detectó la presencia de Ácidos resínicos en el agua durante el 2014 y tampoco durante el programa de monitoreo 2015, 2016, 2017 y 2018.

• Las concentraciones de AOX han sido significativamente más altas durante el mes de abril, con menores concentraciones en el sector fuera (río Calle Calle), en tanto que el resto de los sectores no presentan diferencias estadísticamente significativas. Entre los años se han detectado diferencias significativas, con menores concentraciones durante el 2018, versus 2015 y 2014.

• Las concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs registradas durante el año 2018, fueron significativamente más altas respecto a los años anteriores. Los sectores presentaron diferencias significativas entre sí, siendo estas concentraciones más altas fuera del HRC.

• Durante el año 2018 se detectó nuevamente la Dioxina 1.2.3.7.8-PCDD, específicamente en aguas del sector Rucaco (sector límnico), Punucapa (eje estuarial) y río Calle Calle (fuera del humedal), además, se detectó por primera vez la Dioxina 2.3.7.8-TCDD en aguas del sector Punucapa y río Calle Calle.

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 la 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. Adsorbibles17360649-4 (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 destinado a análisis de calidad del sedimento para el Cuarto año del Programa de Monitoreo Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC) se realizó en ocho de las 14 estaciones en el mes de marzo del 2018 y abril del 2019. Los muestreos para estos análisis 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.

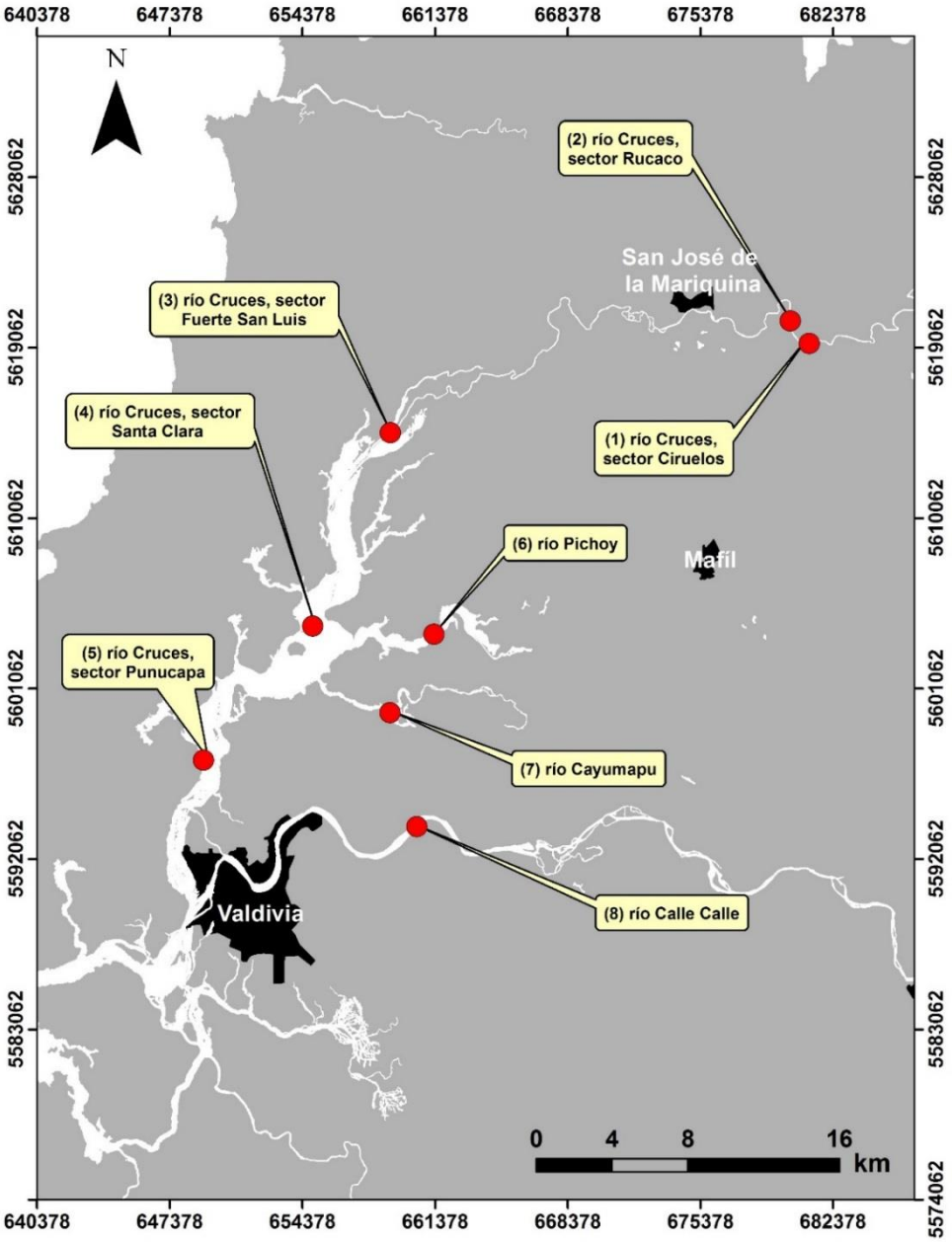


Figura 4.1.2.1. Ubicación de los sitios de muestreo (1 a 8) para análisis de calidad del sedimento en el área de estudio.

Tabla 4.1.2.1. Estaciones y fechas de muestreos de la calidad del sedimento durante abril 2018, periodo de menor caudal hídrico en el área de estudio.

estaciones	período de menor caudal
Eje Central del río Cruces (área límnica)	
1 (sector Ciruelos)	18-abr-2018
2 (sector Rucaco)	18-abr-2018
Eje central del río Cruces (área estuarial)	
3 (sector Fuerte San Luis)	17-abr-2018
4 (sector Santa Clara)	17-abr-2018
5 (sector Punucapa)	17-abr-2018
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)	
6 (río Pichoy)	16-abr-2018
7 (río Cayumapu)	16-abr-2018
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)	
8 (río Calle Calle)	16-abr-2018

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, para los análisis que se indican más abajo. 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.

- 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: % para análisis texturales y micrones para granulometría).
- Materia orgánica: calcinación y gravimetría (Unidad: % de materia orgánica por clase textural).
- Carbono orgánico total: combustión catalítica (Unidad: % C).
- 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, fango, arena 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, fango y arena y del tamaño medio de la partícula de esta última fracción, en los sedimentos de las estaciones monitoreadas durante las campañas realizadas entre los años 2014 y 2018.

Tabla 4.1.2.2. Comparación interanual 2014-2018 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**	**2017**	**2018**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)						
1 (sector Ciruelos)	9,3 (0,8)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	13,1 (19,1)	0,9 (0,7)	0,2 (0,3)
2 (sector Rucaco)	46,2 (12,8)	39,2 (5,1)	11,9 (11,2)	30,9 (16,04)	0,0 (0,0)	2,9 (2,0)
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)	0,8 (1,2)	1,6 (1,1)
4 (sector Santa Clara)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,2 (0,3)	9,7 (4,1)
5 (sector Punucapa)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	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)	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)	0,7 (1,5)	0,1 (0,1)
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)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)

Tabla 4.1.2.3. Comparación interanual 2014-2018 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**	**2017**	**2018**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)						
1 (sector Ciruelos)	18,0 (2,7)	1,0 (0,7)	22,9 (10,3)	0,3 (0,2)	1,2 (0,6)	0,7 (0,3)
2 (sector Rucaco)	6,3 (2,5)	13,8 (1,2)	17,5 (12,6)	2,3 (1,0)	45,0 (3,3)	21,0 (2,5)
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)	55,0 (7,9)	1,5 (1,2)
4 (sector Santa Clara)	1,2 (0,1)	11,1 (3,4)	7,3 (2,8)	0,9 (0,4)	3,5 (1,8)	0,3 (0,1)
5 (sector Punucapa)	40,6 (10,9)	21,8 (10,0)	77,0 (3,6)	28,0 (14,0)	51,5 (25,9)	61,2 (13,5)
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)	75,6 (5,5)	1,0 (1,2)
7 (río Cayumapu)	42,1 (6,0)	86,9 (8,2)	57,1 (24,1)	26,0 (7,8)	76,3 (5,9)	62,1 (21,3)
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)	23,6 (2,3)	2,4 (0,7)

Tabla 4.1.2.4. Comparación interanual 2014-2018 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**	**2017**	**2018**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)						
1 (sector Ciruelos)	65,1 (0,3)	97,9 (2,0)	64,8 (17,7)	83,8 (22,2)	94,4 (2,8)	94,5 (1,5)
2 (sector Rucaco)	47,0 (10,2)	46,1 (7,2)	69,7 (20,7)	63,9 (14,2)	18,1 (13,8)	65,1 (4,4)
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)	29,3 (8,2)	95,7 (1,6)
4 (sector Santa Clara)	97,0 (0,2)	80,0 (1,7)	92,4 (2,8)	95,3 (3,1)	86,4 (2,9)	88,7 (4,5)
5 (sector Punucapa)	57,8 (10,5)	73,6 (12,4)	18,0 (2,8)	62,8 (13,2)	37,5 (28,5)	30,7 (16,5)
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)	16,1 (7,4)	94,8 (4,0)
7 (río Cayumapu)	17,6 (4,8)	6,4 (3,8)	18,4 (4,6)	19,5 (22,7)	2,3 (1,5)	11,0 (12,3)
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)	70,2 (2,6)	93,9 (3,2)

Tabla 4.1.2.5. Comparación interanual 2014-2018 de los tamaños de las partículas de arena (micrones) en los sedimentos del área de estudio. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. SD= sin datos debido a extravío de muestras.

	tamaño de la partícula de arena (µm)					
estaciones	**2014**		**2015**	**2016**	**2017**	**2018**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)						
1 (sector Ciruelos)	314,0 (11,7)	307,1 (7,9)	214,6 (12,4)	488,8 (56,4)	341,4 (18,4)	360,9 (12,4)
2 (sector Rucaco)	536,0 (45, 6)	497,4 (7,5)	412,8 (141,1)	500,3 (97,7)	144,0 (17,7)	246,5 (10,1)
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)	228,0 (18,8)	632,1 (62,3)
4 (sector Santa Clara)	394,0 (10,6)	213,1 (3,1)	299,3 (8,4)	387,0 (2,0)	263,7 (4,1)	542,0 (29,9)
5 (sector Punucapa)	211,0 (31,9)	245,4 (1,1)	178,8 (29,9)	233,0 (7,4)	144,6 (28,6)	190,4 (11,2)
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)	191,2 (4,5)	340,5 (10,0)
7 (río Cayumapu)	165,0 (35,4)	94,4 (19,3)	140,4 (29,6)	123,3 (0,6)	SD	140,8 (1,2)
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)	276,3 (6,5)	378,2 (6,6)

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.2.6 muestra los porcentajes promedios de grava, fango, arena y tamaño de la partícula de arena, 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). Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* de Tukey para evaluar los efectos Año y Sector.

Tabla 4.1.2.6. Variabilidad interanual (2014 - 2018) de los valores porcentuales de grava, fango, arena 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	12,2	14,9	22,0	28,3
abril 2015	6,0	0,0	0,0	0,0	20,2	28,3	31,6	5,3
abril 2016	22,0	0,4	0,0	0,0	1,3	14,0	13,3	10,5
abril 2017	0,5	0,3	0,4	0,0	23,1	36,7	76,0	23,6
abril 2018	1,6	3,8	0,1	0,0	10,9	21,0	31,2	2,4

	arena (%)				tamaño de la arena (µm)			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	56,1	55,8	57,1	55,5	425,0	260,7	281,0	143,0
abril 2015	67,3	69,7	55,8	93,5	313,7	342,3	229,5	176,6
abril 2016	73,9	75,6	58,4	84,5	494,6	280,1	247,6	359,3
abril 2017	94,4	57,9	9,2	70,2	242,7	212,1	191,2	276,3
abril 2018	79,8	71,7	52,9	93,9	303,7	454,8	240,7	378,2

No se observaron diferencias significativas (p<0,05), al comparar los porcentajes de grava y el tamaño de la partícula de arena, entre los factores de estudio (Tabla 4.1.2.7). Sin embargo, los porcentajes de fango fueron significativamente más altos (p<0,05) durante el año 2017 que, durante el año 2016, particularmente en los ríos tributarios.

A su vez, los porcentajes de arena observados fuera del humedal fueron significativamente más altos (p<0,05) que las proporciones observadas en los ríos tributarios

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) y Sector (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). El valor de P en negrilla es significativo (<0,05).

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Grava	Año (A)	4	551,686	137,922	2,537	0,095	
	Sector (S)	3	444,945	148,315	2,728	0,090	
	A × S	12	652,372	54,364			
	Error	19	1649,004	86,790			
Fango	Año (A)	4	2019,923	504,981	4,022	**0,027**	2017 > 2016
	Sector (S)	3	1494,112	498,037	3,967	**0,035**	T > L
	A × S	12	1506,673	125,556			
	Error	19	5020,708	264,248			
Arena	Año (A)	4	1262,258	315,564	1,390	0,295	
	Sector (S)	3	3116,100	1038,700	4,576	**0,023**	F > T
	A × S	12	2723,690	226,974			
	Error	19	7102,048	373,792			
Tamaño partícula de arena	Año (A)	4	41105,297	10276,325	1,470	0,272	
	Sector (S)	3	38938,550	13279,517	1,900	0,183	
	A × S	12	83876,163	6989,680			
	Error	19	164820,010	8674,737			

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.

Agregados biogénicos, materia orgánica y carbono orgánico total

Las Tablas 4.1.2.8 y 4.1.2.9 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 2018.

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**	**2017**	**2018**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)						
1 (sector Ciruelos)	7,6 (1,5)	1,1 (1,2)	12,2 (11,1)	2,8 (3,2)	3,4 (2,0)	4,6 (1,4)
2 (sector Rucaco)	0,5 (0,2)	0,9 (0,9)	0,9 (1,2)	2,9 (1,3)	36,8 (11,1)	11,0 (3,7)
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)	14,9 (5,7)	1,1 (0,9)
4 (sector Santa Clara)	1,9 (0,3)	9,0 (1,7)	0,3 (0,0)	3,8 (2,6)	9,9 (3,1)	1,3 (0,9)
5 (sector Punucapa)	1,6 (0,4)	4,5 (2,4)	5,0 (3,7)	9,2 (4,5)	11,1 (5,3)	8,2 (3,1)
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)	8,3 (2,4)	4,3 (3,9)
7 (río Cayumapu)	36,2 (5,2)	6,6 (4,4)	24,5 (28,4)	54,6 (21,3)	20,7 (5,3)	26,9 (14,7)
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)	6,2 (2,5)	3,7 (3,1)

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

	materia orgánica total (%)					
Estaciones	**2014**		**2015**	**2016**	**2017**	**2018**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**Abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)						
1 (sector Ciruelos)	6,7 (0,2)	2,8 (0,2)	15,6 (0,6)	1,6 (0,3)	2,7 (0,7)	2,4 (0,3)
2 (sector Rucaco)	4,0 (1,1)	10,5 (0,7)	2,0 (0,4)	1,7 (0,1)	29,8 (3,3)	13,7 (0,9)
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)	16,6 (1,1)	2,5 (0,5)
4 (sector Santa Clara)	2,6 (0,1)	6,8 (0,2)	4,9 (0,8)	3,1 (0,3)	3,6 (0,7)	2,3 (1,3)
5 (sector Punucapa)	8,3 (1,2)	4,3 (1,5)	13,8 (0,3)	7,0 (1,2)	9,4 (4,6)	11,6 (1,5)
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)	12,3 (1,0)	2,0 (0,5)
7 (río Cayumapu)	21,1 (2,7)	18,5 (0,2)	33,4 (19,7)	18,4 (0,4)	26,6 (5,3)	26,2 (1,8)
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)	3,4 (0,9)	3,1 (0,1)

Continuación Tabla 4.1.2.9

	carbono orgánico total (%)					
Estaciones	**2014**		**2015**	**2016**	**2017**	**2018**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**Abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)						
1 (sector Ciruelos)	0,3 (0,1)	0,5 (0,0)	0,3 (0,0)	0,3 (0,0)	0,3 (0,0)	2,6 (0,3)
2 (sector Rucaco)	6,4 (0,3)	3,1 (0,4)	0,3 (0,0)	0,9 (0,0)	7,8 (0,0)	2,7 (0,2)
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)	3,6 (0,2)	2,2 (0,0)
4 (sector Santa Clara)	0,4 (0,1)	0,7 (0,0)	0,6 (0,0)	0,2 (0,0)	0,7 (0,0)	4,1 (0,1)
5 (sector Punucapa)	1,2 (0,1)	1,3 (0,1)	2,0 (0,0)	0,3 (0,1)	1,6 (0,0)	3,2 (0,4)
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)	1,1 (0,0)	4,4 (0,3)
7 (río Cayumapu)	4,4 (0,5)	4,7 (0,3)	5,8 (0,1)	6,1 (0,4)	8,5 (0,3)	4,9 (0,2)
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)	0,6 (0,0)	2,1 (0,3)

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.2.10 muestra los porcentajes promedios de agregados biogénicos, materia orgánica 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). Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* de Tukey para evaluar los efectos Año y Sector.

Tabla 4.1.2.10. 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

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 (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 al 2018) y Sector (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).

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
A. biogénicos (**)	Año (A)	4	147,852	36,963	1,058	0,419	
	Sector (S)	3	480,532	160,177	4,586	**0,023**	T > EE = F
	A × S	12	419,128	34,927			
	Error	19	1047,512	55,132			
MOT	Año (A)	4	106,465	26,616	2,218	0,128	
	Sector (S)	3	264,154	88,051	7,337	**0,005**	T > L = EE = F
	A × S	12	144,019	12,002			
	Error	19	514,638	27,086			
COT	Año (A)	4	8,088	2,022	1,897	0,176	
	Sector (S)	3	18,352	6,117	5,740	**0,011**	T > F
	A × S	12	12,788	1,066			
	Error	19	39,228	2,065			

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 2018.

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**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)						
1 (sector Ciruelos)	6,5	6,7	7,0	5,7	7,1	7,2
2 (sector Rucaco)	6,6	6,9	SD	6,0	7,6	7,5
Eje central del río Cruces (área estuarial)						
3 (sector Fuerte San Luis)	6,7	6,9	7,4	6,4	7,0	7,5
4 (sector Santa Clara)	6,2	6,9	7,7	6,3	7,1	7,8
5 (sector Punucapa)	6,7	7,2	7,4	6,3	7,1	7,7
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)						
6 (río Pichoy)	6,1	6,1	7,0	5,6	7,2	7,6
7 (río Cayumapu)	6,2	6,4	6,6	6,1	6,5	6,6
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

Continuación **Tabla 4.1.2.12.**

	POR (mV)					
Estaciones	**2014**		**2015**	**2016**	**2017**	**2018**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)						
1 (sector Ciruelos)	120,1	95,6	201,1	117,0	-33,1	22,9
2 (sector Rucaco)	-17,1	-25,8	SD	177,9	78,9	43,5
Eje central del río Cruces (área estuarial)						
3 (sector Fuerte San Luis)	-119	-131,5	-138,7	-59,7	-37,7	-158,6
4 (sector Santa Clara)	52,8	-94,8	-0,6	207,5	8,2	97,9
5 (sector Punucapa)	-104,4	-84,4	-72,8	34,6	-4,8	38,9
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)						
6 (río Pichoy)	123	234	-67,5	187,3	-22,3	-104,7
7 (río Cayumapu)	-92,8	-27,5	-158	-55,3	-8,1	105,5
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

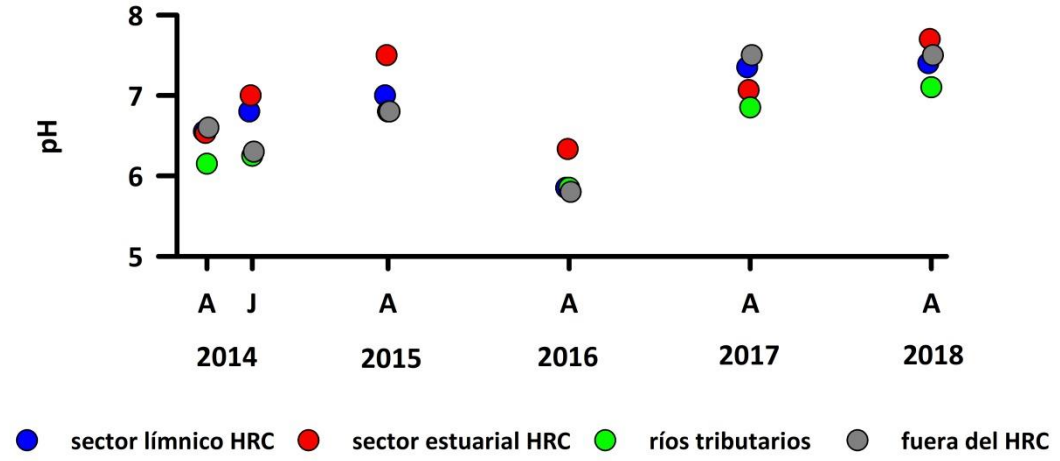


Figura 4.1.2.2. Comparación interanual de los valores de pH en los sedimentos del sector límnico, eje central y estuarial del HRC, ríos tributarios y sector fuera del HRC.

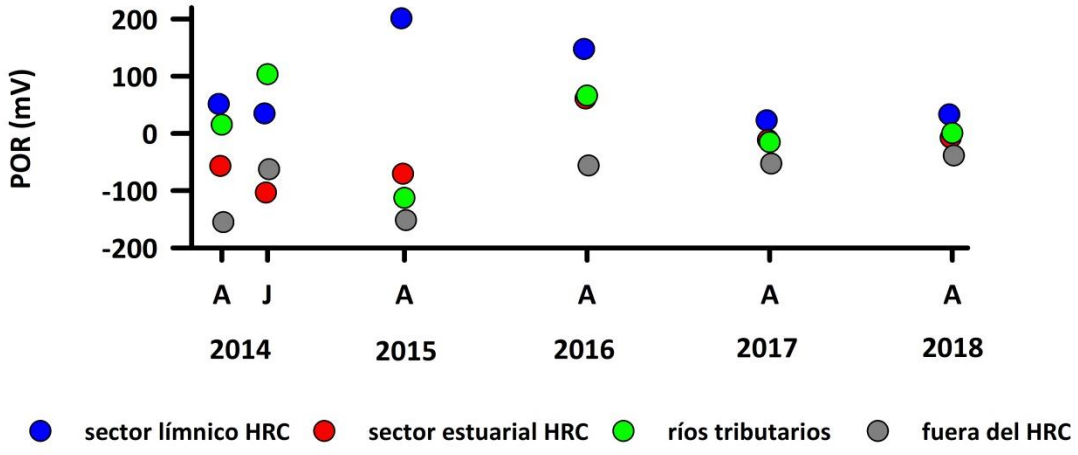


Figura 4.1.2.3. Comparación interanual de los valores de potencial óxido reducción (POR) en los sedimentos del sector límnico, eje central y estuarial del HRC, ríos tributarios y sector fuera del HRC.

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). Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* de Tukey para evaluar los efectos Año y Sector.

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

Los valores de pH detectados durante las campañas de los años 2018, 2017 y 2015 fueron significativamente más altos ($p<0,05$) (Tabla 4.1.2.14) que los encontrados en los años 2014 y 2016. A su vez, los valores de pH detectados en el eje central y estuarial del HRC, fueron significativamente ($p<0,05$) más altos que los detectados en los ríos tributarios (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 el sector límnico, fueron significativamente ($p<0,05$) más altos (*i.e*., valores más positivos lo que indica mayor oxigenación en el agua intersticial) que los registrados fuera del HRC (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) y Sector (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). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05).

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
pH	Año (A)	4	5,620	1,405	33,720	**<0,001**	2018 =2017=2015 >2014>2016
	Sector (S)	3	0,497	0,166	3,980	**0,035**	EE > T
	A × S	12	0,500	0,0417			
	Error	19	6,618	0,348			
POR (**)	Año (A)	4	21658,147	5414,537	1,472	0,271	
	Sector (S)	3	84000,212	28000,071	7,614	**0,004**	L > F
	A × S	12	44126,533	3677,211			
	Error	19	149784,892	7883,415			

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.

Metales pesados

Hierro, Aluminio y Manganeso

Las Tablas 4.1.2.15 a 4.1.2.17 y Figura 4.1.2.4 muestran las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso en los sedimentos de las distintas estaciones de muestreo, durante las campañas realizadas entre los años 2014 y 2018.

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**	**2017**	**2018**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)						
1 (sector Ciruelos)	14.918 (192)	23.611 (1.806)	16.849 (1.644)	18.007 (360)	15.644 (1.746)	12.683 (357)
2 (sector Rucaco)	53.572 (24)	34.407 (30)	21.398 (157)	22.963 (1.137)	49.110 (869)	28.680 (1.225)
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)	51.137 (903)	17.023 (936)
4 (sector Santa Clara)	19.820 (33)	23.244 (90)	25.459 (132)	21.617 (985)	26.635 (175)	16.945 (365)
5 (sector Punucapa)	45.951 (162)	63.019 (238)	64.434 (1.503)	26.808 (1.319)	69.926 (654)	58.995 (5.676)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)						
6 (río Pichoy)	20.827 (541)	21.885 (2.361)	42.748 (564)	15.019 (472)	47.732 (315)	14.595 (643)
7 (río Cayumapu)	54.906 (1.636)	61.560 (86)	54.652 (1.856)	60.495 (3.428)	58.692 (135)	45.114 (677)
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)	32.700 (397)	25.961 (455)

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**	**2017**	**2018**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)						
1 (sector Ciruelos)	16.466 (468)	20.451 (310)	17.877 (1.179)	39.453 (5.109)	17.757 (590)	18.582 (1.940)
2 (sector Rucaco)	58.252 (1.442)	32.807 (202)	21.389 (440)	36.667 (843)	44.408 (284)	35.502 (1.075)
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)	50.758 (809)	14.259 (903)
4 (sector Santa Clara)	23.202 (247)	23.973 (323)	40.491 (398)	37.254 (5.127)	23.003 (1.368)	14.555 (75)
5 (sector Punucapa)	63.232 (700)	68.053 (612)	80.645 (5.458)	34.484 (862)	68.445 (2.013)	76.327 (7.777)
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)	54.554 (1.569)	11.010 (83)
7 (río Cayumapu)	70.048 (1.244)	88.420 (3.149)	49.593 (3.560)	65.412 (1.568)	65.603 (4.372)	45.738 (1.409)
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)	25.142 (1.176)	23.876 (1.043)

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**	**2017**	**2018**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)						
1 (sector Ciruelos)	215 (13)	358 (3)	225 (1)	251 (10)	151 (14)	266 (7)
2 (sector Rucaco)	1.902 (21)	579 (5)	362 (10)	370 (14)	1.734 (10)	881 (15)
Eje central del río Cruces (área estuarial)						
3 (sector Fuerte San Luis)	1.230 (92)	838 (25)	851 (15)	914 (36)	799 (27)	263 (16)
4 (sector Santa Clara)	453 (11)	443 (17)	541 (2)	539 (17)	503 (2)	451 (66)
5 (sector Punucapa)	744 (8)	1.100 (4)	1.057 (5)	497 (15)	567 (13)	1.063 (63)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)						
6 (río Pichoy)	519 (46)	554 (12)	486 (0)	343 (14)	673 (6)	351 (10)
7 (río Cayumapu)	1.080 (37)	1.091 (29)	1.271 (5)	1.004 (37)	551 (25)	993 (48)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)						
8 (río Calle Calle)	236 (2)	261 (6)	240 (3)	186 (10)	315 (4)	224 (3)

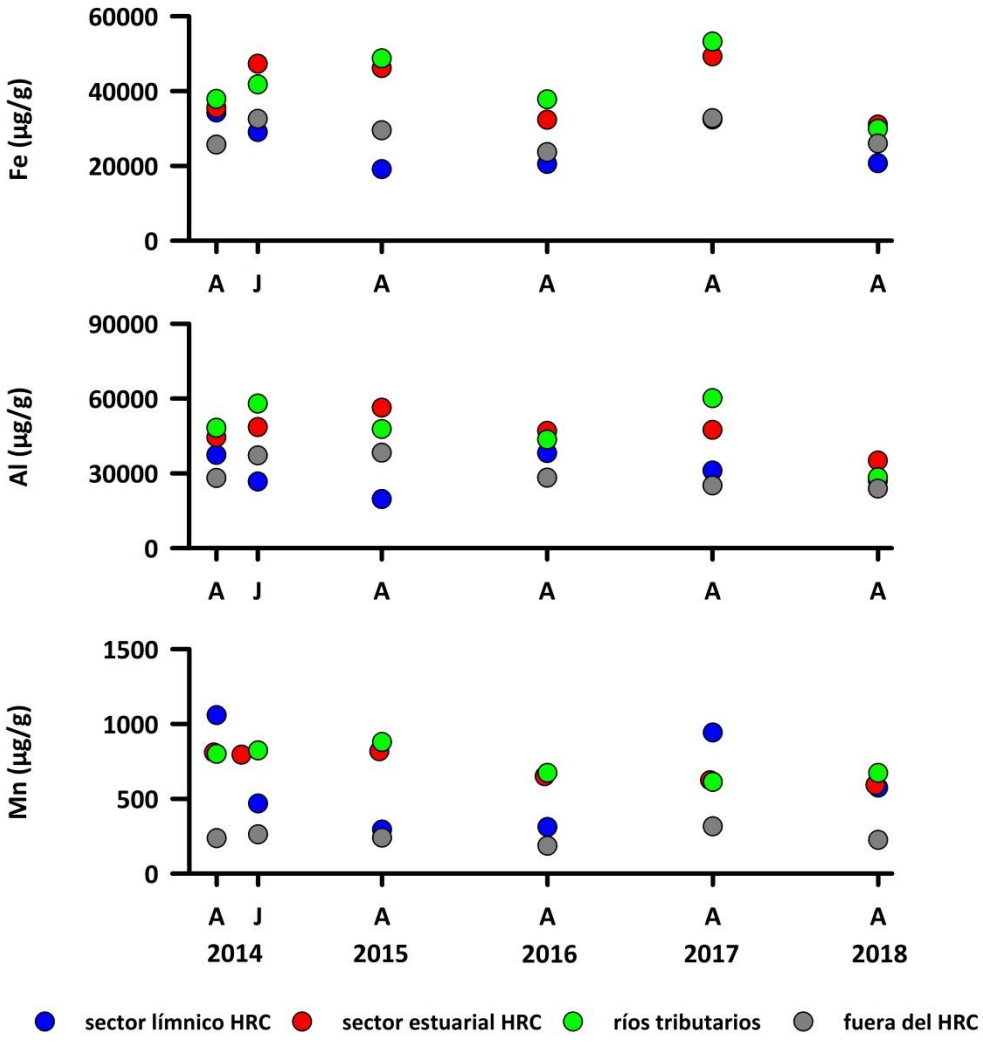


Figura 4.1.2.4. Comparación interanual de la concentración de Hierro, Aluminio y Manganeso en los sedimentos del sector límnico y estuarial del HRC, ríos tributarios del mismo y sector fuera del HRC.

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 del río Cruces (L), eje central y estuarial del río Cruces (EE), ríos tributarios del humedal del río Cruces (T) y fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (F). Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* de Tukey para evaluar los efectos Año y Sector.

Tabla 4.1.2.18. Variabilidad interanual (entre los años 2014 al 2018) de las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso en los sedimentos del área de estudio: L = sector límnico del río Cruces; EE = eje central y estuarial 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)				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

Las concentraciones de Hierro detectadas durante los años 2014, 2015 y 2017, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las registradas durante los años 2016 y 2018, siendo significativamente más altas ($p<0,05$) en los ríos tributarios y eje central y estuarial del HRC (Tabla 4.1.2.19).

El Aluminio y el manganeso no presentaron diferencias significativas ($p>0,05$) entre años, pero si entre sectores, donde las concentraciones de estos metales fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en los ríos tributarios y eje central y estuarial del HRC (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) y Sector (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).

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Fe	Año (A)	4	576189801,4	144047450,4	5,458	**0,010**	2014=2015=2017>2016=2018
	Sector (S)	3	969320783,8	323106927,9	12,243	**<0,001**	T = EE > L = F
	A × S	12	316686671,5	26390555,9			
	Error	19	1862197256,9	98010381,9			
Al	Año (A)	4	427458010,3	106864502,6	1,859	0,183	
	Sector (S)	3	1311549041,2	437183013,7	7,606	**0,004**	T = EE > L = F
	A × S	12	689786275,3	57482189,6			
	Error	19	2428793326,8	127831227,7			
Mn	Año (A)	4	173534,3	43383,6	1,217	0,354	
	Sector (S)	3	770648,4	256882,8	7,204	**0,005**	T = EE = L > F
	A × S	12	427898,1	35658,2			
	Error	19	1372080,8	72214,8			

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

Cobre, Zinc y Plomo

Las Tablas 4.1.2.20 a 4.1.2.22 y Figura 4.1.2.5 muestran las concentraciones de Cobre, Zinc y Plomo en los sedimentos provenientes de las distintas estaciones de muestreo, durante las campañas realizadas entre los años 2014 y 2018.

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**	**2017**	**2018**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)						
1 (sector Ciruelos)	11,6 (0,1)	18,5 (1,6)	15,1 (0,6)	20,9 (1,5)	10,7 (0,3)	14,9 (0,0)
2 (sector Rucaco)	53,0 (1,7)	33,8 (1,3)	16,4 (0,7)	18,5 (2,0)	38,8 (0,2)	39,3 (4,0)
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)	53,3 (4,2)	14,7 (1,1)
4 (sector Santa Clara)	11,5 (0,2)	14,8 (0,1)	16,9 (0,3)	13,5 (1,2)	16,2 (0,3)	14,0 (0,3)
5 (sector Punucapa)	43,1 (0,3)	60,5 (1,0)	63,8 (1,6)	13,6 (0,6)	63,7 (1,8)	81,1 (8,1)
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)	35,5 (2,1)	12,9 (1,4)
7 (río Cayumapu)	46,5 (0,3)	48,8 (0,1)	47,9 (0,1)	46,3 (0,8)	53,4 (0,6)	51,6 (0,9)
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)	23,0 (1,0)	29,1 (0,1)

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**	**2017**	**2018**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)						
1 (sector Ciruelos)	22,6 (0,4)	33,0 (1,8)	23,5 (0,1)	31,4 (2,4)	19,9 (1,5)	28,8 (0,2)
2 (sector Rucaco)	112,4 (8,1)	68,8 (0,8)	36,2 (0,4)	39,7 (2,3)	75,8 (1,8)	69,8 (4,9)
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)	81,5 (9,5)	38,3 (0,8)
4 (sector Santa Clara)	34,8 (0,3)	34,2 (0,2)	42,0 (0,1)	33,7 (0,9)	37,3 (1,9)	35,9 (0,1)
5 (sector Punucapa)	56,3 (0,8)	64,5 (1,3)	66,3 (1,8)	31,5 (0,1)	59,5 (2,7)	72,5 (5,7)
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)	52,9 (4,9)	21,0 (2,9)
7 (río Cayumapu)	91,4 (0,8)	89,7 (0,2)	88,9 (0,1)	83,1 (2,5)	108,9 (1,2)	88,1 (0,1)
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)	54,9 (4,8)	62,6 (0,7)

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**	**2017**	**2018**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)						
1 (sector Ciruelos)	*	*	*	4,6 (0,2)	*	*
2 (sector Rucaco)	11,2 (0,3)	6,0 (0,2)	*	4,7 (0,5)	6,5 (0,8)	*
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)	7,9 (0,4)	*
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)	10,9 (0,4)	12,5 (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)	10,0 (0,5)	*
7 (río Cayumapu)	13,4 (0,2)	13,7 (0,2)	12,2 (0,4)	11,1 (1,3)	8,5 (0,3)	*
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)	*	*

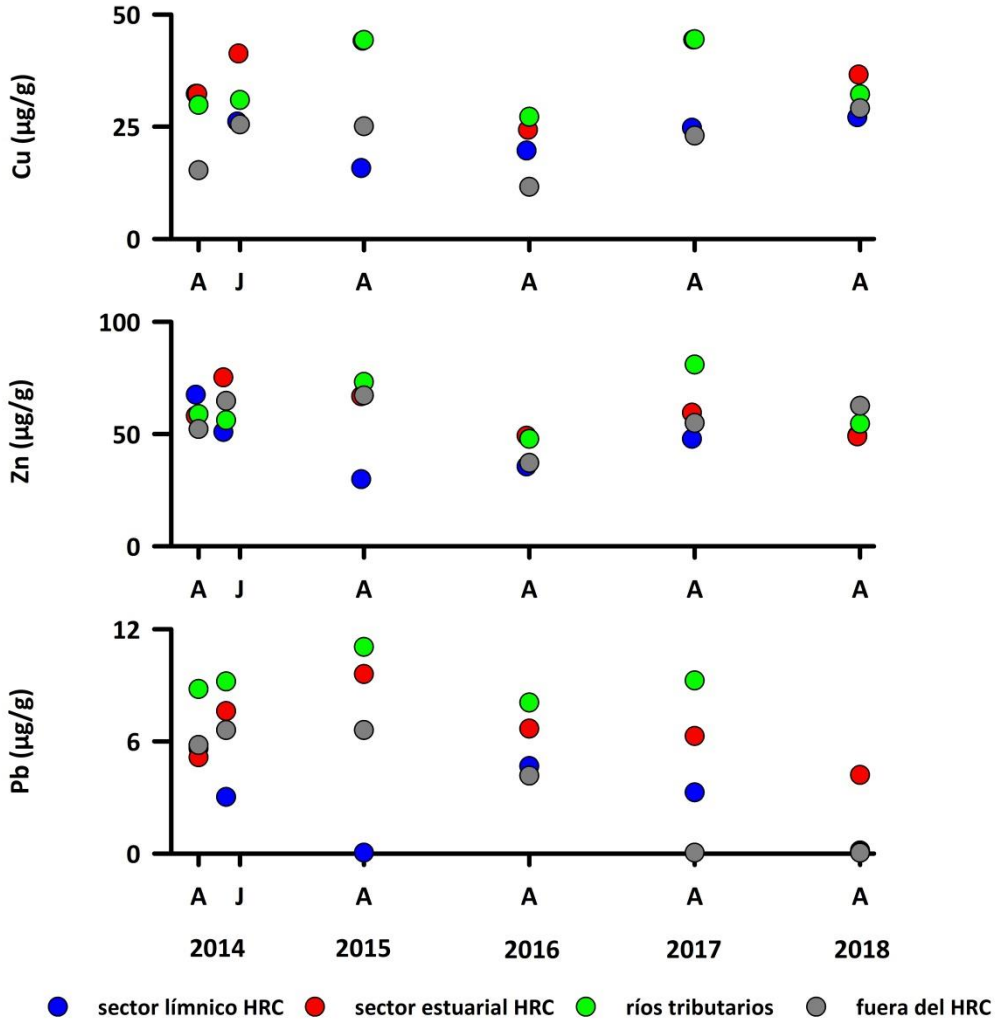


Figura 4.1.2.5. Comparación interanual de la concentración de Cobre, Zinc y Plomo en los sedimentos del sector límnico y estuarial del HRC, ríos tributarios del mismo y sector fuera del HRC.

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 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). Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* de Tukey para evaluar los efectos Año y Sector.

Tabla 4.1.2.23. Variabilidad interanual (2014-2018) de las concentraciones de Cobre, Zinc y Plomo 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.

	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

Los resultados de los análisis de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey, no mostraron diferencias significativas ($p<0,05$) al comparar las concentraciones de Cobre entre los años de estudio, pero si entre sectores, donde estas fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en el eje central y estuarial del HRC y en los ríos tributarios del mismo.

La concentración de Zinc en los sedimentos no presentó diferencias significativas ($p<0,05$) entre años y sectores (Tabla 4.1.2.24).

Las concentraciones de Plomo fueron significativamente ($p<0,05$) más bajas durante el año 2018, particularmente en el sector límnico (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) y Sector (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).

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Cu	Año (A)	4	456,117	114,029	2,900	0,068	
	Sector (S)	3	959,432	316,811	8,057	**0,003**	EE = T > L = F
	A × S	12	471,883	39,324			
	Error	19	1878,432	98,865			
Zn	Año (A)	4	916,377	229,094	1,915	0,173	
	Sector (S)	3	740,605	246,868	2,064	0,159	
	A × S	12	1435,427	119,619			
	Error	19	3092,410	162,758			
Pb (**)	Año (A)	3	84,715	21,179	3,652	**0,036**	2014=2015=2016=2017>2018
	Sector (S)	3	79,088	26,363	4,545	**0,024**	L < T
	A × S	9	69,597	5,800			
	Error	24	233,400	12,284			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar. (*) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA.

.

Cadmio, Arsénico y Mercurio

Las Tablas 4.1.2.25 a 4.1.2.27 y Figura 4.1.2.6 muestran las concentraciones de Arsénico y Mercurio en los sedimentos provenientes de las distintas estaciones de muestreo, durante las campañas realizadas entre los años 2014 y 2018. Hasta el momento 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**
	abril	**julio**	**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**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)						
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)
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)
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)
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 (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)
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)
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)
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)

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**	**2017**	**2018**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)						
1 (sector Ciruelos)	0,008 (0,001)	0,008 (0,000)	*	0,016 (0,001)	0,009 (0,000)	0,018 (0,002)
2 (sector Rucaco)	0,08 (0,008)	0,01 (0,002)	0,04 (0,010)	0,012 (0,001)	0,064 (0,002)	0,047 (0,000)
Eje central del río Cruces (área estuarial)						
3 (sector Fuerte San Luis)	0,04 (0,001)	0,06 (0,000)	0,05 (0,001)	0,061 (0,001)	0,067 (0,000)	0,006 (0,000)
4 (sector Santa Clara)	0,008 (0,001)	0,08 (0,003)	*	0,009 (0,001)	0,021 (0,000)	0,009 (0,000)
5 (sector Punucapa)	0,04 (0,003)	0,04 (0,001)	*	0,015 (0,001)	0,065 (0,000)	0,057 (0,011)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)						
6 (río Pichoy)	0,01 (0,001)	0,002 (0,000)	0,04 (0,004)	0,008 (0,001)	0,044 (0,000)	0,010 (0,001)
7 (río Cayumapu)	0,07 (0,001)	0,07 (0,000)	0,06 (0,004)	0,086 (0,001)	0,102 (0,0004)	0,089 (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)	0,014 (0,002)	0,019 (0,001)	0,036 (0,003)

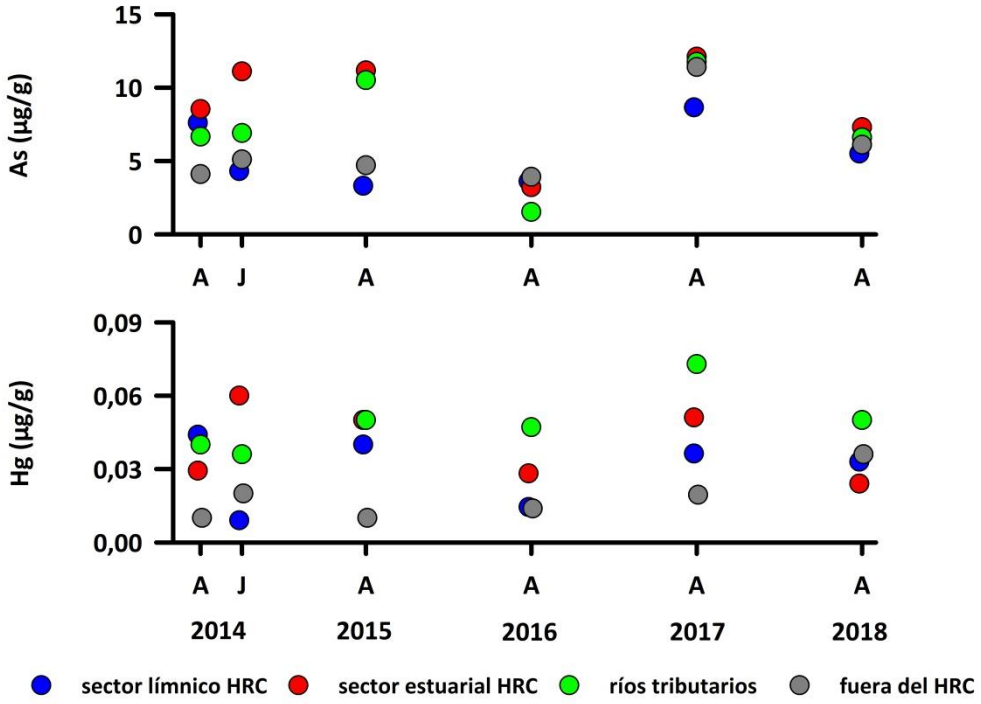


Figura 4.1.2.6. Comparación interanual de la concentración Arsénico y Mercurio en los sedimentos del sector límnico y estuarial del HRC, ríos tributarios del mismo y sector fuera del HRC.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.2.28 muestra el promedio de las concentraciones de Arsénico y Mercurio contenidas en las muestras de sedimento recolectadas en el área de estudio y agrupadas 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). Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* de Tukey para evaluar los efectos Año y Sector.

Tabla 4.1.2.28. Variabilidad interanual (entre los años 2014 y 2018) de las concentraciones de Arsénico y Mercurio 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.

	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

Los resultados del ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey, evidenciaron que las concentraciones de Arsénico presentaron diferencias significativas ($p<0,05$) entre años: aquellas detectadas los años 2018 y 2016 fueron significativamente más bajas que las registradas durante los años 2014 y 2017 (Tabla 4.1.2.29). Por otra parte, no se detectaron diferencias significativas ($p>0,05$) interanuales en las concentraciones de mercurio, sin embargo, estas presentaron diferencias entre sectores, donde las concentraciones de Mercurio fueron significativamente más altas en los sedimentos de los ríos tributarios (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) y Sector (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). El valor de P en negrilla es significativo (<0,05) para la prueba realizada.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
As	Año (A)	4	128,853	32,213	8,136	**0,002**	2014 =2017 > 2016 =2018
	Sector (S)	3	23,942	7,981	2,016	0,166	
	A × S	12	47,511	3,959			
	Error	19	200,305	10,542			
Hg	Año (A)	4	0,000822	0,000205	1,664	0,222	
	Sector (S)	3	0,00295	0,000982	7,956	**0,003**	T > F
	A × S	12	0,00148	0,000123			
	Error	19	0,00525	0,000276			

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

Ácidos grasos y Ácidos resínicos

Las Tablas 4.1.2.30 y 4.1.2.31 y Figura 4.1.2.7 muestran los resultados de los análisis tendientes a evaluar las concentraciones de Ácidos grasos y Ácidos resínicos contenidos en los sedimentos del área de estudio durante las campañas realizadas entre los años 2014 y 2018.

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**	**2017**	**2018**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**Abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)						
1 (sector Ciruelos)	52,0 (5,0)	2,0 (0,0)	4,9 (0,5)	0,6 (0,0)	0,9 (0,0)	0,3 (0,0)
2 (sector Rucaco)	533,0 (28,0)	11,0 (1,0)	6,1 (1,5)	1,5 (0,4)	1,0 (0,1)	4,4 (0,1)
Eje central del río Cruces (área estuarial)						
3 (sector Fuerte San Luis)	101,0 (10,0)	25,0 (3,0)	12,7 (0,6)	5,2 (0,3)	5,2 (1,0)	0,4 (0,1)
4 (sector Santa Clara)	276,0 (36,0)	14,0 (3,0)	7,6 (0,1)	1,1 (0,0)	2,9 (0,2)	0,6 (0,0)
5 (sector Punucapa)	313,0 (56,0)	6,0 (1,0)	8,5 (1,6)	1,2 (0,3)	1,9 (0,2)	4,9 (0,1)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)						
6 (río Pichoy)	216,0 (28,0)	1,0 (0,0)	6,8 (2,1)	0,8 (0,4)	1,8 (0,6)	3,4 (0,9)
7 (río Cayumapu)	347,0 (10,0)	16,0 (3,0)	64,5 (0,4)	26,0 (3,3)	22,3 (0,7)	16,3 (0,6)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)						
8 (río Calle Calle)	475,0 (58,0)	8,0 (2,0)	32,4 (2,1)	1,4 (0,3)	1,2 (0,2)	4,2 (0,9)

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**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)						
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)	*	*	*	*	*	*

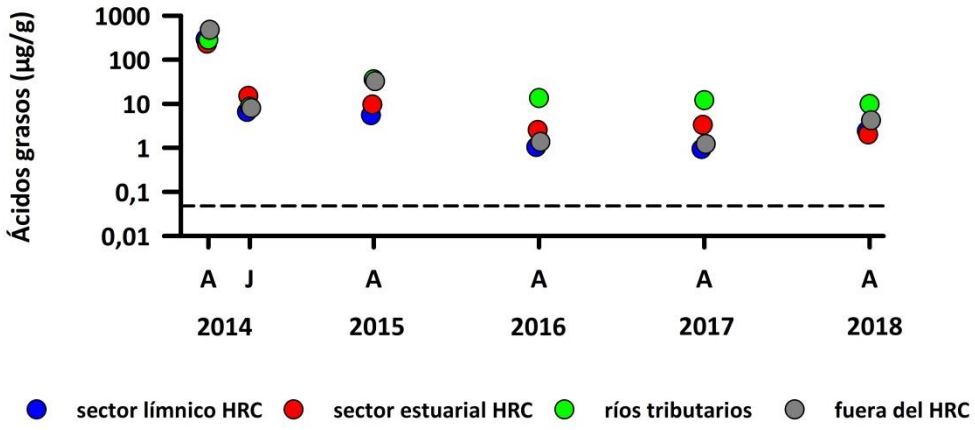


Figura 4.1.2.7. Comparación interanual de la concentración de Ácidos grasos en los sedimentos del sector límnico y estuarial del HRC, ríos tributarios del mismo y sector fuera del HRC. La línea punteada hace referencia al límite de detección del método utilizado para ácidos grasos.

AOX y EOX

Las Tablas 4.1.2.32 y 4.1.2.33 y Figura 4.1.2.8 muestran las concentraciones de AOX y EOX contenidos en los sedimentos del área de estudio, durante las campañas realizadas entre los años 2014 y 2018.

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

	AOX (µg/g)					
estaciones	**2014**		**2015**	**2016**	**2017**	**2018**
	abril	**julio**	**abril**	**Abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)						
1 (sector Ciruelos)	17,4 (0,8)	22,9 (3,2)	23,6 (3,8)	25,1 (5,8)	16,9 (0,3)	20,6 (2,3)
2 (sector Rucaco)	174,9 (16,0)	61,9 (0,6)	35,8 (6,1)	33,7 (6,8)	105,3 (7,0)	63,0 (5,3)
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)	52,8 (3,2)	43,4 (2,8)
4 (sector Santa Clara)	33,1 (1,9)	24,2 (0,1)	35,7 (3,3)	25,1 (4,9)	22,6 (2,6)	29,3 (0,3)
5 (sector Punucapa)	25,1 (1,7)	24,4 (2,7)	60,4 (0,6)	26,0 (3,2)	27,6 (1,6)	28,2 (2,6)
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)	14,6 (0,6)	22,5 (3,3)
7 (río Cayumapu)	67,0 (5,9)	59,2 (2,6)	121,5 (0,1)	87,7 (4,6)	88,6 (1,1)	66,6 (5,6)
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)	47,9 (0,6)	63,8 (0,5)

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**
	abril	**julio**	**abril**	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)						
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)	*	*	*	*	*	*

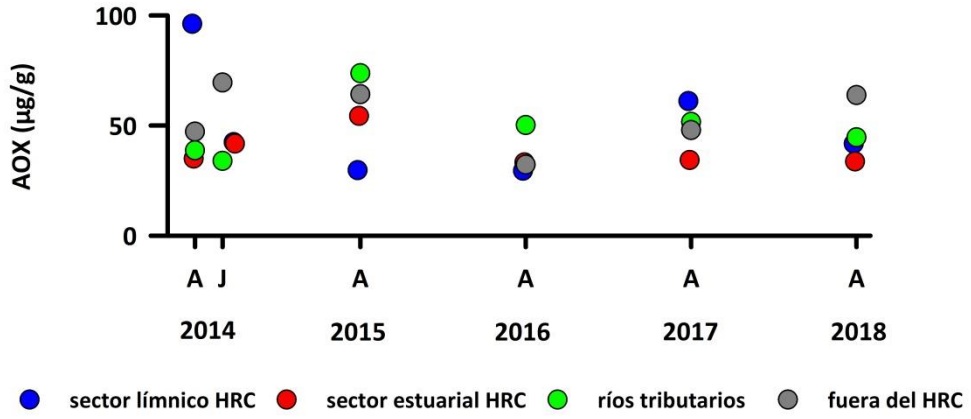


Figura 4.1.2.8. Comparación interanual de las concentraciones de AOX en los sedimentos del sector límnico y estuarial del HRC, ríos tributarios del mismo y sector fuera del HRC.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.2.34 muestra las concentraciones de Ácidos grasos y AOX en los sedimentos provenientes del área de estudio 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). Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* de Tukey para evaluar los efectos Año y Sector.

Tabla 4.1.2.34. Variabilidad interanual (entre los años 2014 y 2018) de las concentraciones de Ácidos grasos y compuestos Halogenados Adsorbibles (AOX) en los sedimentos provenientes 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.

	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

Los resultados de los análisis de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey, indican que sólo se detectaron diferencias significativas al comparar las concentraciones de Ácidos grasos entre años; estas fueron significativamente ($p<0,05$) más altas durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (Tabla 4.1.2.35).

Por otra parte, los análisis estadísticos realizados para comparar las concentraciones de AOX en los sedimentos, no mostraron diferencias significativas ($p>0,05$), ni entre años o sectores (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) y Sector (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). El valor de P en negrilla es significativo (<0,05) para la prueba realizada.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Ác. Grasos (**)	Año (A)	4	310639,578	77659,894	34,056	**<0,001**	2014>2015=2016=2017=2018
	Sector (S)	3	7940,606	2646,869	1,161	0,365	
	A × S	12	27364,042	2280,337			
	Error	19	345944,226	18207,591			
AOX	Año (A)	4	951,613	237,903	0,723	0,593	
	Sector (S)	3	673,412	224,471	0,682	0,580	
	A × S	12	3951,223	329,269			
	Error	19	5576,248	293,487			

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.

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.

Hasta la última campaña realizada durante abril del año 2018, no se ha detectado la Dioxina TCDD 2,3,7,8 en los sedimentos de ninguna de las estaciones muestreadas. Sin embargo, durante esa campaña si se detectó la Dioxina 1,2,3,7,8-PeCDD, en los sedimentos provenientes de los ríos Pichoy y Cayumapu.

Las Tablas 4.1.2.36 a 4.1.2.38 y Figura 4.1.2.9 muestran los resultados de los análisis de Dioxinas, Furanos y su expresión en Equivalentes Tóxicos contenidos en los sedimentos del área de estudio.

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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	0,003 (0,002)	0,002 (0,002)
2 (sector Rucaco)	0,081 (0,006)	0,019 (0,000)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,197 (0,016)	0,125 (0,007)
4 (sector Santa Clara)	0,004 (0,001)	0,011 (0,001)
5 (sector Punucapa)	0,026 (0,001)	0,014 (0,001)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	0,006 (0,001)	0,003 (0,001)
7 (río Cayumapu)	0,077 (0,001)	0,016 (0,001)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	0,002 (0,002)	0,012 (0,001)

Continuación **Tabla 4.1.2.36.**

	Dioxinas (ng/g)			
Estaciones	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**
	abril	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)				
1 (sector Ciruelos)	0,012 (0,015)	0,004 (0,000)	0,003 (0,000)	0,016 (0,017)
2 (sector Rucaco)	0,004 (0,001)	0,008 (0,000)	0,001 (0,000)	0,016 (0,019)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,181 (0,009)	0,397 (0,049)	0,490 (0,035)	0,002 (0,001)
4 (sector Santa Clara)	0,004 (0,001)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	0,004 (0,000)
5 (sector Punucapa)	0,010 (0,001)	0,002 (0,000)	0,019 (0,000)	0,044 (0,024)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,008 (0,000)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)	0,029 (0,002)
7 (río Cayumapu)	0,004 (0,000)	0,083 (0,004)	0,107 (0,010)	0,125 (0,001)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,013 (0,002)	0,003 (0,001)	0,008 (0,005)	0,020 (0,001)

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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	0,0003 (0,0001)	0,0003 (0,0002)
2 (sector Rucaco)	0,0079 (0,0007)	0,0019 (0,0004)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,0170 (0,0003)	0,0103 (0,0002)
4 (sector Santa Clara)	0,0006 (0,0002)	0,0007 (0,0000)
5 (sector Punucapa)	0,0004 (0,0000)	0,0004 (0,0000)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	0,0004 (0,0001)	0,0001 (0,0001)
7 (río Cayumapu)	0,0025 (0,0004)	0,0011 (0,0000)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	0,0002 (0,0002)	0,0005 (0,0000)

Continuación **Tabla 4.1.2.37.**

	Furanos (ng/g)			
Estaciones	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**
	abril	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)				
1 (sector Ciruelos)	0,0014 (0,0006)	0,0003 (0,0001)	0,0002 (0,0000)	0,0004 (0,0004)
2 (sector Rucaco)	0,0009 (0,0001)	0,0006 (0,0001)	0,0009 (0,0000)	0,0012 (0,0017)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,0150 (0,0004)	0,0246 (0,0033)	0,0246 (0,0022)	0,0009 (0,0009)
4 (sector Santa Clara)	0,0004 (0,0000)	0,0001 (0,0001)	0,0000 (0,0000)	0,0006 (0,0001)
5 (sector Punucapa)	0,0003 (0,0000)	0,0002 (0,0002)	0,0007 (0,0001)	0,0009 (0,0004)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,0009 (0,0000)	0,0002 (0,0003)	0,0000 (0,0000)	0,0006 (0,0000)
7 (río Cayumapu)	0,0018 (0,0020)	0,0066 (0,0003)	0,0023 (0,0007)	0,0105 (0,0009)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,0007 (0,0001)	0,0006 (0,0006)	0,00054 (0,00021)	0,0010 (0,0000)

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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	0,00002 (0,00000)	0,00006 (0,00008)
2 (sector Rucaco)	0,00119 (0,00107)	0,00016 (0,00008)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	0,00087 (0,00009)	0,00051 (0,00002)
4 (sector Santa Clara)	0,00002 (0,00000)	0,00031 (0,00035)
5 (sector Punucapa)	0,00011 (0,00011)	0,00004 (0,00000)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	0,00003 (0,00002)	0,00000 (0,00000)
7 (río Cayumapu)	0,00048 (0,00003)	0,00017 (0,00008)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	0,00001 (0,00001)	0,00002 (0,00000)

Continuacion **Tabla 4.1.2.38.**

	EQTs (ng/g)			
Estaciones	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**
	abril	**abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)				
1 (sector Ciruelos)	0,00007 (0,00004)	0,00001 (0,00000)	0,00002 (0,00000)	0,00010 (0,00014)
2 (sector Rucaco)	0,00002 (0,00000)	0,00001 (0,00000)	0,00000 (0,00000)	0,00006 (0,00008)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,00047 (0,00005)	0,00096 (0,00005)	0,00081 (0,00002)	0,00005 (0,00005)
4 (sector Santa Clara)	0,00001 (0,00000)	0,00000 (0,00000)	0,00000 (0,00000)	0,00001 (0,00000)
5 (sector Punucapa)	0,00004 (0,00000)	0,00000 (0,00000)	0,00016 (0,00003)	0,00025 (0,00008)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,00005 (0,00000)	0,00001 (0,00002)	0,00000 (0,00000)	0,00028 (0,00002)
7 (río Cayumapu)	0,00002 (0,00001)	0,00050 (0,00008)	0,00031 (0,00000)	0,00055 (0,00012)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,00002 (0,00000)	0,00008 (0,00010)	0,00004 (0,00002)	0,00006 (0,00002)

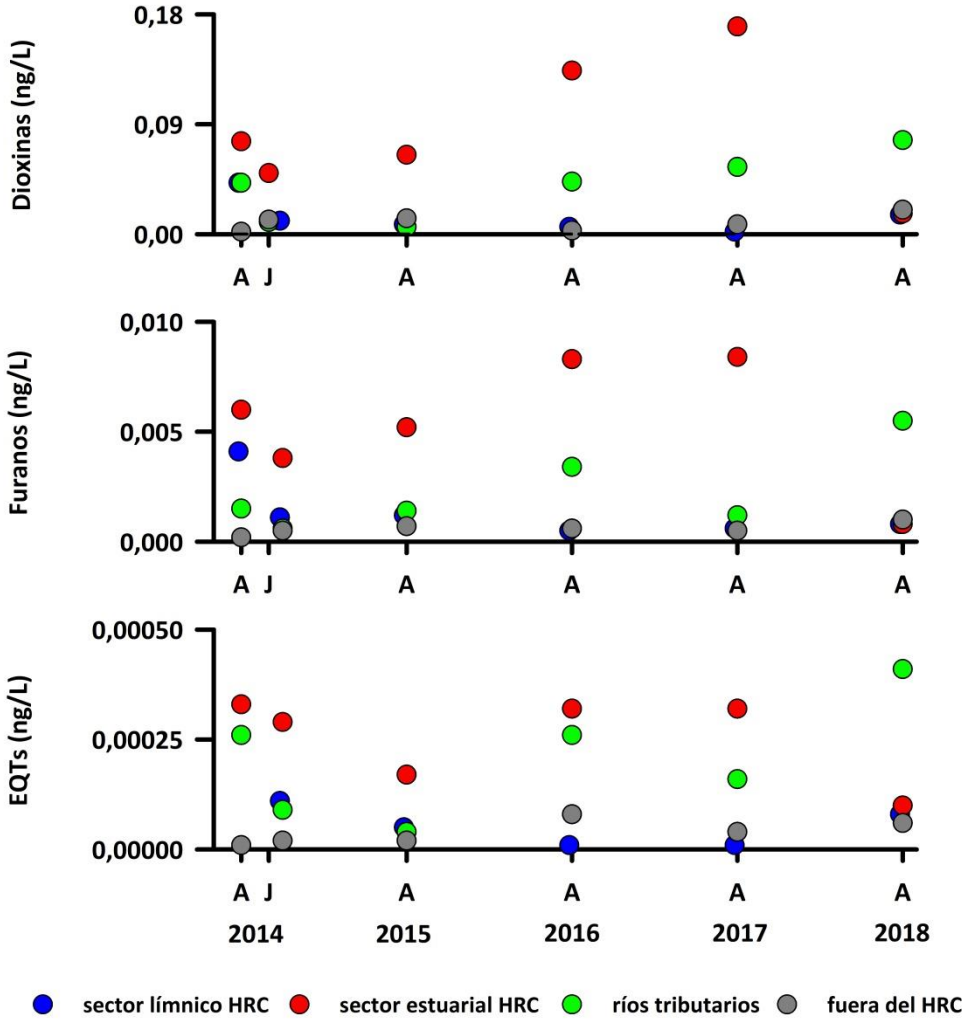


Figura 4.1.2.9. Comparación interanual de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos en los sedimentos del sector límnico y estuarial del HRC, ríos tributarios del mismo y sector fuera del HRC.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.2.39 muestra las concentraciones de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos en los sedimentos provenientes del área de estudio 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). Con esos valores promedio, se realizaron los análisis de ANDEVA Factorial con test *a posteriori* de Tukey para evaluar los efectos Año y Sector.

Tabla 4.1.2.39. Variabilidad interanual (entre los años 2014 y 2018) de Dioxinas, Furanos y EQT 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.

	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	0,008	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

Durante el último año de Monitoreo, los sedimentos del sector estuarial del humedal del río Cruces, presentaron una considerable baja en las concentraciones de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos en comparación con años anteriores. Por el contrario, las concentraciones detectadas en los ríos tributarios presentaron un alza (Fig. 4.1.2.9). Por otra parte, los sedimentos del sector ubicado fuera del HRC (río calle Calle) mantuvieron la tendencia, presentando las concentraciones más bajas de estos compuestos.

De acuerdo con lo anterior, los resultados de los análisis de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey, mostraron diferencias significativas ($p>0,05$) al comparar las concentraciones de Dioxinas y Furanos entre sectores, siendo estas, más altas en el eje central y estuarial y los ríos tributarios del HRC. Por el contrario, no se detectaron diferencias interanuales en las concentraciones de estos compuestos (Tabla 4.1.2.40). A su vez los EQTs no presentaron diferencias significativas ($p<0,05$) entre los factores analizados (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 provenientes del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016-2017) y Sector (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).

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Dioxinas	Año (A)	4	0,00296	0,000739	0,575	0,686	
	Sector (S)	3	0,0218	0,00725	5,646	**0,012**	EE = T > L = F
	A × S	12	0,0154	0,00128			
	Error	19	0,0401	0,00211			
Furanos	Año (A)	4	0,00000418	0,00000104	0,219	0,923	
	Sector (S)	3	0,0000760	0,0000253	5,303	**0,015**	EE = T > L = F
	A × S	12	0,0000573	0,00000478			
	Error	19	0,000138	0,00000724			
EQT	Año (A)	4	0,000000116	0,0000000290	1,273	0,334	
	Sector (S)	3	0,000000129	0,0000000432	1,895	0,184	
	A × S	12	0,000000273	0,0000000273			
	Error	19	0,000000519				

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

4.1.2.4. Análisis comparativos en relación con calidad de sedimentos

Debido a la inexistencia de normativas de calidad ambiental para sedimentos en Chile, los resultados de este Programa de Monitoreo Ambiental se comparan con datos tomados de la literatura especializada y con los resultados del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC obtenidos durante el año 2014. Adicionalmente, se utilizan en esta sección los valores de concentraciones de metales pesados y compuestos orgánicos (Ácidos grasos y resínicos, AOX, EOX, Dioxinas y Furanos) obtenidos desde las muestras de sedimentos de un testigo, obtenido durante noviembre de 2014 (Estudio Hidrografía, Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC), cuyos 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

Muchos de los compuestos y elementos que ingresan a un cuerpo de agua continental son retenidos en los sedimentos que se depositan en el fondo del cauce. Estos depósitos son de gran valor científico para el estudio de estos ecosistemas, debido a que en ellos se conserva un registro histórico del aporte, tipo y abundancia de cualquier sustancia, sea de origen natural y/o antropogénico. 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. Estos compuestos y elementos acumulados en los sedimentos pueden posteriormente actuar como fuentes de compuestos tóxicos hacia los ecosistemas, dependiendo de la tasa de depositación y degradación, además del pH y potencial Redox presente, entre otros factores (Acosta *et al.*, 2002).

Los sedimentos de los estuarios y ríos 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 y sus elementos asociados.

Durante el desarrollo de este Programa de Monitoreo Ambiental, los metales pesados en los sedimentos presentaron el siguiente patrón en términos de concentración: Aluminio > Hierro > Manganeso > Zinc > Cobre > Plomo > Arsénico > Mercurio > Cadmio. El hecho de que 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 ii) “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 elementos menos abundantes de los sedimentos del área de estudio. Estos cuatro elementos son considerados los de mayor preocupación debido a su alta toxicidad, persistencia, bioacumulación en la biota y biomagnificación 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 estudio, 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 de todas las estaciones evaluadas durante el 2017 en el HRC presentan concentraciones (rango 3,6 a 16,7 ug/g) que son mayores en un 178% que el valor máximo informado en las referencias, evidenciando un enriquecimiento de este elemento para los sedimentos evaluados durante el año 2018.

Los efectos adversos producidos por sedimentos contaminados sobre los organismos acuáticos pueden ser evaluados, a modo de referencia, mediante la Guía de Calidad de Sedimentos de Canadá (SQG) basada en los estudios de Long & Mac Donald (1998) y MacDonald *et al.* (2000). La SQG establece valores de referencia denominados efecto 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; los que, 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 de eje estuarial (EE) y ríos tributarios (T) y las concentraciones de Arsénico está dentro de los niveles que generarían efectos biológicos adversos en todas las zonas de estudio. 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 son distintos a los del área estudiada en este Programa de Monitoreo del río Cruces.

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 2017. 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 2017				criterios de calidad de los sedimentos (Long et al., 1995)		rango		referencias
			L	EE	T	F	ERL	ERM	Min	Max	
	pH		7,3	7,1	6,9	7,5					
	P. Rédox	mV	22,9	-11,4	-15,2	-53,0					
	MOT	%	16,3	9,9	19,4	3,4					
	COT	%	4,1	2,0	4,8	0,6	-	-	0,1	5,4	Nassm Malik *et al*., 2014
metales disueltos	Fe	µg/g	32377	49233	53212	32700	-	-	40000	41700	Chester, 2000 / Tratado Geoquímica
	Al	µg/g	31082	47402	60079	25142	-	-	71000	78300	Chester, 2000 / Tratado Geoquímica
	Mn	µg/g	942	623	612	315	-	-	7700	10000	Chester, 2000 / Tratado Geoquímica
	Cu	µg/g	25	44	44	23	34	270	30	39	Chester, 2000 / Tratado Geoquímica
	Zn	µg/g	48	59	81	55	150	410	67	90	Chester, 2000 / Tratado Geoquímica
	Pb	µg/g	3,3	6,3	9,3	0,1	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	8,6	12,1	11,7	11,4	8,2	70	1,6	6	Chester, 2000 / Tratado Geoquímica
	Hg	µg/g	0,04	0,05	0,07	0,02	0,15	0,71	-	0,08	Tratado Geoquímica
Comp. orgánicos	Ac. Grasos	µg/g	0,9	3,3	12,0	1,2	-	-	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	61,1	34,4	51,6	47,9	-	-	5,6	231,4	Palm & Lammi, 1995
	EOX	µg/g	BLD	BLD	BLD	BLD	-	-	0,25	70,62	Palm & Lammi, 1995
	Dioxinas	ng/g	0,00194	0,17003	0,05489	0,00879	-	-	0,00005	3,44	National Dioxins Program, 2004
	Furanos	ng/g	0,00021	0,00844	0,00114	0,00054	-	-	0,00006	0,51	National Dioxins Program, 2004
	EQTs	ng/g	0,00001	0,00032	0,00016	0,00004	-	-	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 significado ambiental que tienen las concentraciones de metales obtenida desde la matriz sedimentaria, se han comparado los resultados obtenidos durante el muestreo del año 2017 con valores de referencia preindustriales a nivel local, tal como ha sido descrito en (Chandía & Salamanca, 2012). Para esto se realizaron los cálculos de índices de calidad de sedimentos basados en la abundancia de los diferentes elementos y compuestos evaluados.

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 testigo 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 del año 2014 (Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC) lo que permitió obtener los valores referenciales ("background") desde la base de los testigos (cores o núcleos) recolectados. Las muestras fueron tratadas químicamente al igual que el resto de las muestras de sedimentos obtenidas en el Programa de Diagnóstico (abril y julio del año 2014) y Monitoreo (abril de los años 2015, 2016 y 2017) del HRC. Los sedimentos de la base de estos testigos 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 estratos son representativos de las condiciones y concentraciones de elementos y compuestos presentes en esos años.

Factor de enriquecimiento (EF)

Este índice permite evaluar el significado de la información de metales presentes en sedimentos obtenido a partir del cálculo de un Factor de

Enriquecimiento, el cual se utiliza para estimar la cantidad de metales por sobre un nivel de referencia.

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

Donde, (Me)s es la concentración del metal en una muestra (s); (Al)s es la concentración de Aluminio en esa muestra; (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, es un indicativo que el contenido de los metales son comparables a materiales de origen natural (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 51% 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 0,0 a 3,6 (Tabla 4.1.2.42). Por otra parte, 18 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 referenciales utilizados, lo que indica que el 86% de los sedimentos presentan condiciones normales y totalmente comparables con los valores referenciales 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 2017; 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***	0,3	**1,5**	0,6	**1,1**	0,4	0,8	0,0	1,0
	ii	0,3	**1,5**	0,6	0,9	0,4	0,7	0,0	0,8
2	***i***	0,8	**2,1**	0,9	**1,3**	**1,3**	**3,6**	1,0	**1,4**
	ii	0,8	**2,3**	0,9	**1,2**	**1,3**	**3,6**	0,9	**1,3**
3	***i***	0,9	**1,9**	1,0	**1,1**	**1,2**	**1,4**	**1,1**	**1,2**
	ii	0,9	**1,9**	1,1	**1,2**	**1,2**	**1,5**	1,0	**1,4**
4	***i***	0,4	**2,0**	0,7	**1,3**	0,8	**1,9**	0,0	**1,3**
	ii	0,4	**1,9**	0,7	**1,4**	0,9	**2,1**	0,0	**1,3**
5	***i***	**1,1**	**1,8**	1,0	**1,2**	0,9	0,8	1,0	0,7
	ii	**1,2**	**1,7**	0,9	**1,1**	0,8	0,8	**1,1**	0,7
6	***i***	1,0	**1,6**	0,6	1,0	0,7	**1,1**	**1,2**	0,7
	ii	0,9	**1,7**	0,7	1,0	0,7	**1,2**	**1,2**	0,8
7	***i***	**1,2**	**1,2**	0,8	1,0	1,4	0,8	0,8	**1,3**
	ii	**1,1**	**1,3**	0,9	**1,1**	**1,4**	0,8	0,9	**1,4**
8	***i***	0,4	**3,4**	0,9	**1,4**	0,7	**1,1**	0,0	**1,8**
	ii	0,4	**3,2**	1,0	**1,5**	0,7	**1,2**	0,0	**1,7**

Índice de Geoacumulación (I_{geo})

Otro criterio para evaluar el grado de contaminación es el Índice de Geoacumulación (I_{geo}) propuesto por Müller (1981), el cual que compara concentraciones actuales y pre-industriales de metales en sedimentos.

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

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 geoacumulación muestran que más del 95% de las determinaciones, se encuentran en el rango considerado como *"no contaminado"*, y sólo 7 de las 128 muestras se pueden clasificar en el rango de "*no contaminado a levemente contaminado"* con un I_{geo} 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 y manganeso en la estación 7 para una de las 2 muestras; no obstante, no se puede establecer ningún patrón temporal o espacial, ya que esta muestra presenta un Índice de geoacumulación muy cercano al límite inferior que separa las categorías, lo que puede estar más asociado a la variabilidad propia de las muestras extraídas desde un sistema natural muy dinámico, tal cual es el sistema del río Cruces.

4.1.2.43. Índice de Geo acumulación (I_{geo}) en los sedimentos durante la campaña de abril 2017; 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***	-2,3	-1,7	-3,0	-2,2	-6,3	-2,6	-7,1	-2,4
	ii	-2,3	-1,7	-3,0	-2,4	-6,2	-2,8	-7,1	-2,5
2	***i***	-1,0	**0,1**	-1,2	-0,6	-4,9	**0,8**	-0,9	-0,5
	ii	-1,0	**0,2**	-1,2	-0,7	-4,9	**0,9**	-1,2	-0,5
3	***i***	-0,8	**0,2**	-0,8	-0,6	-4,7	-0,3	-0,7	-0,5
	ii	-0,8	**0,2**	-0,6	-0,6	-4,7	-0,2	-0,8	-0,3
4	***i***	-1,9	-0,9	-2,4	-1,5	-5,8	-0,9	-7,1	-1,5
	ii	-2,0	-1,1	-2,4	-1,6	-5,9	-0,9	-7,1	-1,6
5	***i***	-0,4	**0,5**	-0,4	-0,1	-4,3	-0,8	-0,3	-0,8
	ii	-0,3	**0,5**	-0,5	-0,2	-4,3	-0,7	-0,2	-0,9
6	***i***	-0,7	0,0	-1,3	-0,7	-4,6	-0,5	-0,3	-1,1
	ii	-0,7	0,0	-1,2	-0,7	-4,6	-0,5	-0,5	-0,9
7	***i***	-0,3	-0,1	-0,7	-0,4	-4,3	-0,8	-0,7	0,0
	ii	-0,5	-0,1	-0,7	-0,4	-4,4	-0,8	-0,6	0,0
8	***i***	-1,8	0,0	-2,0	-1,2	-5,7	-1,6	-7,1	-0,9
	ii	-1,8	-0,2	-1,9	-1,3	-5,8	-1,6	-7,1	-1,1

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 cuatro estaciones tienen un valor de PLI < 1, en tanto que las restantes cuatro estaciones presentan un valor de PLI que no sobrepasa 1,23 (Tabla 4.1.2.44.), de acuerdo con la categorización del Índice de Carga de Contaminación, permite establecer la ausencia de contaminación por metales en los sedimentos cuatro estaciones (*i.e*., 1, 4, 6 y 8) y las restante cuatro estaciones (i.e., 2, 3, 5 y 7) estarían presentando algún grado de contaminación por metales, pero dado lo cercano a 1 este es carácter leve.

Tabla 4.1.2.44. Índice de Carga de Contaminación (PLI) en los sedimentos; Programa de Monitoreo de Ambiental del HRC 2017. i= réplica 1; ii= réplica 2.

Estación	Réplica	PLI
1	*I*	0,17
	ii	0,18
2	*i*	1,13
	ii	1,11
3	*i*	1,11
	ii	1,14
4	*i*	0,32
	ii	0,31
5	*i*	1,22
	ii	1,22
6	*i*	0,95
	ii	0,96
7	*i*	1,23
	ii	1,20
8	*i*	0,37
	ii	0,35

Ácidos Grasos

Las concentraciones de estos compuestos registradas en los sedimentos durante abril del año 2018 fueron muy variables entre sectores de muestreo (Tabla 4.1.2.41), donde el mayor valor registrado se obtuvo en la estación 7 (río Cayumapu) con una concentración de 22,8 µg g^{-1} y la menor concentración obtenida fue de 0,9 µg g^{-1} para la estación 1 (sector Ciruelos). A pesar de esta variabilidad, las concentraciones promedio por sector son muy similares a los obtenidos en abril del año 2016, 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 2017 muestran que el sector de los ríos tributarios y eje estuarial del HRC presentan la mayor concentración por sectores (12,0 y 3,3 µg g^{-1}, respectivamente). De igual forma, el sector límnico (L) presentó la menor concentración (0,9 µg g^{-1}). Los valores obtenidos en abril del año 2017 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 2018 no se detectó la presencia del congénere de mayor toxicidad de este grupo de compuestos clorados, (i.e., 2,3,7,8 la TCDD) en los sedimentos de las estaciones muestreadas, por lo que la toxicidad de las muestras analizadas es baja expresada como EQTs. 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 0,0011 a 0,5148 ng g^{-1} para Dioxinas y de N.D. a 0,0261 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 2018 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 2018 muestran que los Ácidos resínicos presentan

concentraciones bajo el límite de detección, igual condición que los resultados obtenidos entre los años 2014 a 2016, 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 solo para el parámetro COT donde en promedio se observa un aumento de un 76% con respecto a la referencia, producto principalmente de los altos valores registrados en la estación de Rucaco donde se obtuvieron valores en promedio de 7,9 % C (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, COT y AOX (Tabla 4.1.2.45). Sin embargo, las Dioxinas y Furanos se encuentran enriquecidas respecto a la referencia utilizada, con un enriquecimiento promedio de 621%. No obstante, los valores son totalmente comparables con el registro reciente (durante los años 2014 a 2016). 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), y en estas estaciones no presentaron enriquecimiento los parámetros Ácidos grasos, EOX, AOX y Furanos (Tabla 4.1.2.45). No obstante, el COT y las Dioxinas se encuentran enriquecidos respecto a la referencia utilizada, aumentando un 109 y 252%, 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	-94	-77	-18	-92
Ác. Resínicos	µg/g	-	-	-	-	-
COT	%	2,3	**76**	-15	**109**	-76
AOX	µg/g	68,2	-10	-50	-24	-30
EOX	µg/g	0,07	-	-	-	-
Dioxinas	ng/g	0,0156	-88	**990**	**252**	-44
Furanos	ng/g	0,0014	-85	**503**	-18	-62

4.1.2.5. Conclusiones

- No se detectaron diferencias significativas entre años y sectores para las fracciones granulométricas de grava y tamaño de la partícula de arena, sin embargo, los porcentajes de fango fueron significativamente más altos ($p<0,05$) el año 2017 en los ríos tributarios. A su vez que los porcentajes de arena encontrados fuera del humedal fueron significativamente más altos ($p<0,05$) que las proporciones observadas en los ríos tributarios.

  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. No se observaron diferencias interanuales.
- Los valores de pH detectados durante los años 2018, 2017 y 2015 fueron significativamente más altos que los encontrados durante los años 2014 y 2016. Por otra parte, los valores de pH detectados en el eje estuarial del HRC fueron significativamente más altos que los detectados en los ríos tributarios de HRC.
- 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 límnico fueron significativamente más altos que los registrados fuera del HRC (río Calle Calle).
- Las concentraciones de Hierro (Fe), Plomo (Pb) y Arsénico (As) en los sedimentos, presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) entre años, donde los valores detectados de Fe y As fueron más bajos los años 2016 y 2018 y los de Pb solo el año 2018.

  Los análisis de ANDEVA para el factor Sector mostró que las concentraciones de Fe, Al, Mn y Cu fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en el eje central del humedal. Por otra parte, el Pb solo presento valores altos en el sector límnico y el Hg en los ríos tributarios.

  No se detectó Cadmio durante la campaña 2018

- El Índice de Carga de Contaminación de metales indica que el contenido de estos en el área de estudio y durante el año 2018, presenta un grado de contaminación leve en las estaciones 2, 3, 5 y 7. Esta condición es producto principalmente del aumento de los Factores de Enriquecimiento de Arsénico en todas las muestras analizadas con un rango entre 1,2 y 3,4 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 el año 2018 fueron muy similares a las registradas durante los años 2016 y 2017, siendo estas, significativamente más bajas ($p<0,05$) a las obtenidos durante el programa de Diagnóstico Ambiental del HRC.
- No se detectaron Ácidos resínicos en ninguna de las estaciones y campañas realizadas entre los años 2014 a 2018.
- Las concentraciones de AOX no muestran variaciones significativas ($p>0.05$) al comparar años y sectores.
- 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.
- No se detectaron diferencias significativas ($p<0,05$) al comparar las concentraciones de Dioxinas y Furanos entre años, sin embargo, estas presentaron disimilitudes entre sectores donde las mayores concentraciones de estos compuestos fueron detectadas en el eje central del HRC (estaciones San Luis, Santa Clara y Punucapa).
- Hasta ahora no se ha detectado la presencia de la Dioxina 2,3,7,8 TCDD en los sedimentos de las estaciones muestreadas. Sin embargo, durante las campañas de los años 2017 y 2018 se detectó por primera vez la presencia de la Dioxina

1,2,3,7,8 PeCDD (toxica al igual que la 2,3,7,8 TCDD) en los sedimentos del eje estuarial del río Cruces (sector San Luis) y en los ríos tributarios del mismo (río Cayumapu y río Pichoy), respectivamente.

4.1.2.6. Referencias

Anderson, F., L. Black, L. Mayer, L. Watling. 1981. A temporal and spatial study of mudflat texture. Northeastern Geology 3: 184-191.

Emery, K.O. 1938. Rapid method of mechanical analysis of sands. Journal of Sedimentary
Research 8: 105-111.

Folk, R. L. 1980. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Company. 190 pp.
Seward-Thompson, B., J. Hails. 1973. An appraisal of the computation of statistical parameters in grain size analysis. Sedimentology 20: 161-169.

Bohn, H., B. McNeal, O'Connor. 2001. Soil chemistry. Third edition. John Wiley and Sons. New York, NY, 303, 48-66

Brewer, R., M. Sekela, S. Sylvestre, T. Tuominen, G. Moyle. 1998. Contaminants in Bed Sediments from 15 Reaches of the Fraser River Basin. Aquatic and Atmospheric Sciences Division, Environment Canada, Vancouver, B.C. DOE FRAP 1997-37.

Chandia C., M. Salamanca. 2012. Long-term monitoring of heavy metals in coastal sediments of the eastern South Pacific Ocean, Chile. Mar. Poll Bull. 64(10): 2254-2260.

Chester. 2000. Marine geochemistry. Second Edition. Blackwell Science Ltd. Oxford. England. 506 pp

Long, E.D., D.D. MacDonald. 1998. Recommended uses of empirically derived, sediment quality guidelines for marine and estuarine ecosystems. Human and Ecol. Risk Assess. 4: 1019-1093

Long, E.D., D.D. MacDonald, S.L. Smith, F.D Calder. 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Environmental Management 19, 1, 81–97.

MacDonald D. D., C.G. Ingersoll, T.A Berger. 2000. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. Archives of environmental contamination and toxicology, 39(1), 20-31.

Müller G. 1981. Die Schwermetallbelastung der Sedimenten des Neckars und Seiner Nebenflusse. Chemiker-Zeitung. 6:157 – 64

National Dioxins Program. 2004. Australian Inventory of Dioxin Emissions, 2004, National Dioxins Program Technical Report No. 3, Australian Government Department of the Environment and Heritage, Canberra.

Otero, N., L. Vitoria, A. Soler, A. Canals. 2005. Fertilizer characterization: major, trace and rare earth elements. Applied Geochemistry, 20, (8), 1473-1488.

Palm, H., R. Lammi. 1995. Fate of pulp mill organochlorines in the Gulf of Bothnia sediments', Environ. Sci. Technol. 29(7), 1722–1727.

Tomlinson D, J.G. Wilson, C.R. Harris, D.W. Jeffrey. 1980. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. Helgoländer Meeresuntersuchungen, 33: 566-575

Zhang, J. , C. L. Liu. 2002. Riverine Composition and Estuarine Geochemistry of Particulate Metals in China—Weathering Features, Anthropogenic Impact and Chemical Fluxes. Estuarine, Coastal and Shelf Science (2002) 54, 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 tres 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 del año 2017. 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 cuarto año del Programa de Monitoreo, correspondiente a la temporada estival del año 2018-2019. 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 tres primeros años del Programa de Monitoreo del mismo humedal (primaveras de los años 2015 y 2016 y verano del año 2017). 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 2018-2019.

•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 del año 2017), 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 2018 y febrero del año 2019. 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 40º19'20"S, 72º51'00"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 8 de febrero del año 2019; las otras imágenes existentes en el archivo entre noviembre 2018 y febrero 2019,

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 4.2.1.1.1 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 (8 de febrero 2019).

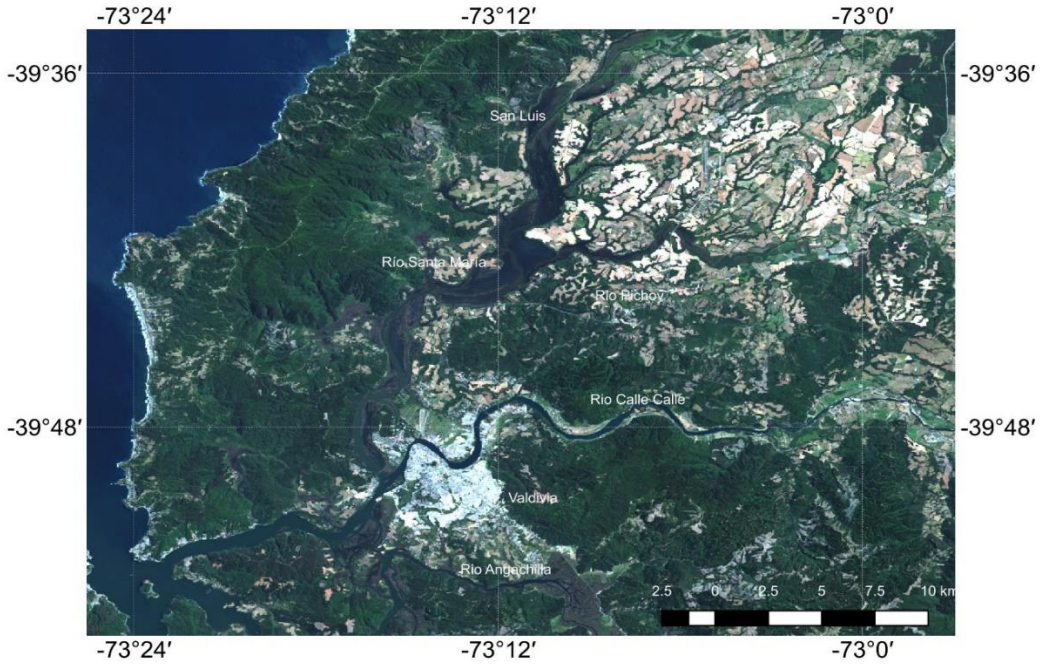


Figura 4.2.1.1.1. Área de estudio. Se ilustra una imagen de color verdadero, basada en la combinación de las bandas rojo, verde y azul (bandas 4, 3, 2 del sensor Landsat 8). La imagen corresponde al día 8 de febrero del año 2019. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18S.

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 4.2.1.1.1 indica las longitudes de onda correspondientes a las distintas bandas del sensor OLI, al igual que la resolución espacial correspondiente a cada banda.

Tabla 4.2.1.1.1. 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 (μm)	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), *Nymphaea alba* (Loto), *Schoenoplectus californicus* (Totora) 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).

La información recolectada (véase Figs. 4.2.1.1.2 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.

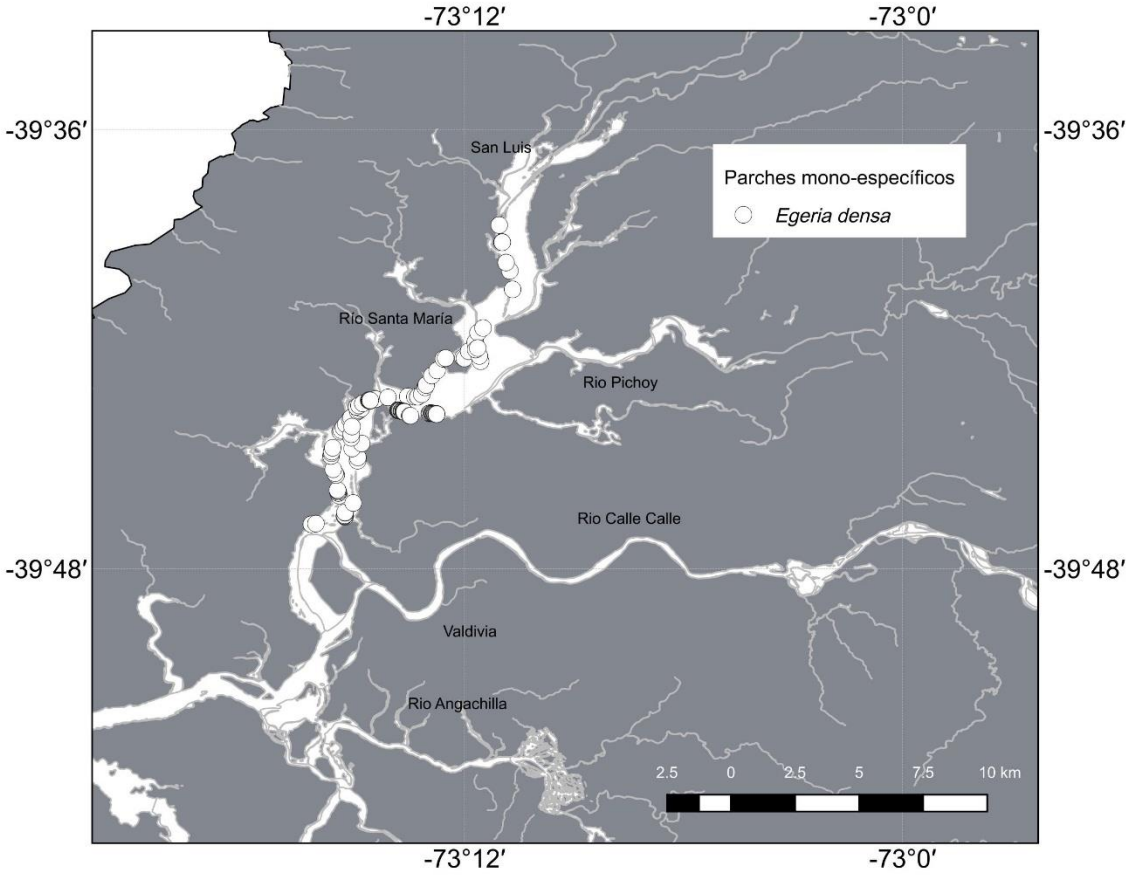


Figura 4.2.1.1.2. Puntos de muestro para la distribución de *Egeria densa* (Luchecillo) mediante georreferenciación de parches mono-específicos. Se ilustran aquellos puntos en los que se determinó la presencia de Luchecillo (círculos blancos). La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales cursos de agua en los sitios de estudio. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18 Sur.

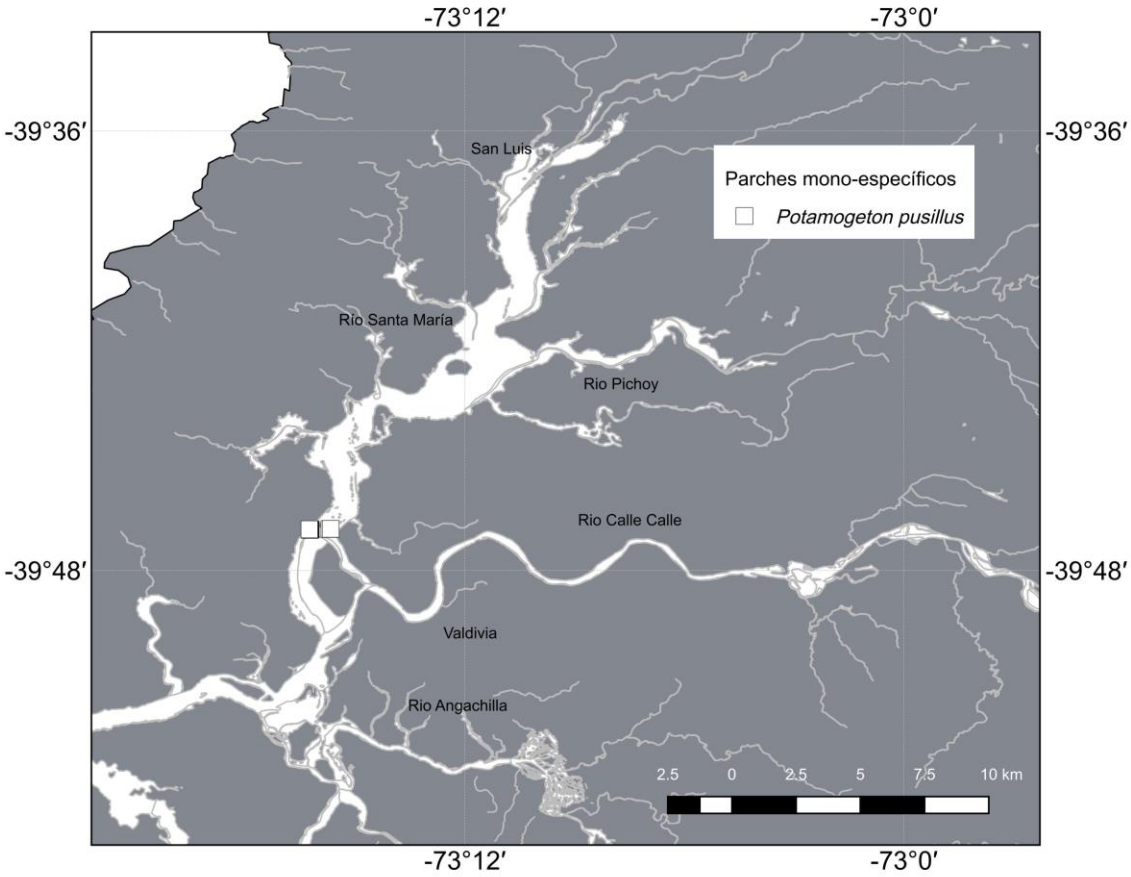


Figura 4.2.1.1.3. Puntos de muestro para la distribución de *Potamogeton pusillus* (Huiro de agua dulce) mediante georreferenciación de parches mono-específicos. Se ilustran aquellos puntos en los que se determinó la presencia de Huiro de agua dulce (cuadrados blancos). La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales cursos de agua en los sitios de estudio. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18 Sur.

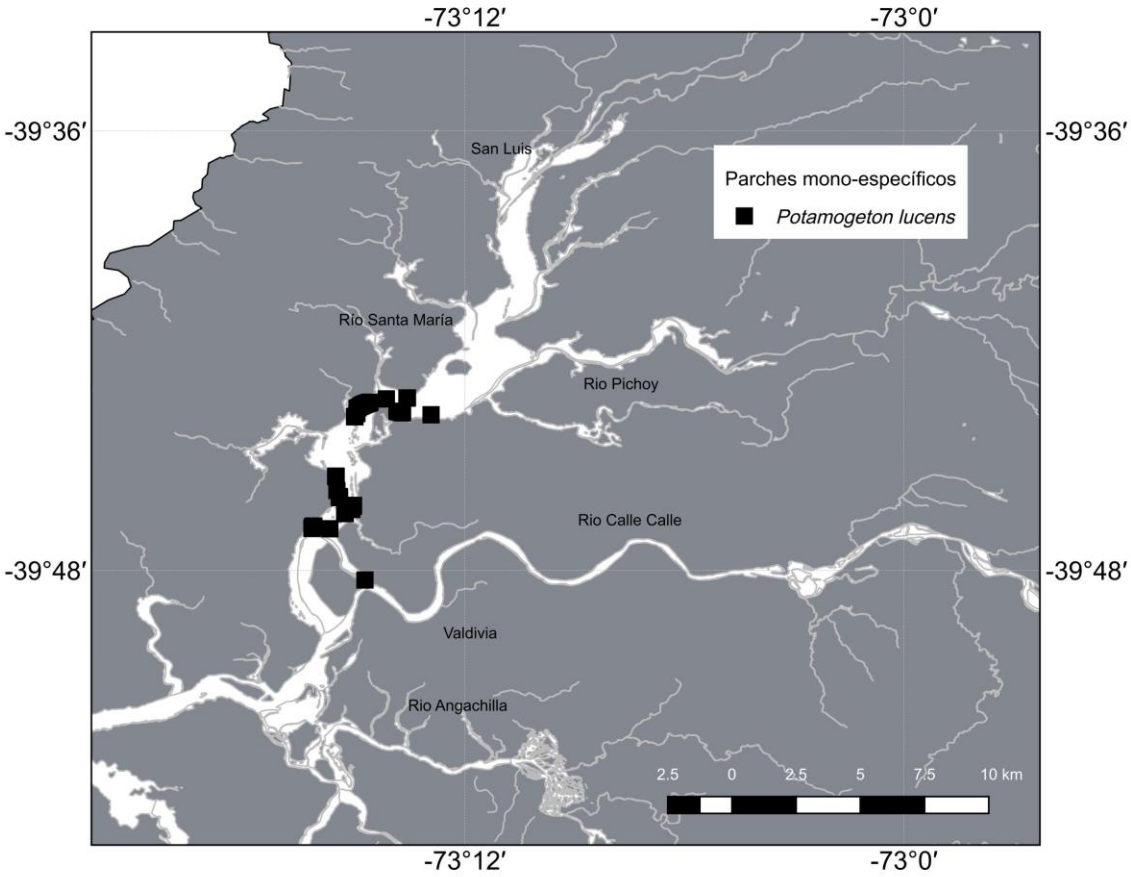


Figura 4.2.1.1.4. Puntos de muestro para la distribución de *Potamogeton lucens* (Huiro verde) mediante georreferenciación de parches mono-específicos. Se ilustran aquellos puntos en los que se determinó la presencia de Huiro verde (cuadrados negros). La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales cursos de agua en los sitios de estudio. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18 Sur.

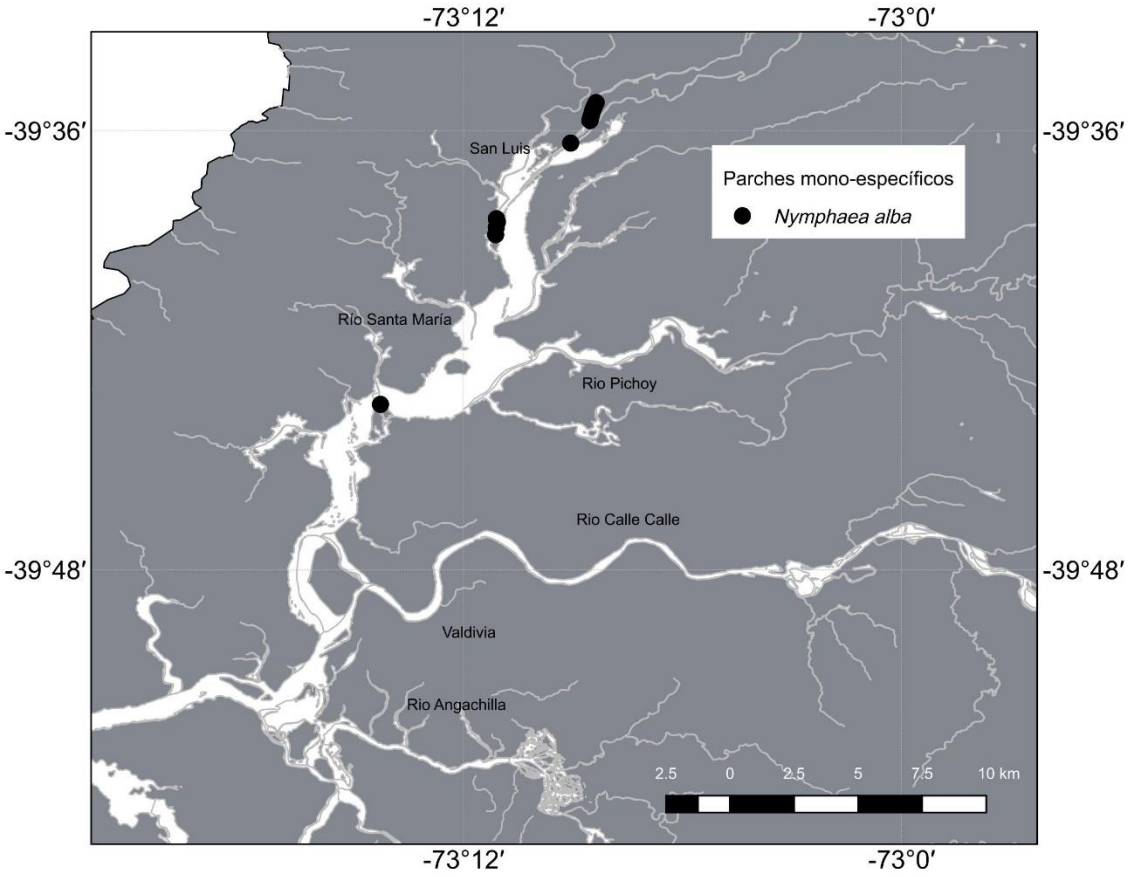


Figura 4.2.1.1.5. Puntos de muestro para la distribución de *Nymphaea alba* (Loto) mediante georreferenciación de parches mono-específicos. Se ilustran aquellos puntos en los que se determinó la presencia de Loto (círculos negros). La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales cursos de agua en los sitios de estudio. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18 Sur.

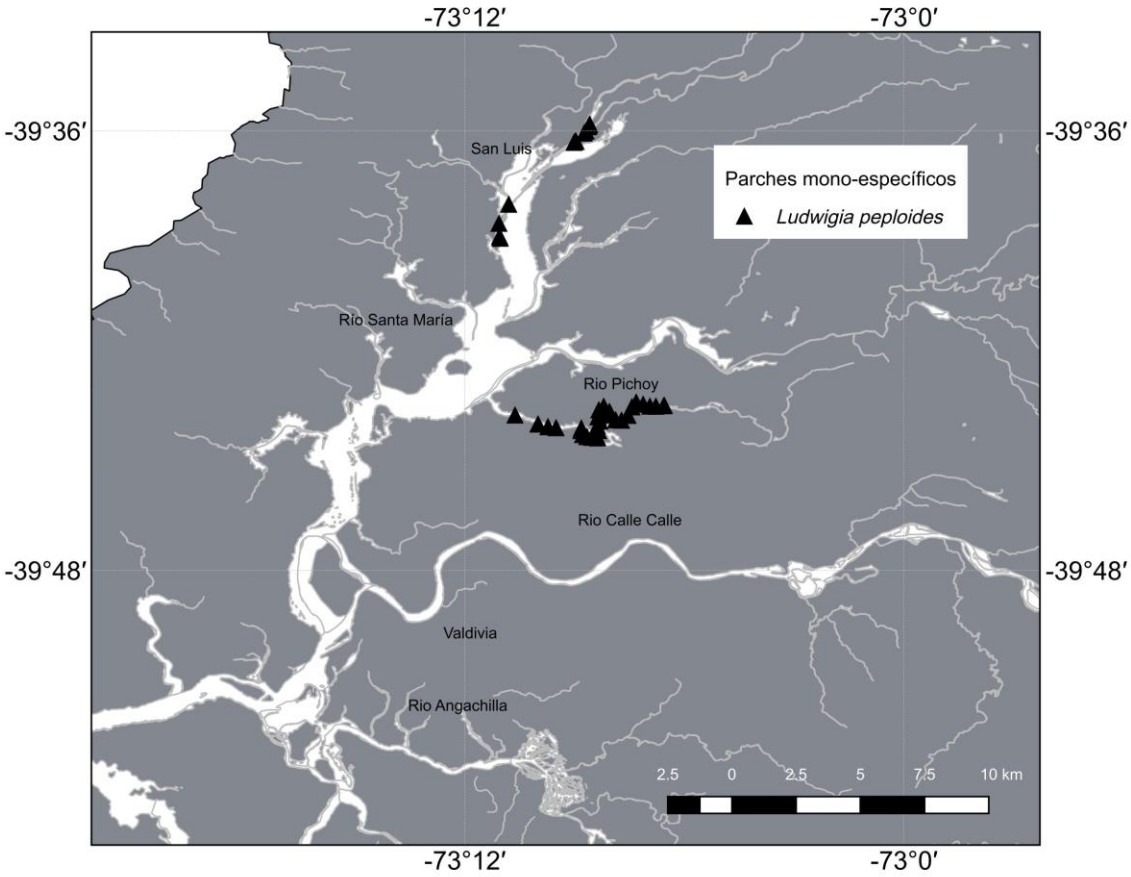


Figura 4.2.1.1.6. Puntos de muestro para la distribución de *Ludwigia peploides* (Clavito de agua) mediante georreferenciación de parches mono-específicos. Se ilustran aquellos puntos en los que se determinó la presencia de Clavito de agua (triángulos negros). La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales cursos de agua en los sitios de estudio. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18 Sur.

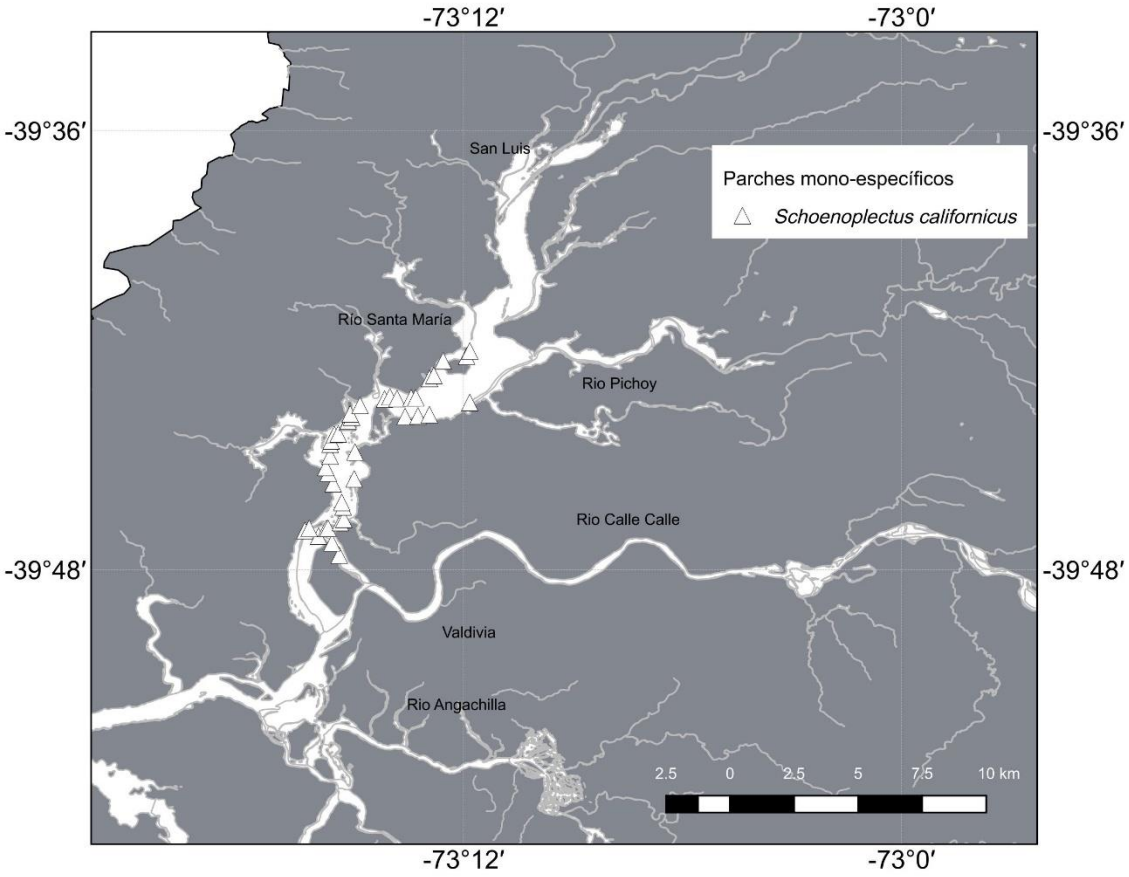


Figura 4.2.1.1.7. Puntos de muestro para la distribución de *Schoenoplectus californicus* (Totora) mediante georreferenciación de parches mono-específicos. Se ilustran aquellos puntos en los que se determinó la presencia de Totora (triángulos blancos). La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales cursos de agua en los sitios de estudio. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18 Sur.

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 11 y 13 de noviembre del año 2018 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. 4.2.1.1.8). 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.

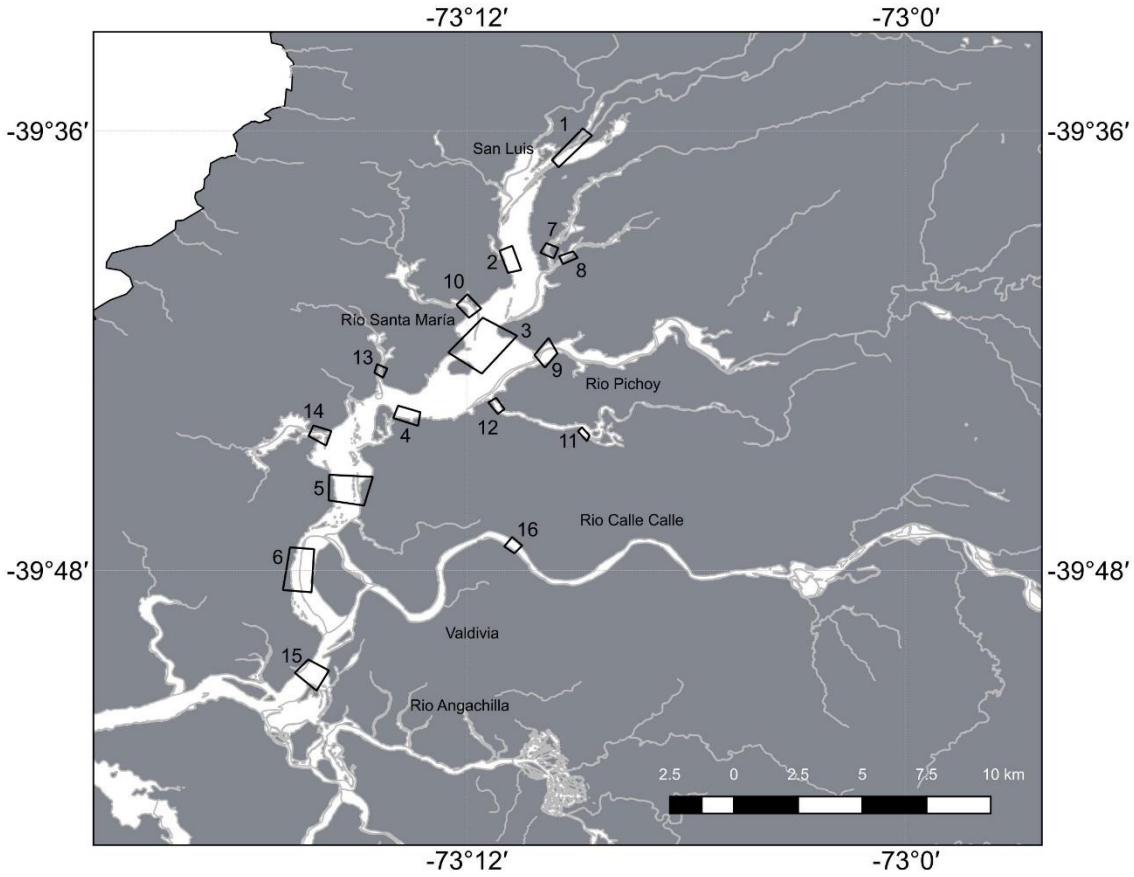


Figura 4.2.1.1.8. Sectores de estudio para la estimación de parámetros de calidad de agua. La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales cursos de agua en los sitios de estudio. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18 Sur. Los sectores de estudio corresponden a: 1. 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 de macrófita (Franklin, 2009). Se utilizaron los registros de presencia georeferenciados, en conjunto con imágenes geográficas generadas a partir del satelite 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 4.2.1.1.1, 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 imagenes 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 5 de febrero de 2019. 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 2018 a 2019 (Figura 4.2.1.1.1).

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 4.2.1.1.8. 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 4.2.1.1.1).

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 4.2.1.1.2 se detalla el número de observaciones obtenidas para los registros georeferenciados de parches mono-específicos.

Tabla 4.2.1.1.2. 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)	109
Potamogeton pusillus (Huiro de agua dulce)	10
Potamogeton lucens (Huiro verde)	69
Nymphaea alba (Loto)	17
Schoenoplectus californicus (Totora)	39
Ludwigia peploides (Clavito de agua)	40

Durante la presente campaña se realizaron sobrevuelos con UAV para corroborar la distribución observada de macrófitas. Por otra parte, al igual que en años anteriores, cabe destacar, sin embargo, que la baja cobertura y distribución de *Potamogeton pusillus* (Huiro de agua dulce) se evidencia en la baja incidencia a lo largo del HRC, lo que se suma a la ausencia de *Sagittaria montevidensis* (Flecha de agua).

Registros de Indicadores de calidad de agua vía mediciones *in situ* de transparencia

En la Figura 4.2.1.1.9 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. 4,318; F= 120,46; p<0,001) como entre sitios (ANDEVA de dos vías, g.l. 15,318; F= 266.82; p<0,001). De igual forma, el término de interacción entre estos dos factores también presentó diferencias significativas (ANDEVA de dos vías, g.l. 60, 318; F= 22,09; p<0,001).

Al examinar la variación espacial y temporal en la cantidad de Sólidos Suspendidos Totales (SST), se observan en general valores más bajos durante los años 2015 y 2016 con respecto a los años 2014 y 2017 (Fig. 4.2.1.1.10). Se observaron diferencias significativas tanto entre años (ANDEVA de dos vías, g.l. 4, 320; F= 158,73; p<0,001) como entre sitios (ANDEVA de dos vías, g.l. 15, 320; F= 42,74; p<0,001). De igual forma, el término de interacción entre estos dos factores también presentó diferencias significativas (ANDEVA de dos vías, g.l. 60, 320; F= 14,06; p<0,001).

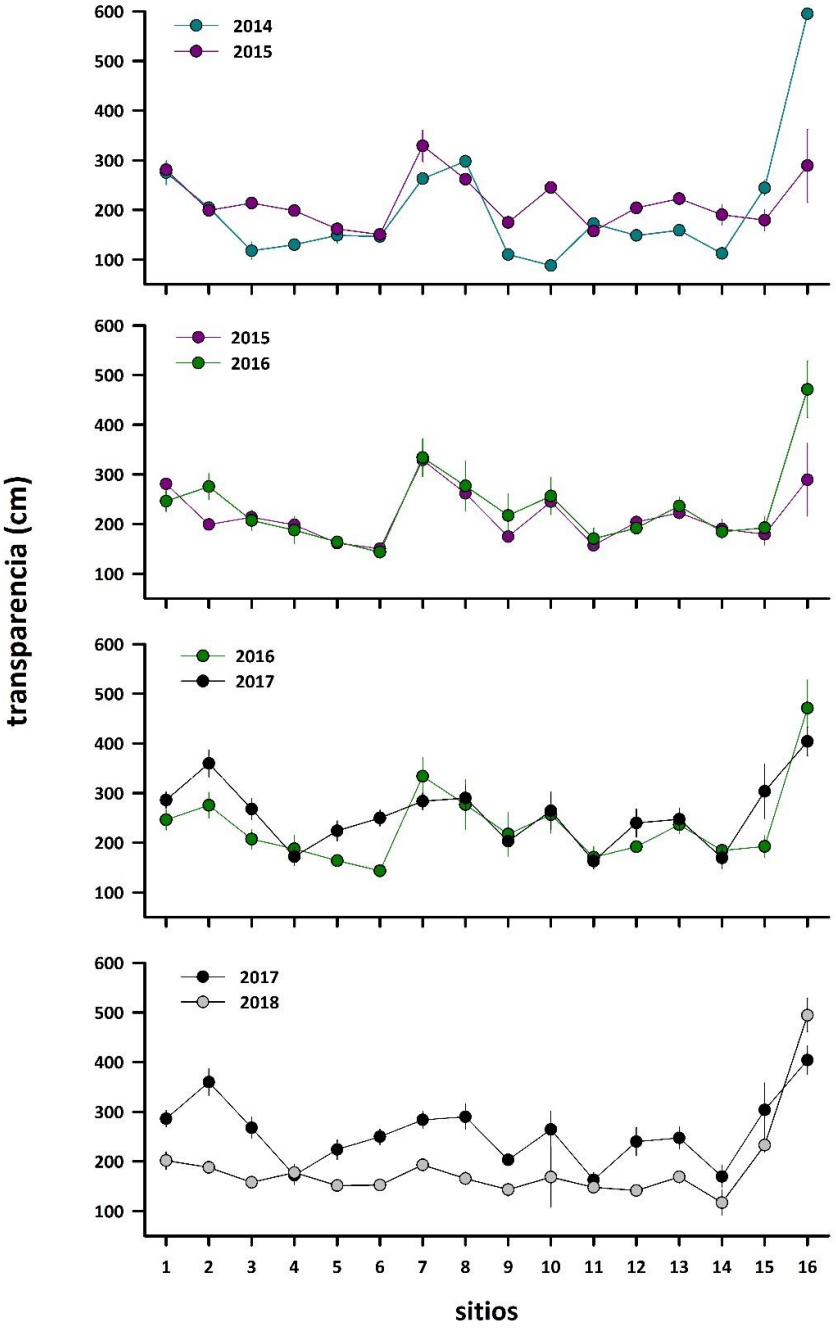


Figura 4.2.1.1.9. Variación espacial en la transparencia (*i.e.,* profundidad de Disco Secchi) del agua superficial en el área de estudio. Se ilustra el valor promedio para cada sitio y año, junto con una desviación estándar. Los sectores de estudio corresponden a: 1. río Cruces, sector San Luis, 2. 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.

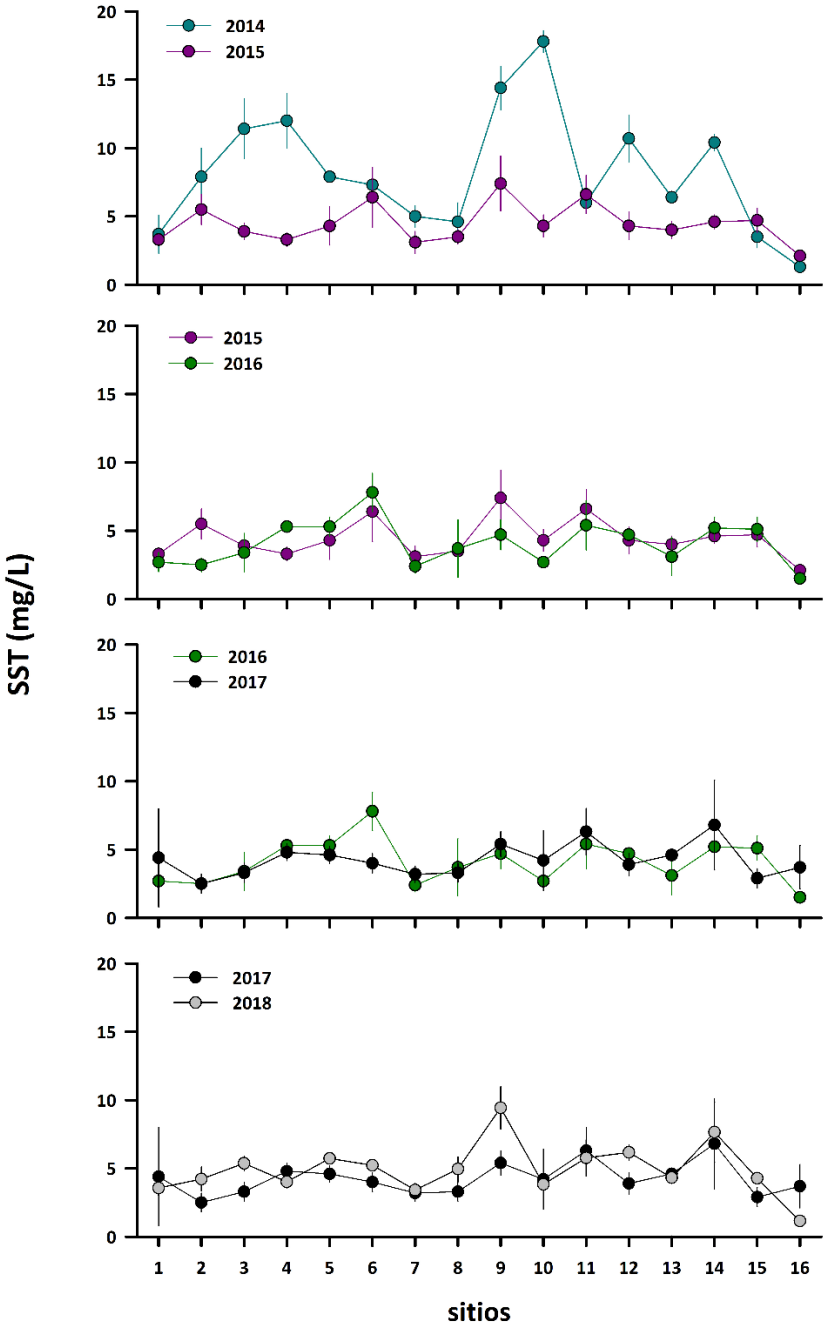


Figura 4.2.1.1.10. Variación espacial en la concentración de Sólidos Suspendidos Totales (SST) del agua superficial en el área de estudio. Se ilustra el valor promedio para cada sitio y año, junto con un error estádnar. Los sectores de estudio corresponden a: 1. río Cruces, sector San Luis, 2. río Cruces, 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 altos, superiores a 0.9, indicando un muy buen ajuste a la información disponible. Se observó una excepción en el caso de *Nymphaea alba* (Loto), que presentó valores en el orden de 0.85-0.88 (Tabla 4.2.1.1.3.).

Si bien todos los modelos ajustados presentan un alto grado de ajuste - con valores de AUC de entrenamiento cercanos o superiores a 0.9 -, se observó que los valores de AUC en los subconjuntos de validación fueron levemente menores, observándose 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 las cinco validaciones cruzadas, indicando una alta consistencia en la clasificación hecha por el modelo a través de todas las réplicas realizadas. El único caso en que se evidencia un mayor grado de heterogeneidad entre las distintas curvas ROC ajustadas es en *Nymphaea alba* (Loto) (Tabla 4.2.1.1.3).

Tabla 4.2.1.1.3. 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)	75	0,97	19	0,963	0,253
Potamogeton pusillus (Huiro de agua dulce)	6	0,947	2	0,937	0,714
Potamogeton lucens (Huiro verde)	57	0,975	12	0,966	0.350
Nymphaea alba (Loto)	12	0,882	4	0,853	0,299
Schoenoplectus californicus (Totora)	40	0,951	8	0,937	0,243
Ludwigia peploides (Clavito de agua)	37	0,939	7	0,910	0,435

Los resultados obtenidos en las curvas ROC promedio se ilustran través de las Figuras 4.2.1.1.11 a 4.2.1.1.16. 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.

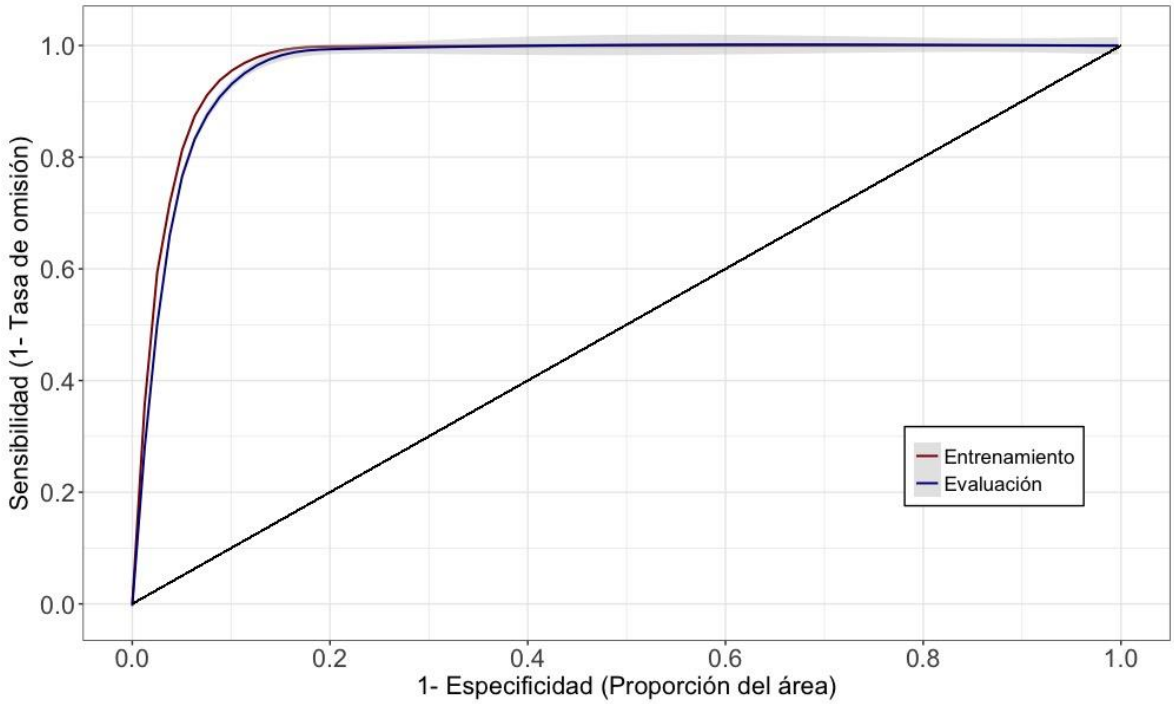


Figura 4.2.1.1.11. Curva característica Operador-Receptor (ROC) para el modelamiento de distribución de *Egeria densa* (Luchecillo). La Figura ilustra la curva ROC promedio en una línea roja para el subconjunto de sitios de entrenamiento, promediada a través de las cinco validaciones cruzadas, y la curva 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)

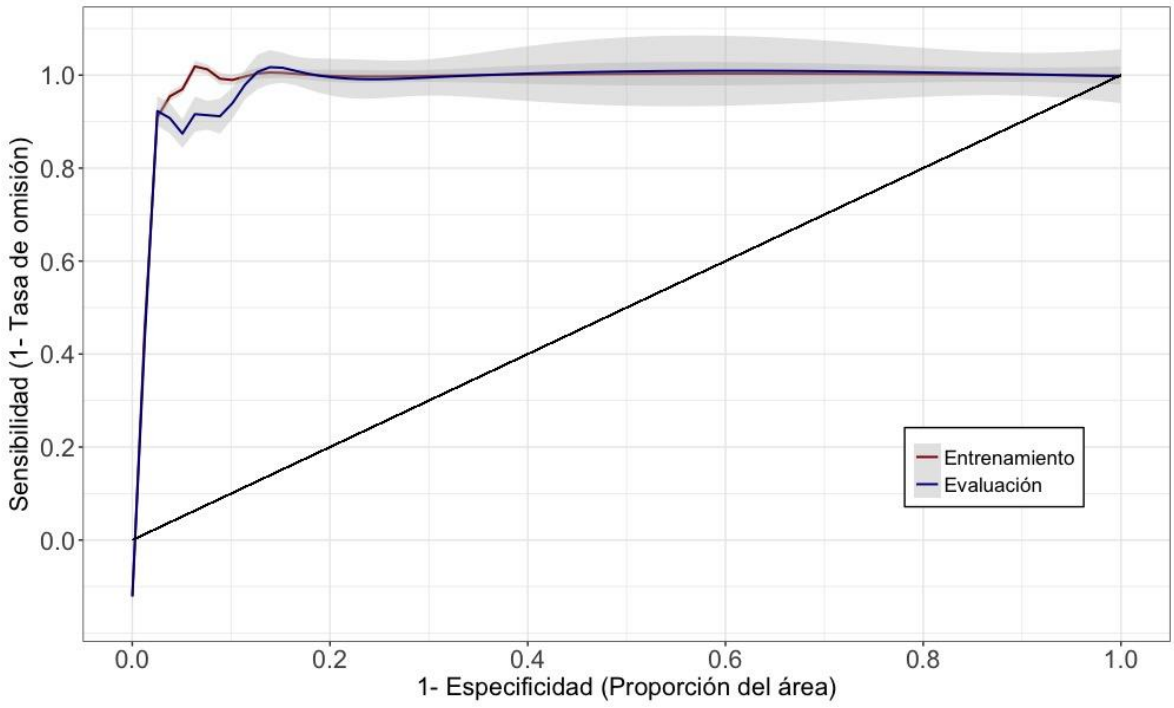


Figura 4.2.1.1.12 Curva característica Operador-Receptor (ROC) para el modelamiento de distribución de *Potamogeton pusillus* (Huiro de agua dulce). La Figura ilustra la curva ROC promedio en una línea roja para el subconjunto de sitios de entrenamiento, promediada a través de las cinco validaciones 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)

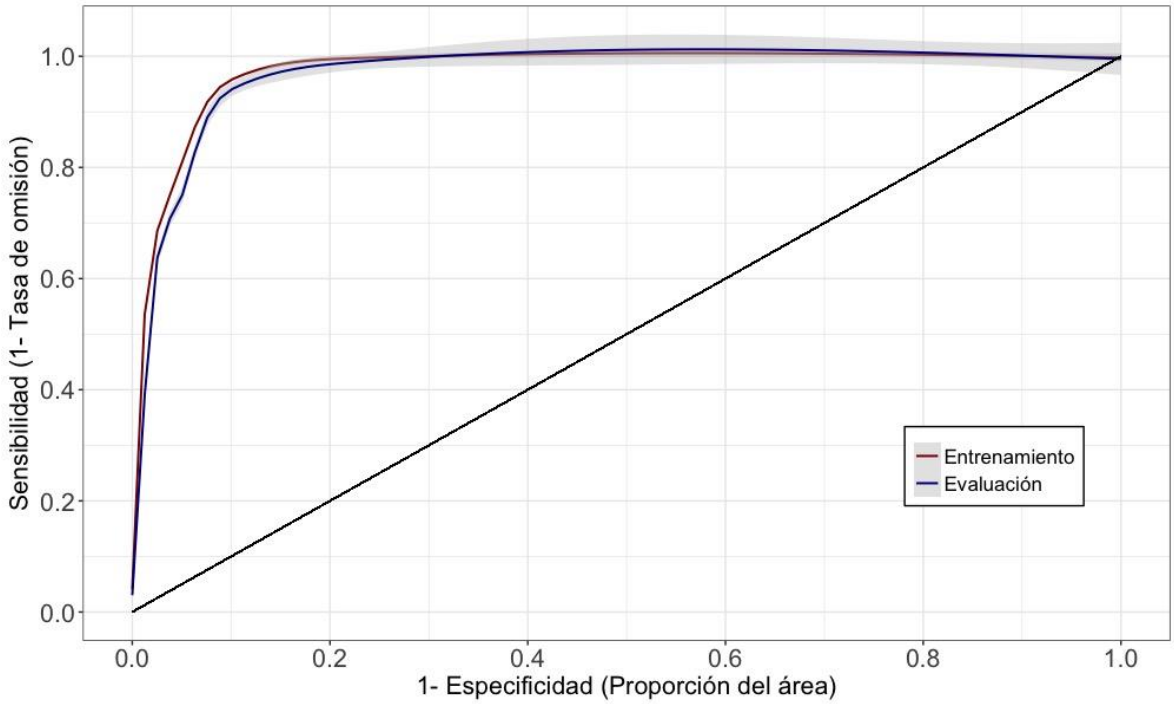


Figura 4.1.1.1.13. Curva característica Operador-Receptor (ROC) para el modelamiento de distribución de *Potamogeton lucens* (Huiro verde). La Figura ilustra la curva ROC promedio en una línea roja para el subconjunto de sitios de entrenamiento, promediada a través de las cinco validaciones cruzadas, 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)

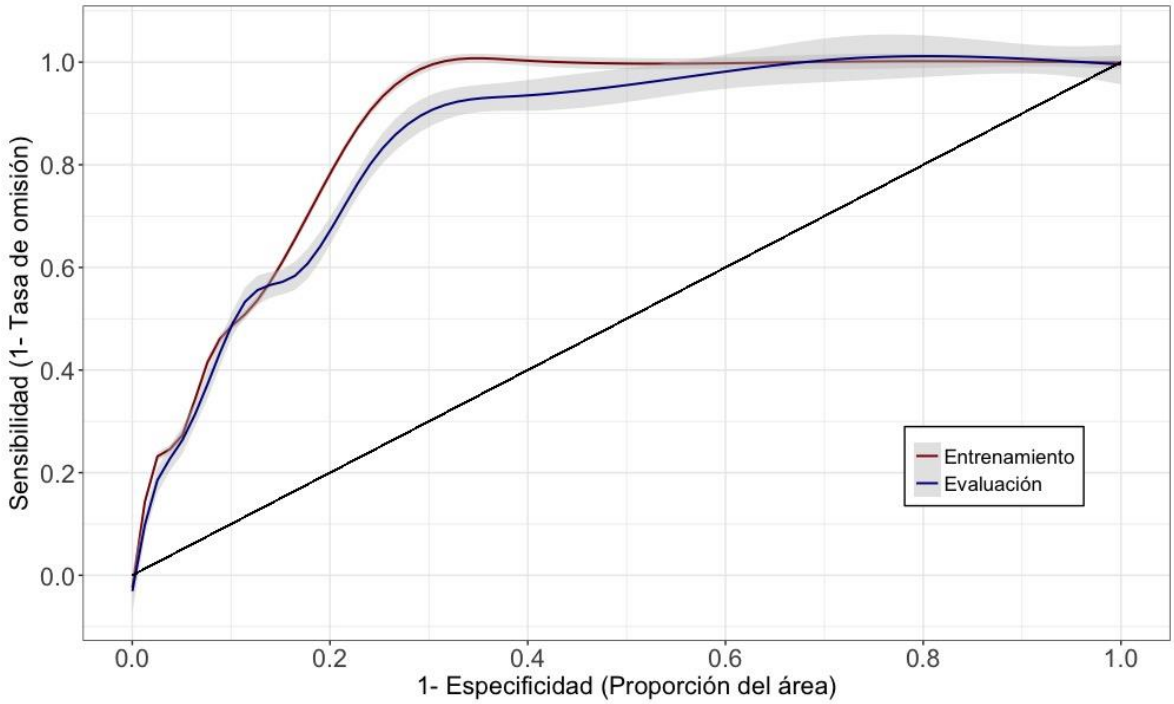


Figura 4.2.1.1.14. Curva característica Operador-Receptor (ROC) para el modelamiento de distribución de *Nymphaea alba* (Loto). La Figura ilustra la curva ROC promedio en una línea roja para el subconjunto de sitios de entrenamiento, promediada a través de las cinco validaciones cruzadas, y la curva 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)

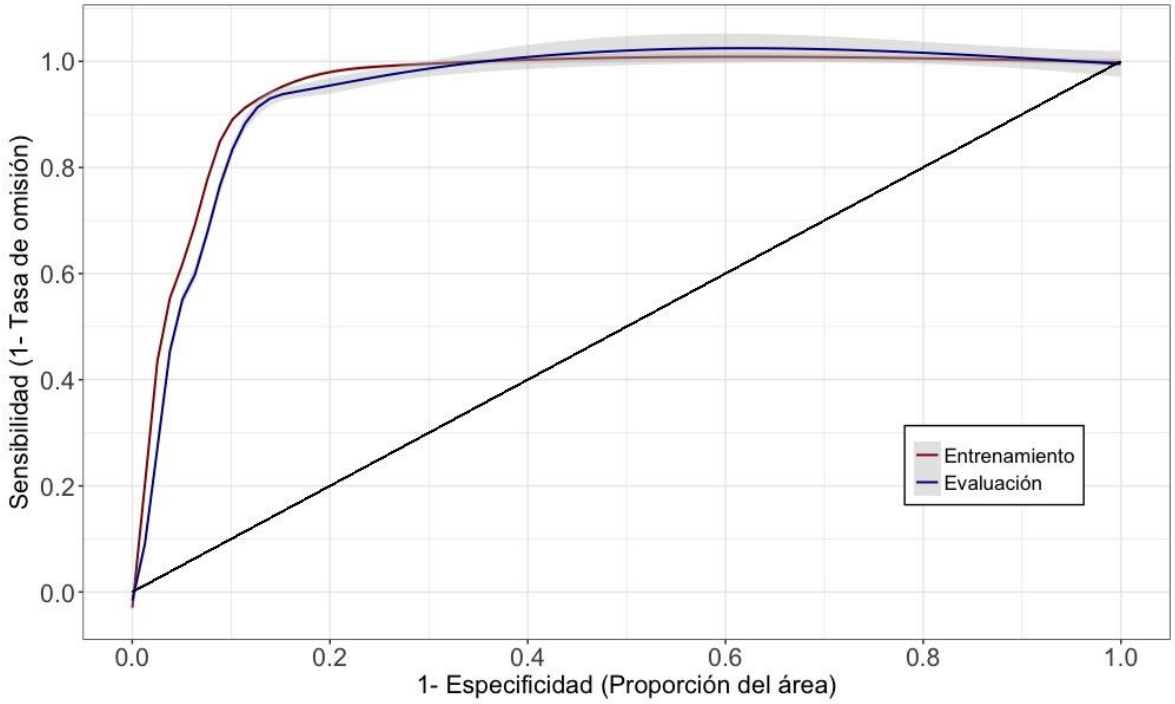


Figura 4.2.1.1.15. Curva característica Operador-Receptor (ROC) para el modelamiento de distribución de *Schoenoplectus californicus* (Totora). La Figura ilustra la curva ROC promedio en una línea roja para el subconjunto de sitios de entrenamiento, promediada a través de las cinco validaciones cruzadas, 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)

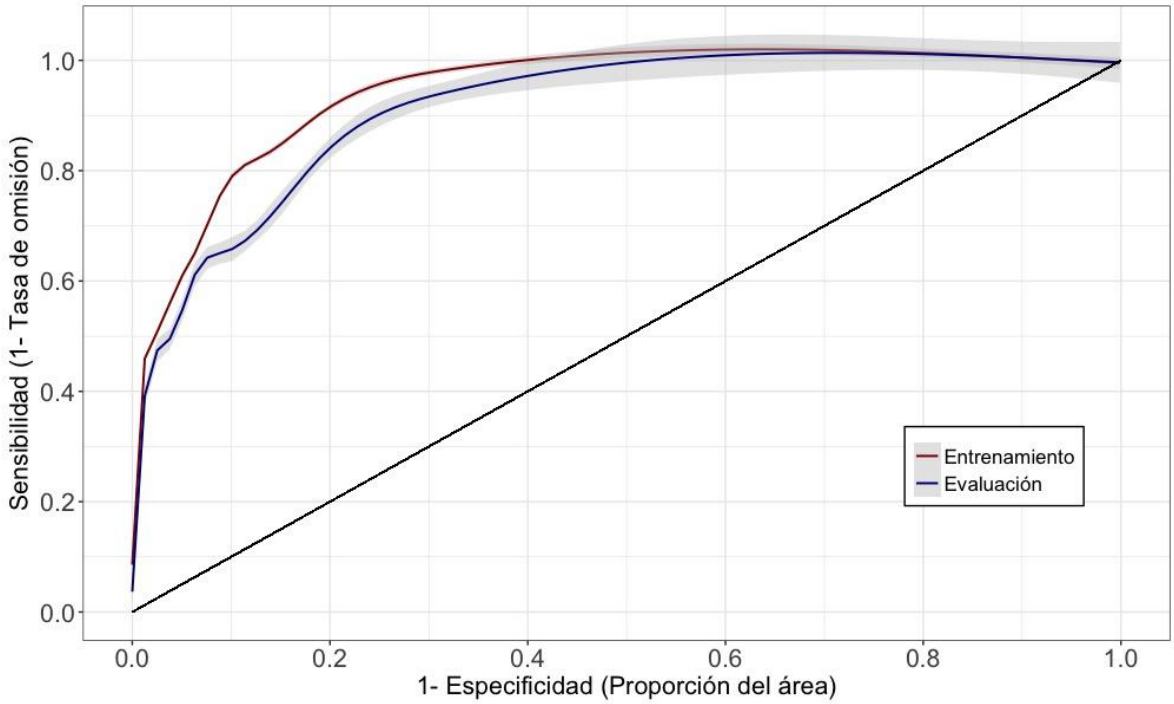


Figura 4.2.1.1.16. Curva característica Operador-Receptor (ROC) para el modelamiento de distribución de *Ludwigia peploides* (Clavito de agua). La Figura ilustra la curva ROC promedio en una línea roja para el subconjunto de sitios de entrenamiento, promediada a través de las cinco validaciones cruzadas, 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 parchosa 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.

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 4.2.1.1.17 a 4.2.1.1.22, 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. 4.2.1.1.18), se observa una cobertura muy restringida, evidenciandose menores idoneidades en las regiones centro-norte del humedal, respecto de los resultados del año 2015-2016 y 2016-2018. De esta forma, el Huiro de agua dulce presenta una distribución heterogénea y parchosa, con presencia particularmente en los centro-sur del humedal. Esta diferencia en el área proyectada puede deberse al bajo número de observaciones empleadas en el presente estudio, donde el tamaño muestral es un orden de magnitud menor que el utilizado en el monitoreo anterior. 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. 4.2.1.1.17**)**, *Potamogeton lucens* (Huiro verde) (Fig. 4.2.1.1.19), *Nymphaea alba* (Loto) (Fig. 4.2.1.1.20) y *Schoenoplectus californicus* (Totora) (Figura 4.2.1.1.21), 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. 4.2.1.1.20),

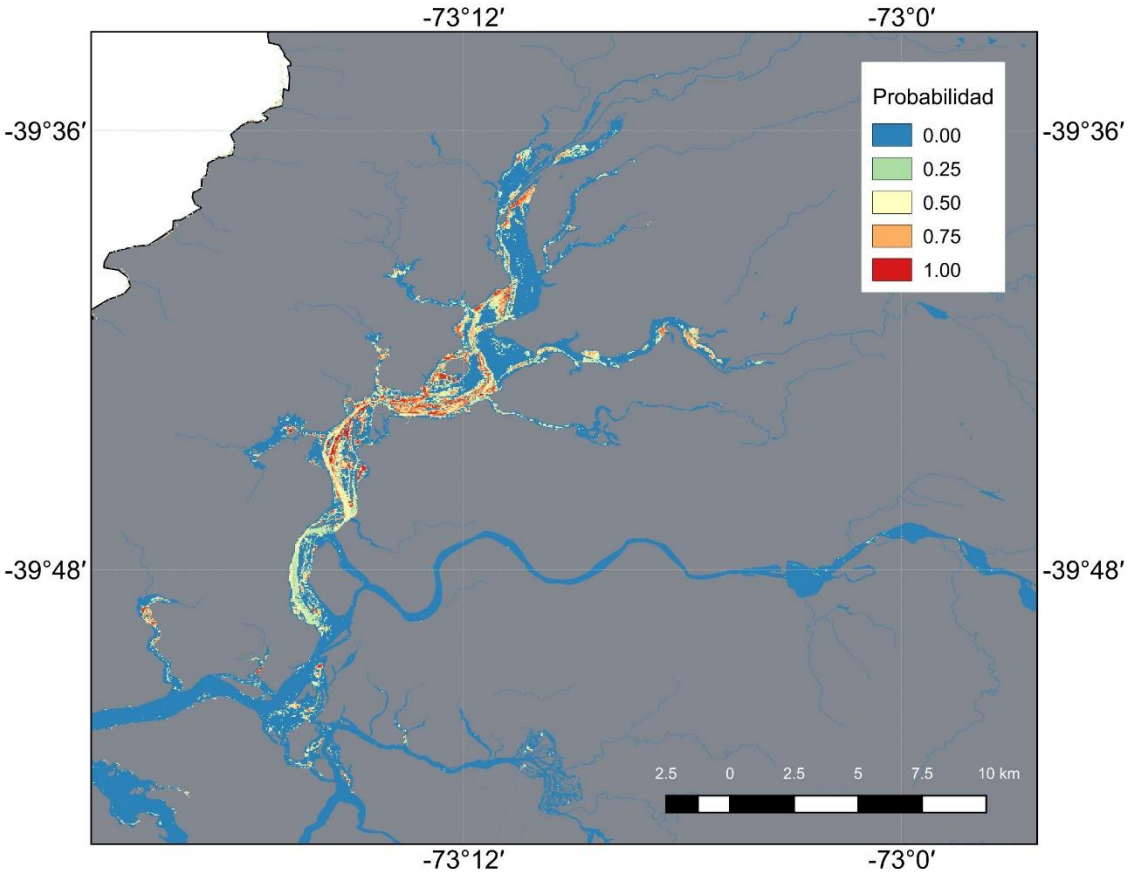


Figura 4.2.1.1.17. Distribución de *Egeria densa* (Luchecillo). La Figura ilustra la presencia del Luchecillo en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las seis validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono-específicos e imágenes LANDSAT 8.

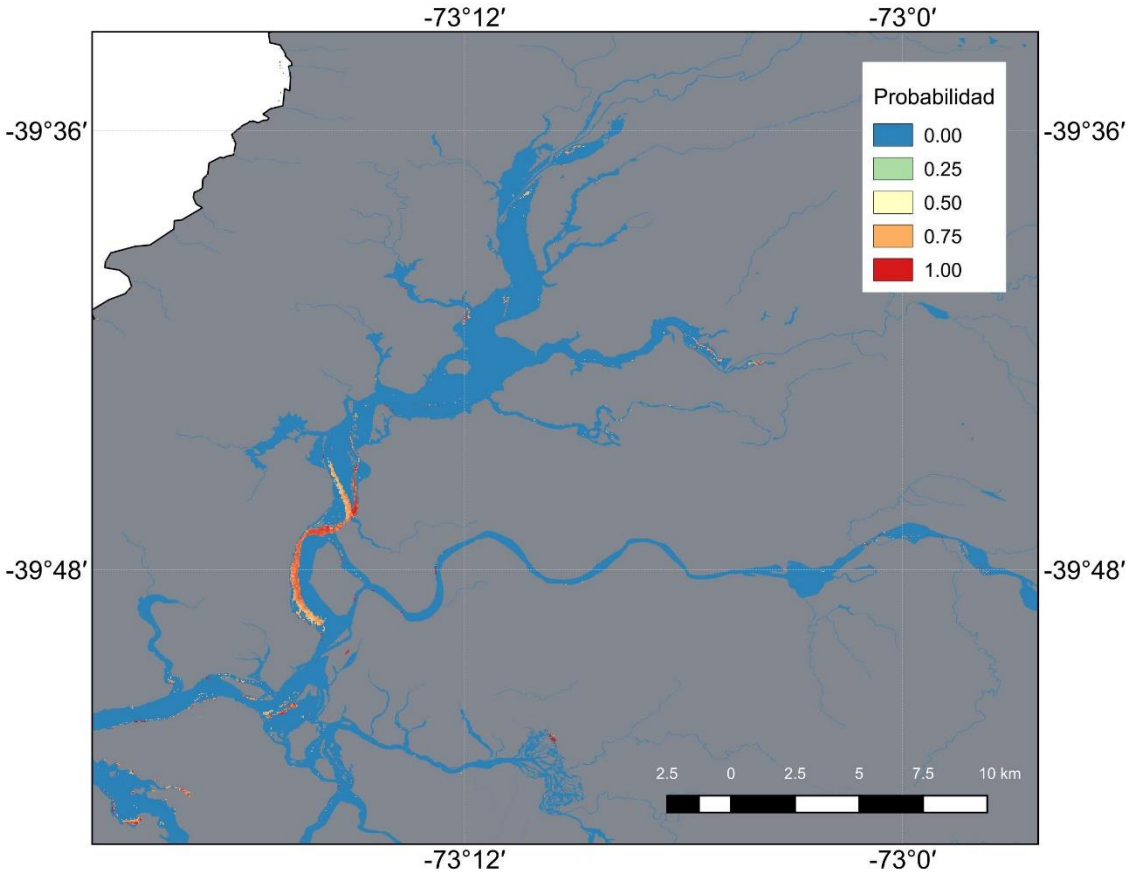


Figura 4.2.1.1.18. Distribución de *Potamogeton pusillus* (Huiro de agua dulce). La Figura ilustra la presencia del Huiro de agua dulce en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las seis validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono-específicos e imágenes LANDSAT 8.

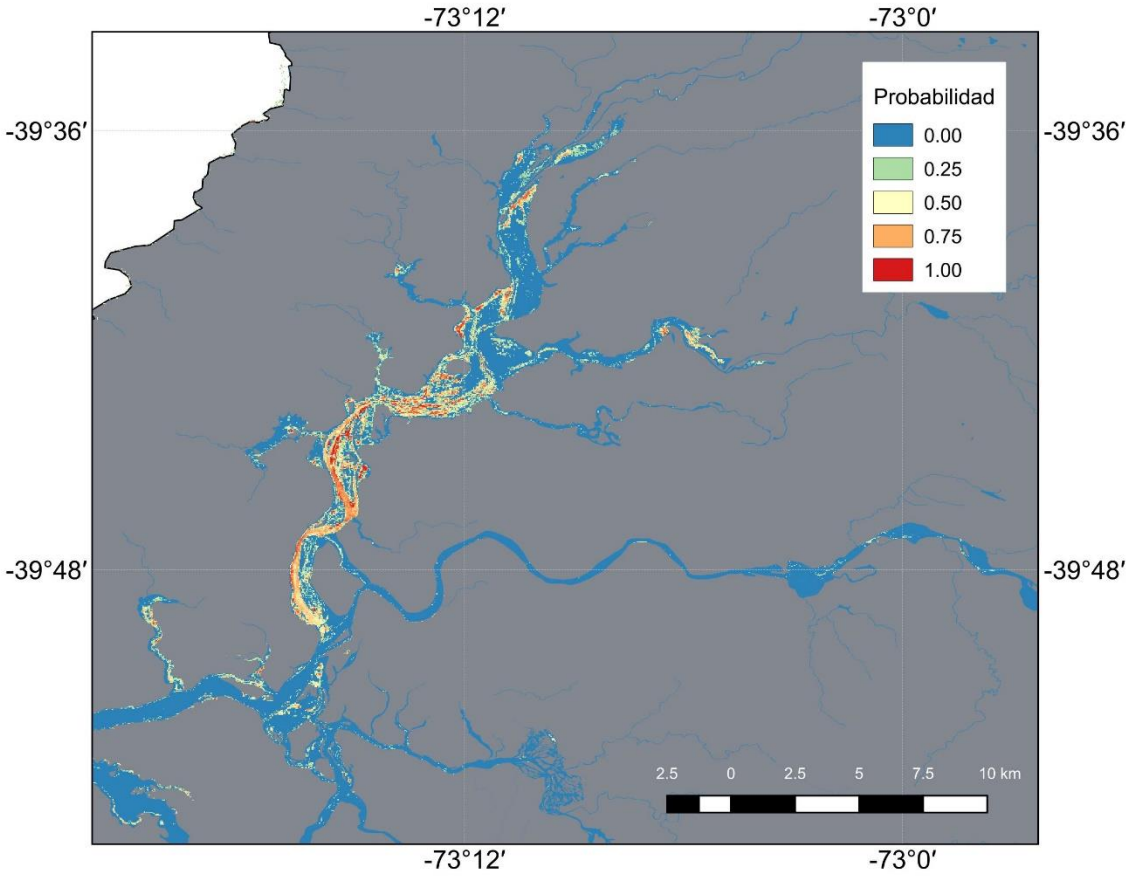


Figura 4.2.1.1.19. Distribución de *Potamogeton lucens* (Huiro verde). La Figura ilustra la presencia del Huiro verde en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las seis validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches multi y mono-específicos e imágenes LANDSAT 8.

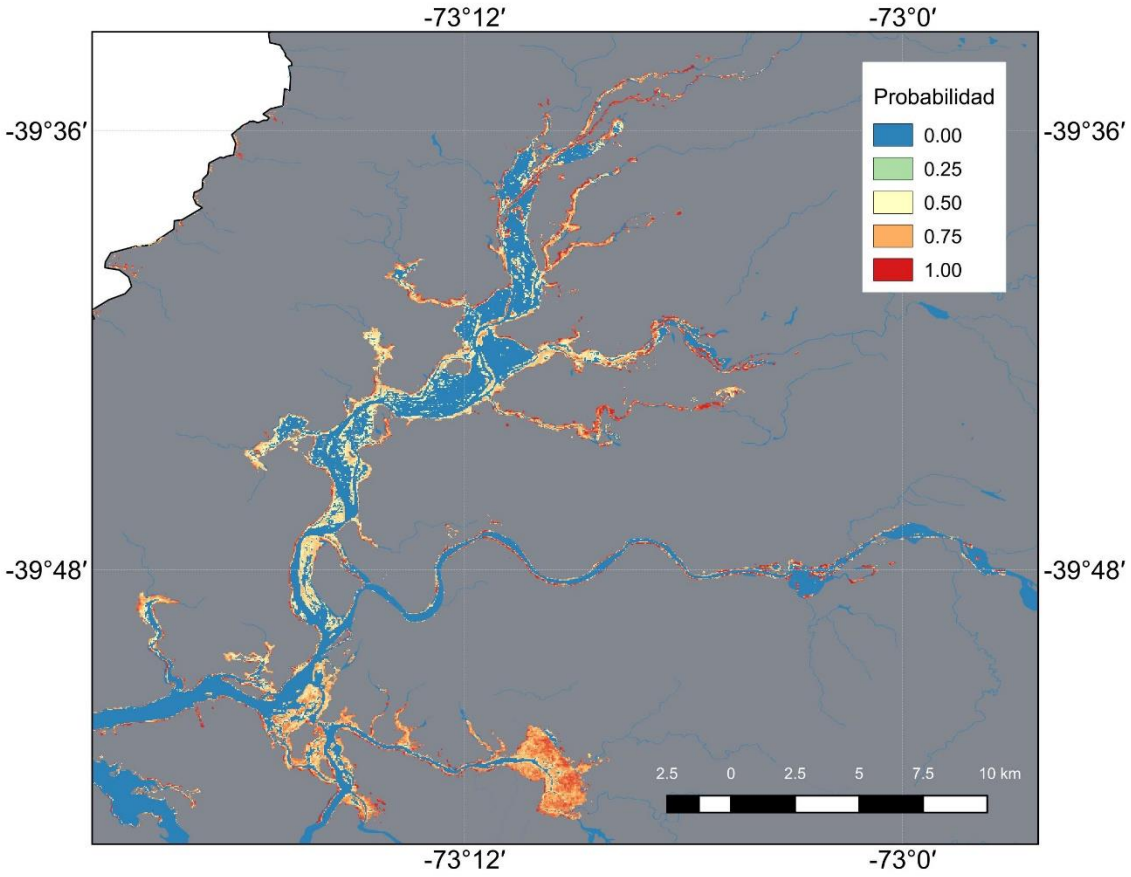


Figura 4.2.1.1.20. Distribución de *Nymphaea alba* (Loto). La Figura ilustra la presencia del Loto en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las seis validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono-específicos e imágenes LANDSAT 8.

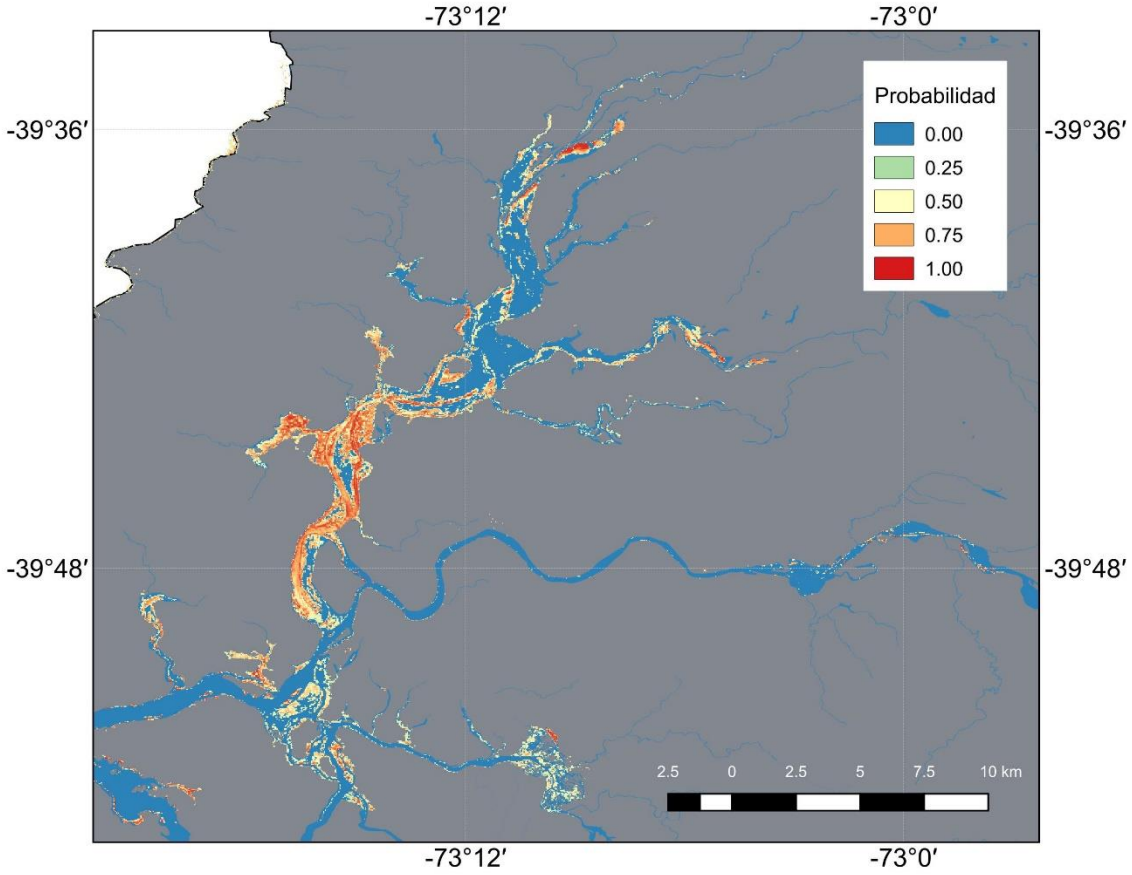


Figura 4.2.1.1.21. Distribución de *Schoenoplectus californicus* (Totora). La Figura ilustra la presencia de la Totora en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las seis validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono-específicos e imágenes LANDSAT 8.

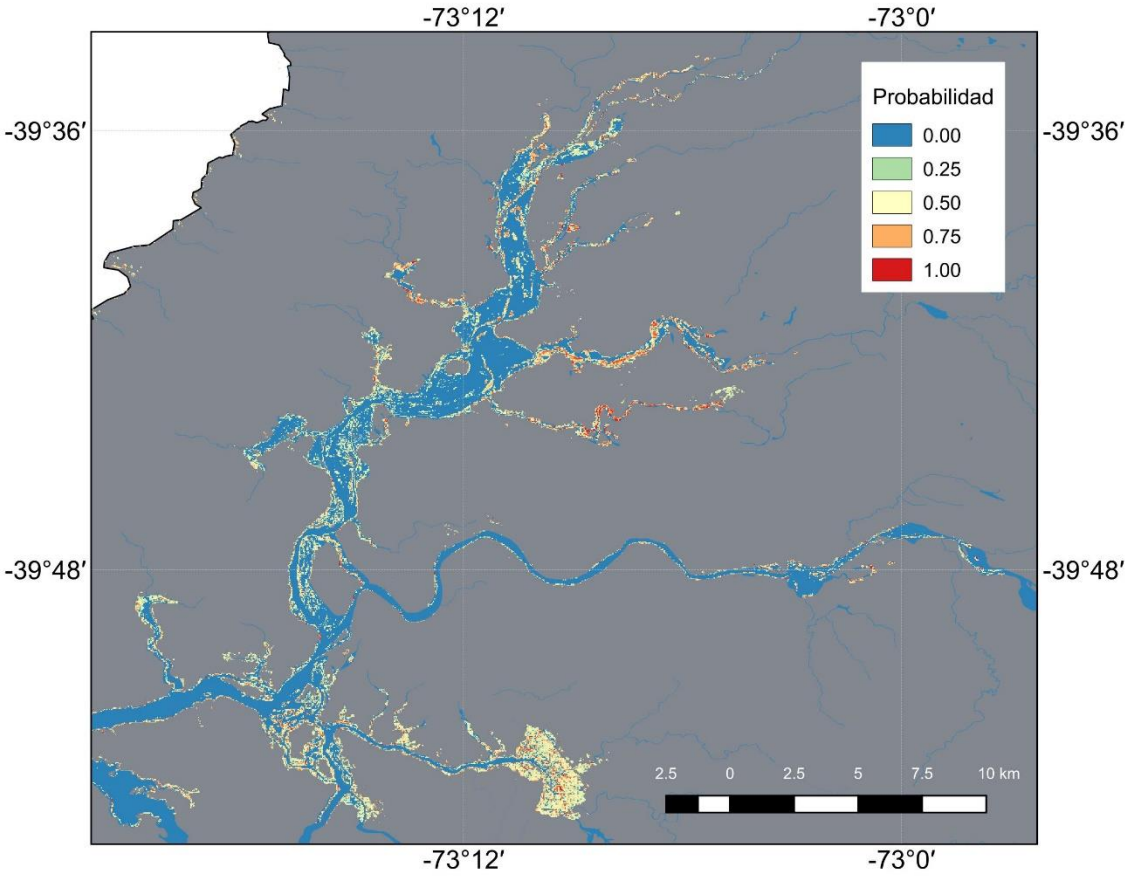


Figura 4.2.1.1.22. Distribución de *Ludwigia peploides* (Clavito de agua). La Figura ilustra la presencia del Clavito de agua en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las seis validaciones 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, *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 contrastar posibles impactos del uso de la versión 3.4.1 del algoritmo de modelamiento, y evaluar la presencia de tendencias temporales en la distribución de las macrófitas acuáticas estudiadas, 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 4.2.1.1.23 a 4.2.1.1.29 ilustran la variación espacial y temporal observadas para cada una de las macrófitas acuáticas estudiadas en los Programas de Diagnóstico y Monitoreo.

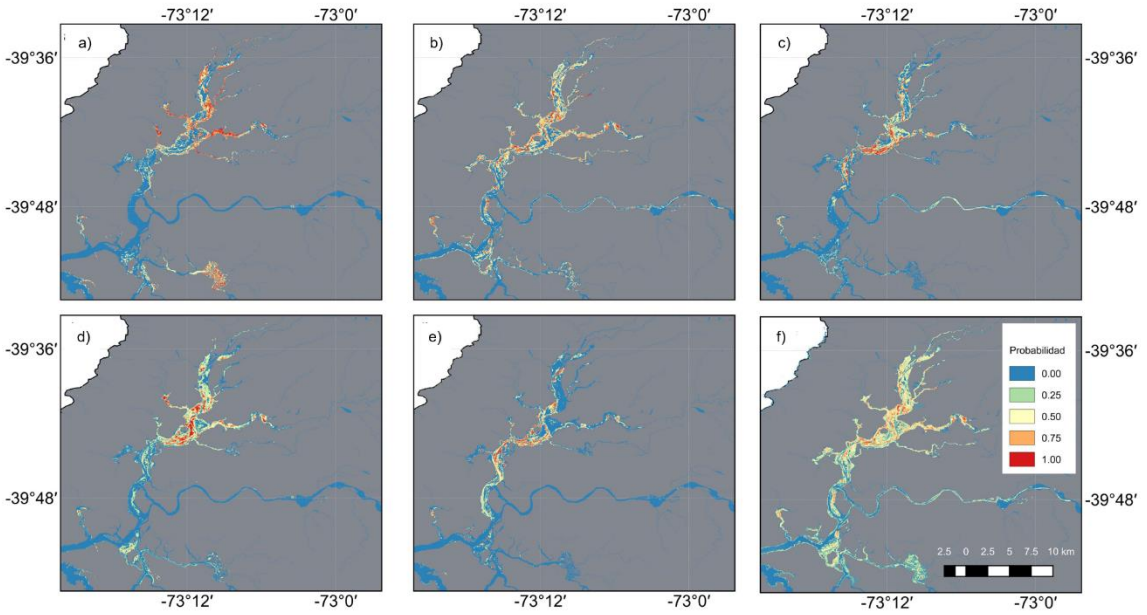


Figura 4.2.1.1.23. Serie de tiempo de distribución de *Egeria densa* (Luchecillo). La Figura ilustra la presencia del Luchecillo en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. La Figura ilustra los datos para a) 2014-2015; b) 2015-2016; c) 2016-2017; d) 2017-2018; e) 2018-2019 y f) promedio 2014-2019. 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.

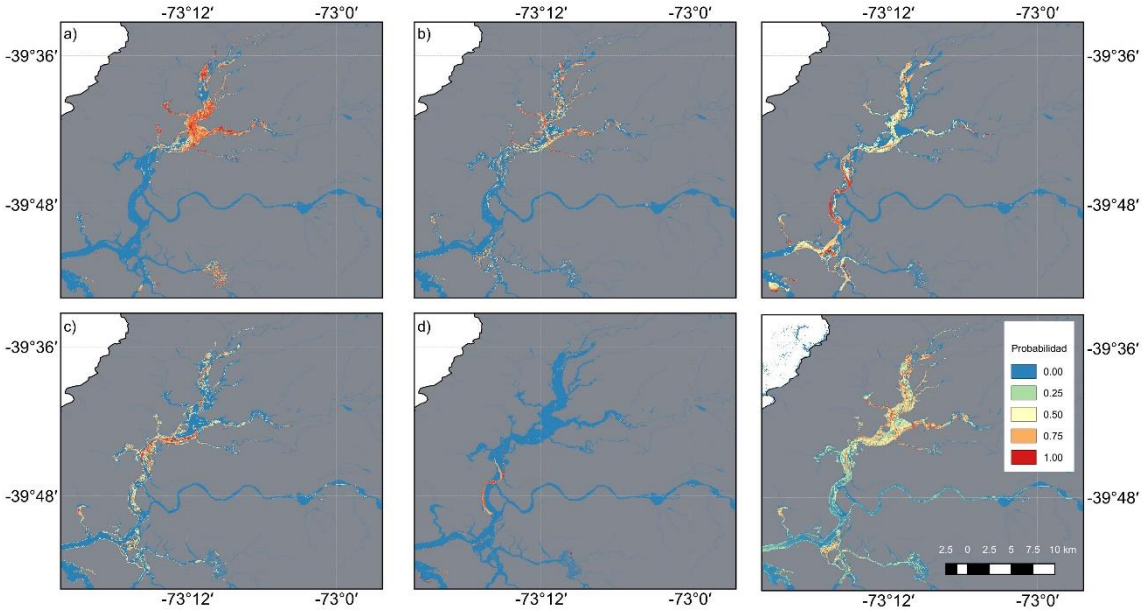


Figura 4.2.1.1.24. Serie de tiempo de distribución de *Potamogeton pusillus* (Huiro de agua dulce). La Figura ilustra la presencia del Huiro de agua dulce en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. La Figura ilustra los datos para a) 2014-2015; b) 2015-2016; c) 2016-2017; d) 2017-2018; e) 2018-2019 y f) promedio 2014-2019. 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.

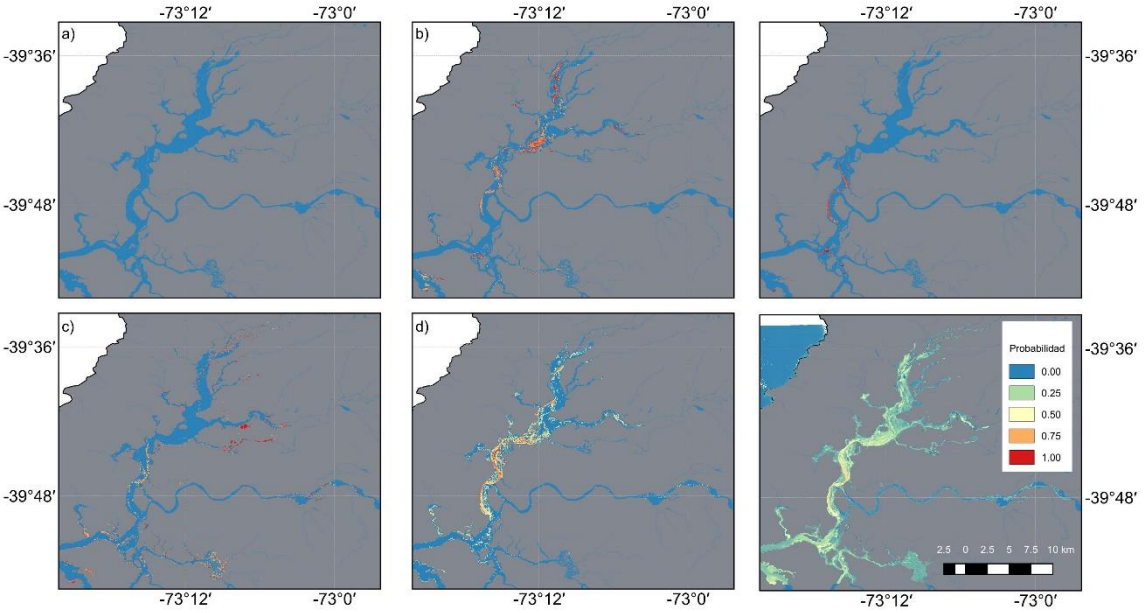


Figura 4.2.1.1.25. Serie de tiempo de distribución de *Potamogeton lucens* (Huiro verde). La Figura ilustra la presencia del Huiro verde en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. La Figura ilustra los datos para a) 2014-2015; b) 2015-2016; c) 2016-2017; d) 2017-2018; e) 2018-2019 y f) promedio 2014-2019. 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.

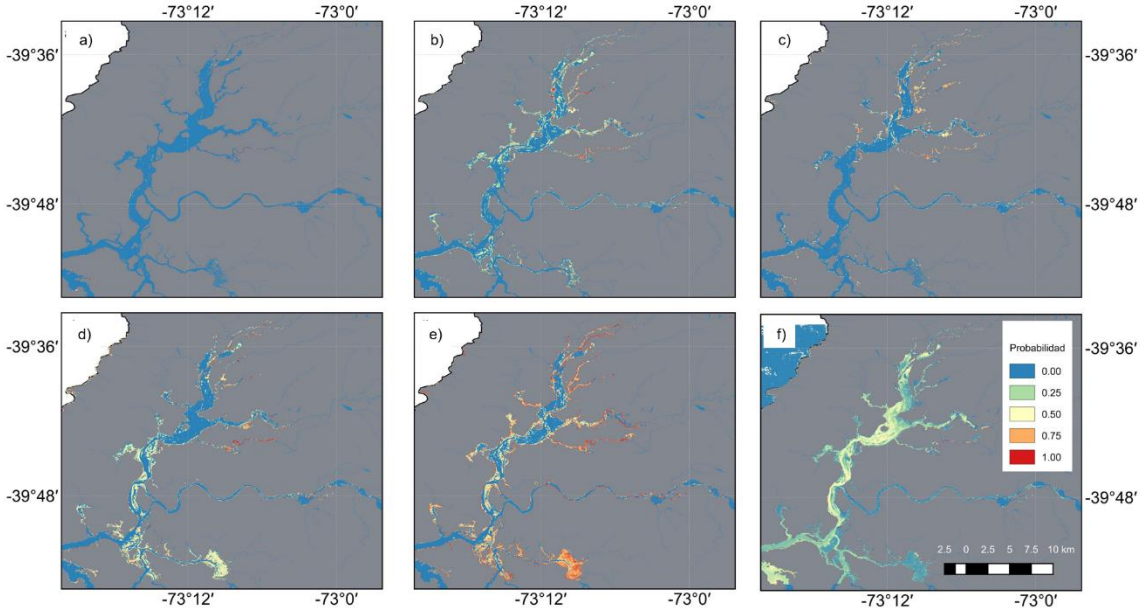


Figura 4.2.1.1.26. Serie de tiempo de distribución de *Nymphaea alba* (Loto). La Figura ilustra la presencia del Loto en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. La Figura ilustra los datos para a) 2014-2015; b) 2015-2016; c) 2016-2017; d) 2017-2018; e) 2018-2019 y f) promedio 2014-2019. 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.

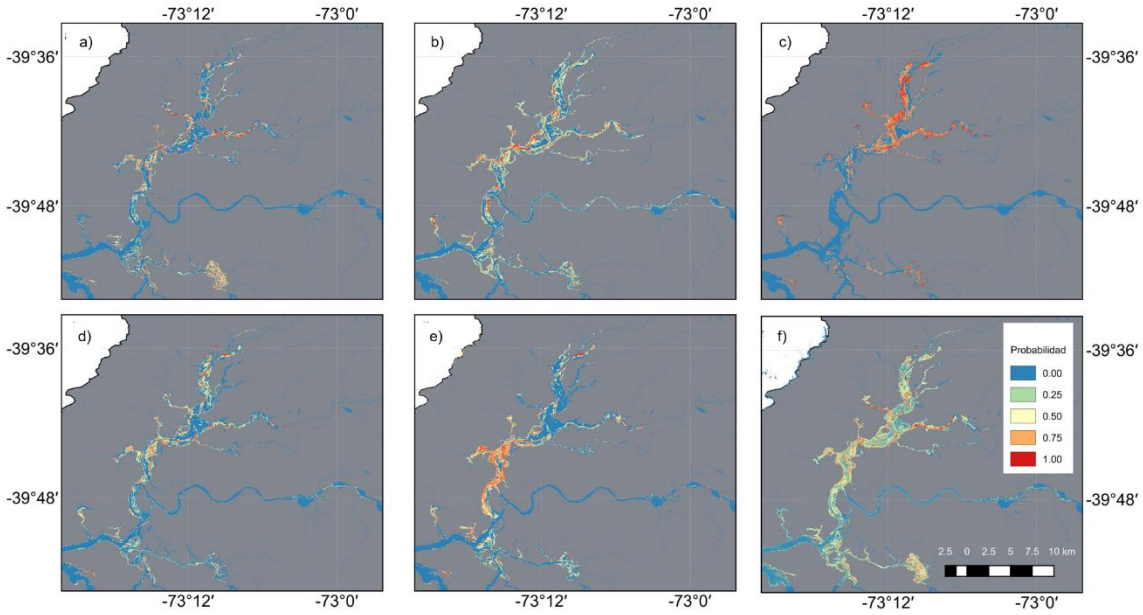


Figura 4.2.1.1.27. Serie de tiempo de distribución de *Schoenoplectus californicus* (Totora). La Figura ilustra la presencia de la Totora en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. La Figura ilustra los datos para a) 2014-2015; b) 2015-2016; c) 2016-2017; d) 2017-2018; e) 2018-2019 y f) promedio 2014-2019. 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.

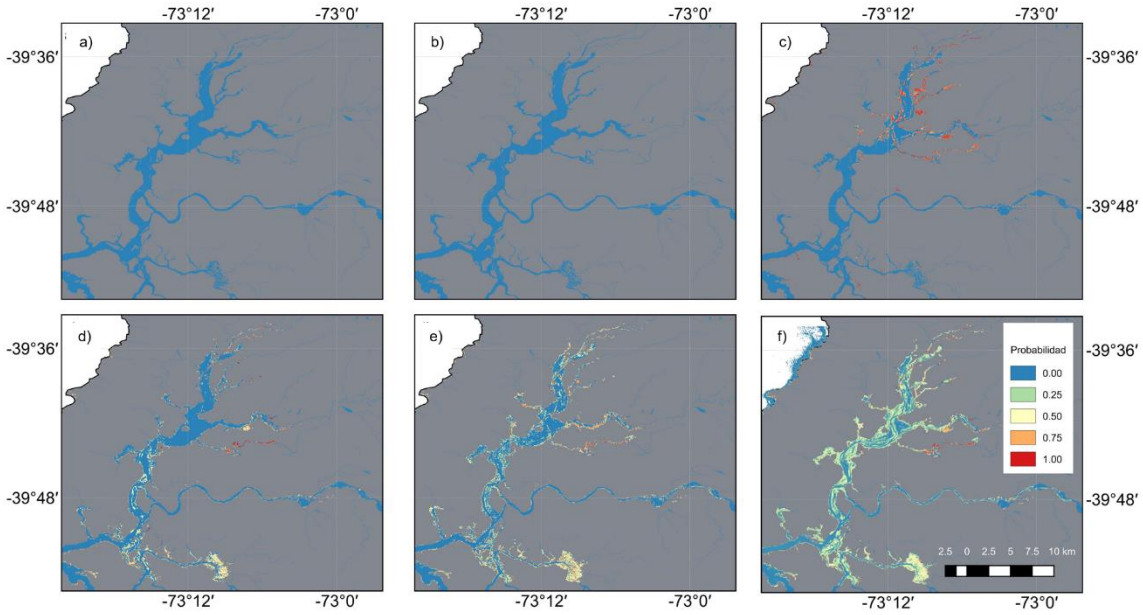


Figura 4.2.1.1.28. Serie de tiempo de distribución de *Ludwigia peploides* (Clavito de agua). La Figura ilustra la presencia del Clavito de agua en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. La Figura ilustra los datos para a) 2014-2015; b) 2015-2016; c) 2016-2017; d) 2017-2018; e) 2018-2019 y f) promedio 2014-2019. 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.

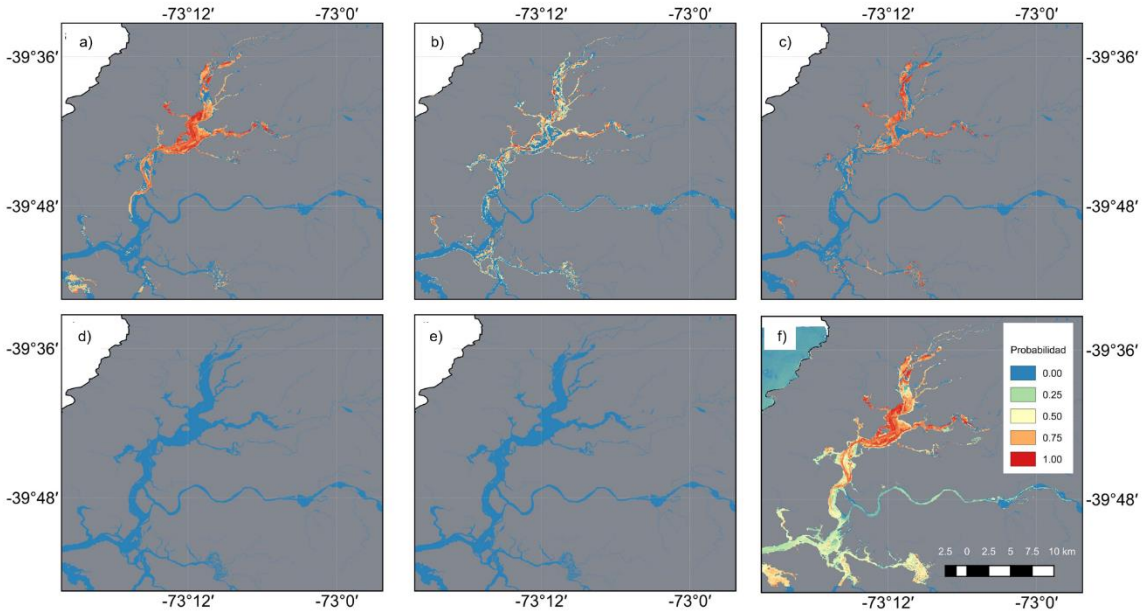


Figura 4.2.1.1.29. Serie de tiempo de distribución de *Sagittaria montevidensiss* (Flecha de Agua). La Figura ilustra la presencia de la Flecha de agua en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. La Figura ilustra los datos para a) 2014-2015; b) 2015-2016; c) 2016-2017; d) 2017-2018. 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 4.2.1.1.30 a 4.2.1.1.33 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 4.2.1.1.1). 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).

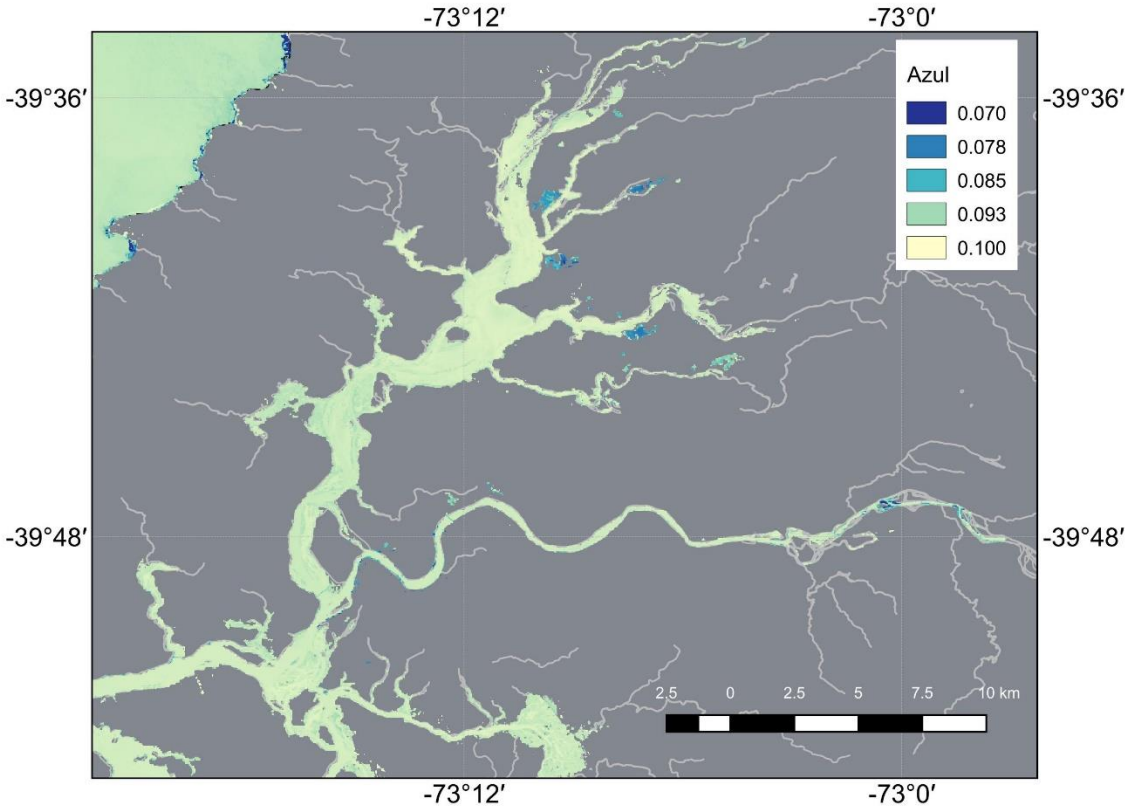


Figura 4.2.1.1.30. Reflectancia de la banda azul en el área de estudio. Se ilustra una imagen de pseudo-color, basada en la banda azul (banda 2) del sensor Landsat 8. La imagen corresponde al día 5 de febrero del año 2018. Imagen proyectada en coordenadas WSG 84.

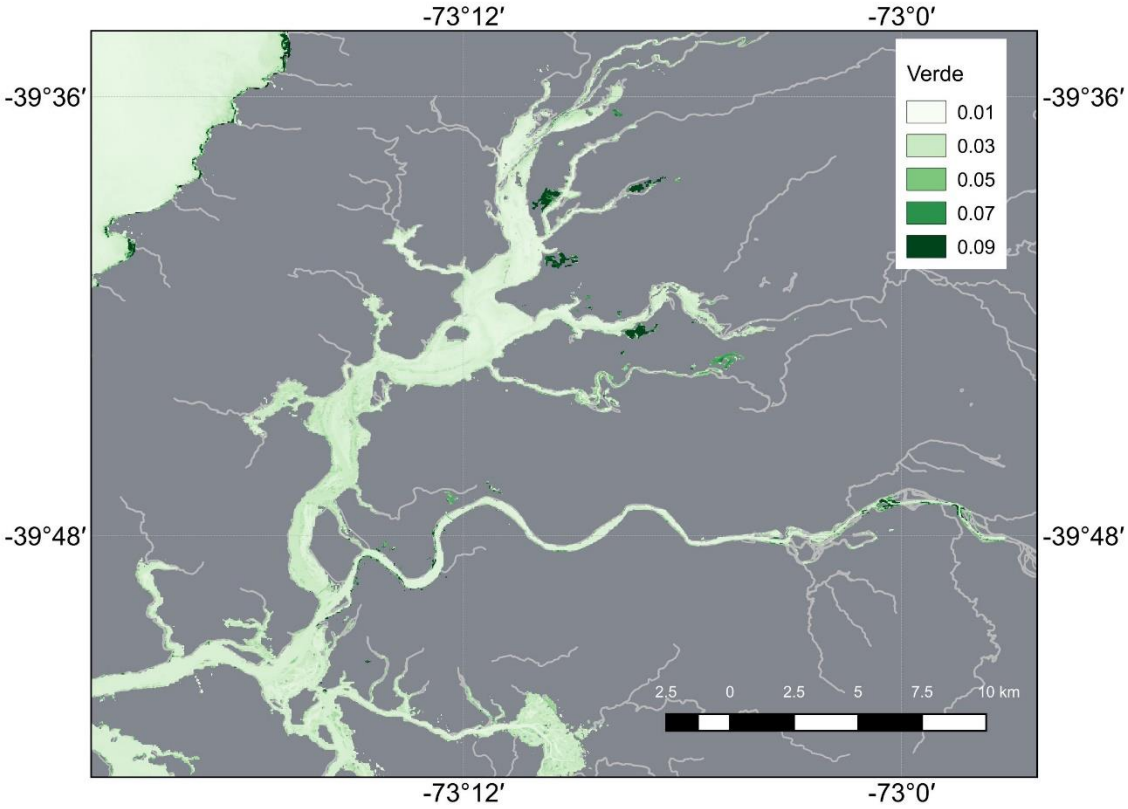


Figura 4.2.1.1.31. Reflectancia de la banda verde en el área de estudio. Se ilustra una imagen de pseudo-color, basada en la banda verde (banda 3) del sensor Landsat 8. La imagen corresponde al día 5 de febrero del año 2018. Imagen proyectada en coordenadas WSG 84.

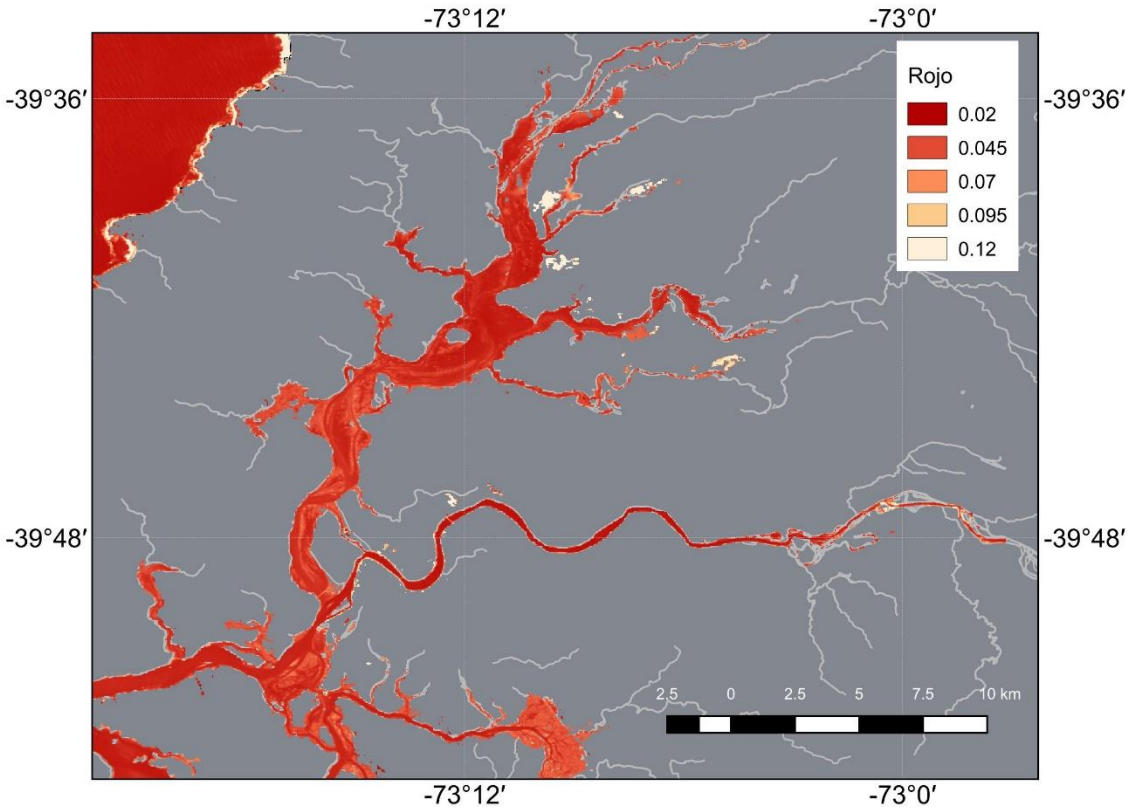


Figura 4.2.1.1.32. Reflectancia de la banda roja en el área de estudio. Se ilustra una imagen de pseudo-color, basada en la banda roja (banda 4) del sensor Landsat 8. La imagen corresponde al día 5 de febrero del año 2018. Imagen proyectada en coordenadas WSG 84.

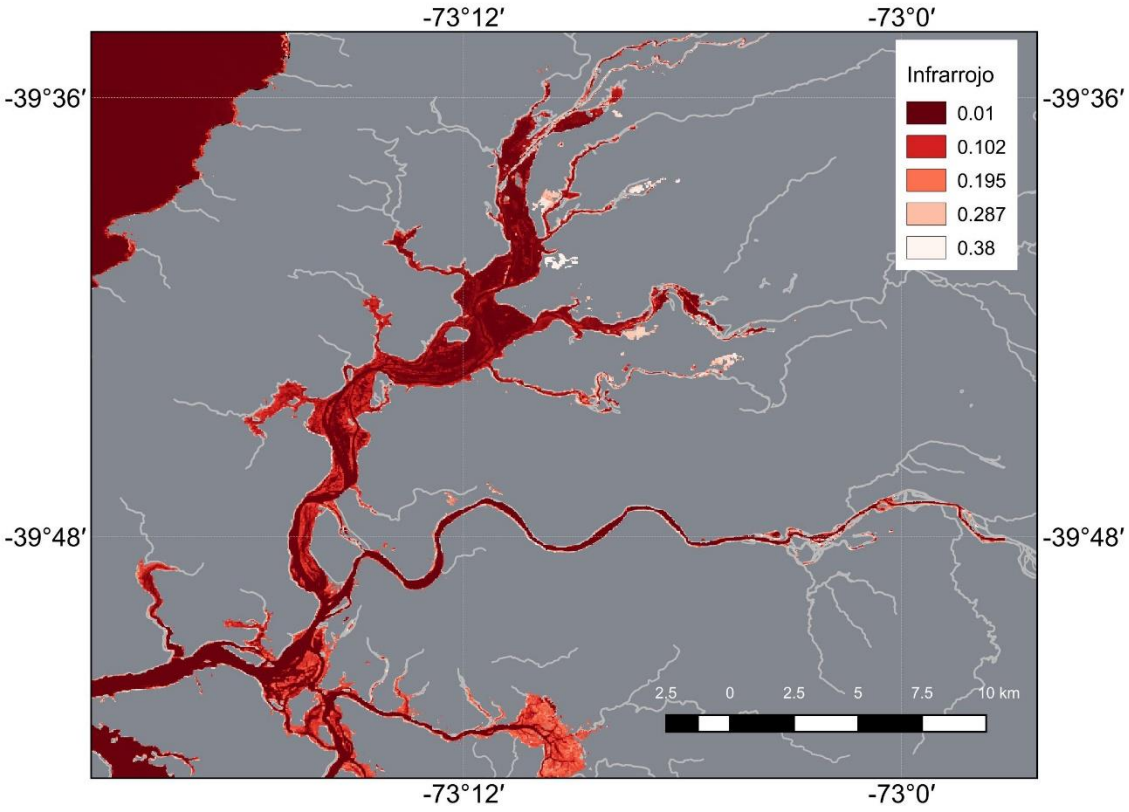


Figura 4.2.1.1.33. Reflectancia de la banda Infrarroja en el área de estudio. Se ilustra una imagen de pseudo-color, basada en la banda Infrarroja cercana (banda 5) del sensor Landsat 8. La imagen corresponde al día 5 de febrero del año 2018. Imagen proyectada en coordenadas WSG 84.

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. 4.2.1.1.8), es posible relacionar nuestros resultados con las grandes zonas descritas en el trabajo de Lagos *et al.* (2008). En la

Figura 4.2.1.1.34 se muestra la ubicación relativa de las grandes tres zonas, y los polígonos correspondientes a cada uno de los sectores estudiados.

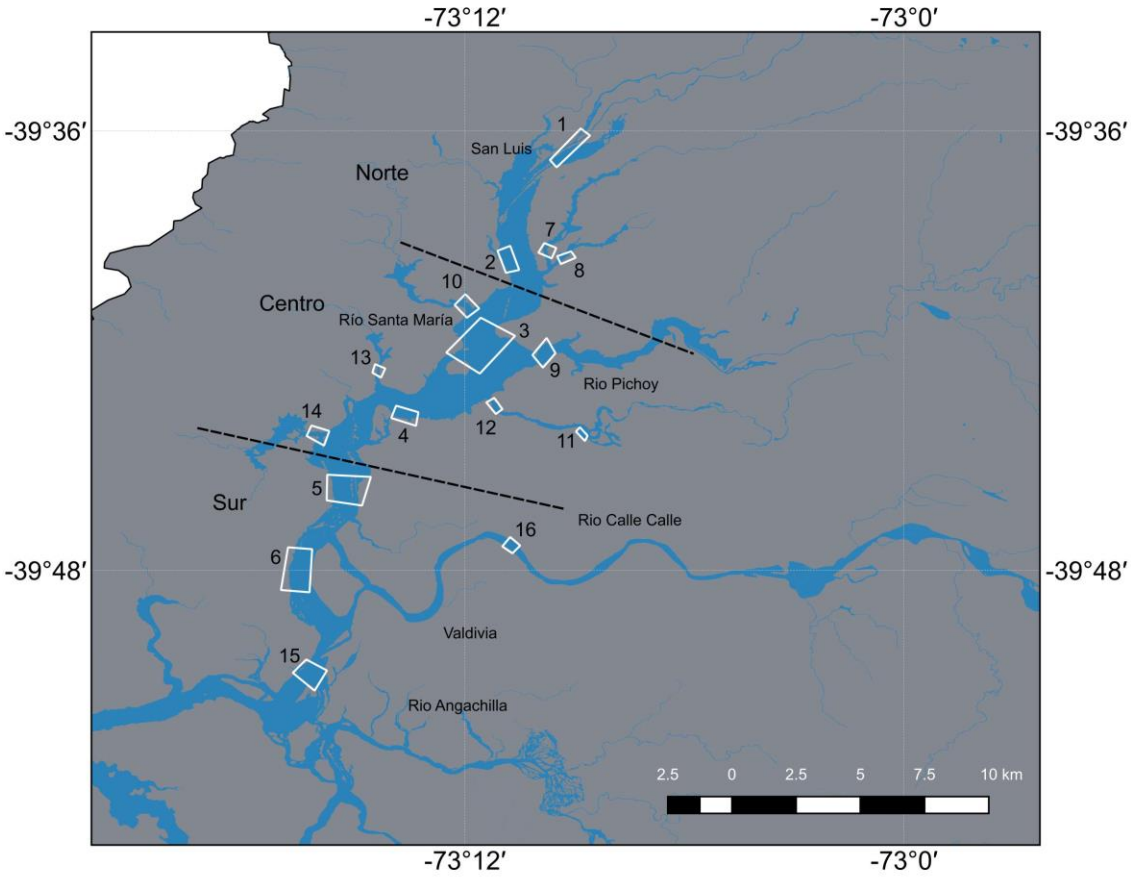


Figura 4.2.1.1.34. Definición de zonas dentro del humedal. Se ilustran las tres zonas principales del humedal (norte, centro y sur), junto con los polígonos para cada sector de estudio para el cálculo de cobertura de macrófitas acuáticas y estimación de parámetros de calidad de agua. La imagen de fondo 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. 4.2.1.1.35), solo se observan diferencias en

los valores de reflectancia para los datos correspondientes al infrarrojo cercano, que son levemente mayores en los sectores de Nanihue, San Luis y Cudico. Sin embargo, cabe señalar que estos valores están dos ordenes de magnitud por debajo a lo observado anteriormente por Lagos *et al*. (2008), y que su magnitud es cerca de la mitad de lo observado en el año 2017, indicando una mejor calidad del agua en el HRC para estos sectores.

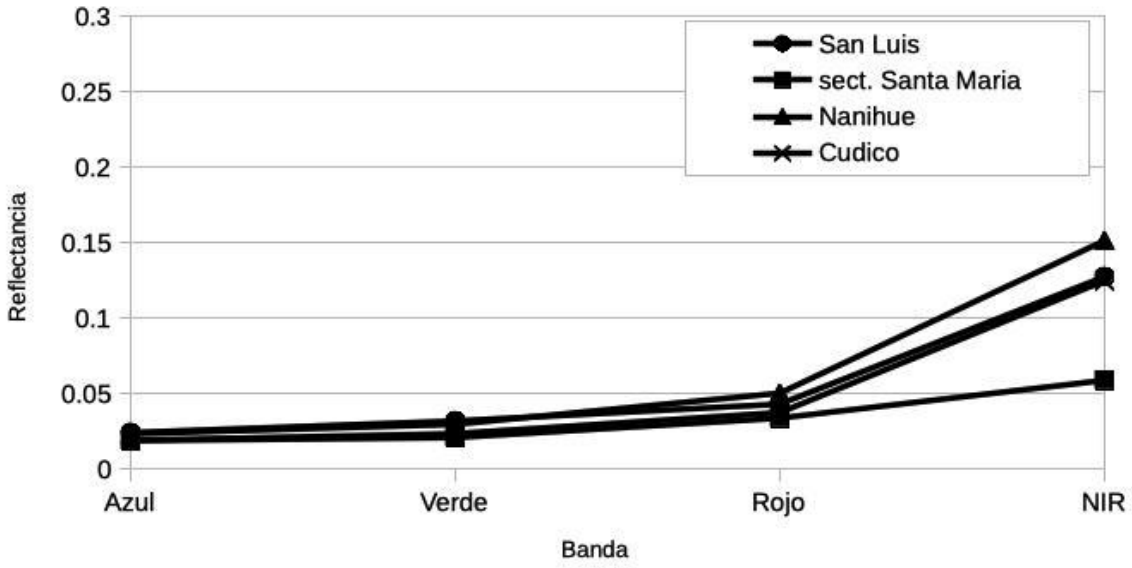


Figura 4.2.1.1.35. Variación espacial en la reflectancia el sector norte del humedal. Se ilustra el valor promedio de reflectancia observada para las bandas azul, verde, roja e infrarroja cercana del sensor Landsat 8.

En el sector central del humedal también se observa un perfil de reflectancia con valores menores, indicando una mejor calidad del agua, siendo un orden de magnitud menor a lo observado en el periodo estival 2016-2017. De manera similar a lo observado en los primeros años 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 Chorocamayo (polígonos

11, 12, 13 y 4 respectivamente), la calidad del agua es mucho mejor, presentando valores correspondientes a una mayor transparencia del agua (Fig. 4.2.1.1.34 y 4.2.1.1.35). En este caso, no se evidencian patrones claros de diferenciación en un gradiente local, sino que todas las localidades en el sector central se asemejan en sus perfiles de reflectancia (Fig. 4.2.1.1.35 y 4.2.1.1.36). De manera similar a lo reportado durante losdos 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.

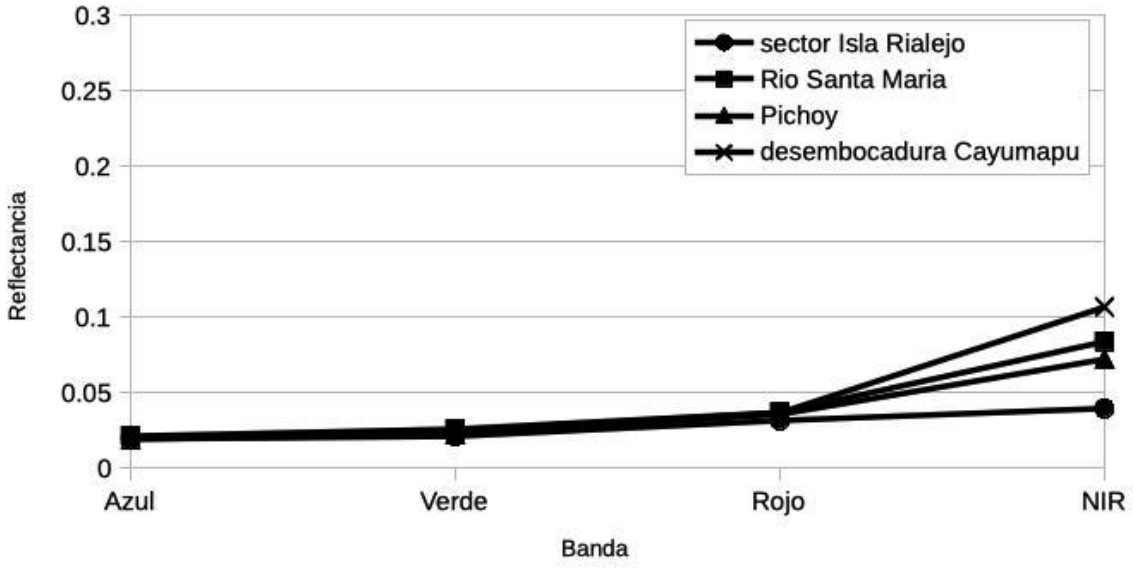


Figura 4.2.1.1.36. Variación espacial en la reflectancia el sector central del humedal. Se ilustra el valor promedio de reflectancia observada para las bandas azul, verde, roja e infrarroja cercana del sensor Landsat 8.

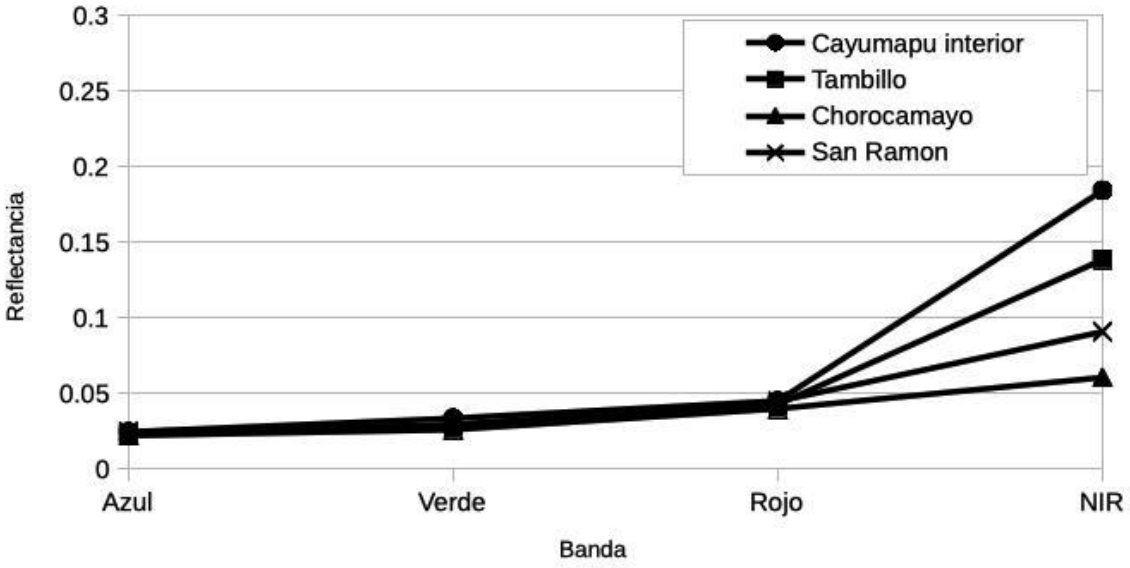


Figura 4.2.1.1.37. Variación espacial en la reflectancia el sector central del humedal. Se ilustra el valor promedio de reflectancia observada para las bandas azul, verde, roja e infrarroja cercana del sensor Landsat 8.

Finalmente, el sector sur del humedal presenta valores levemente más bajos de reflectancia, y por ende mayor transparencia del agua (Fig. 4.2.1.37). En todos los sectores y sitios de estudio, se observaron reflectancias relativamente minimos en la banda roja cercana, sumados a valores levemente mayores en la banda infrarroja cercana. Este patrón de reflectancia es consistente con la presencia de macrófitas acuáticas en estos sitios.

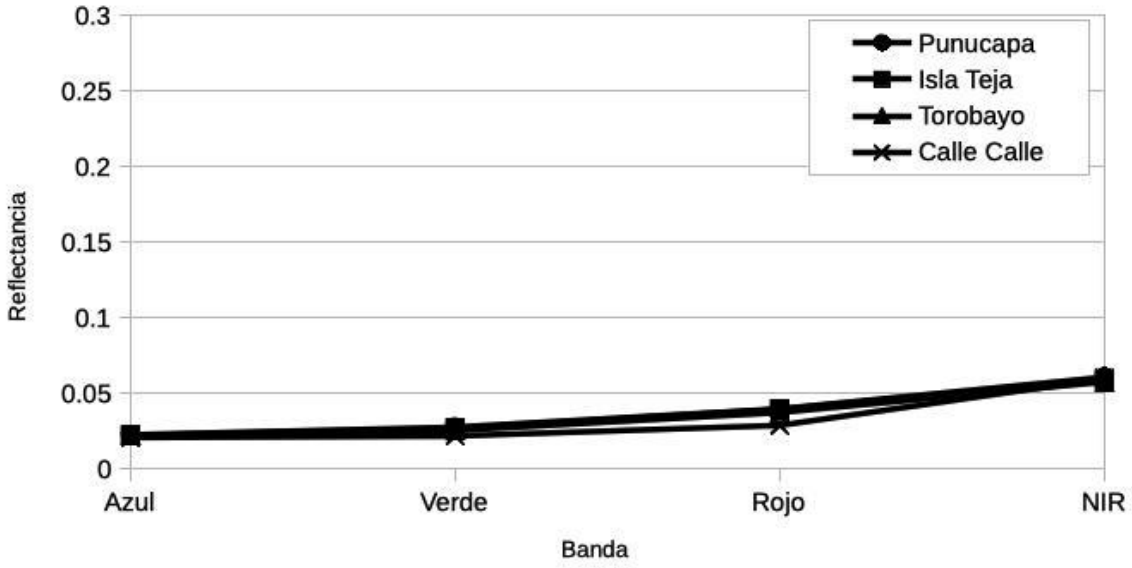


Figura 4.2.1.1.38. Variación espacial en la reflectancia el sector sur del humedal. Se ilustra el valor promedio de reflectancia observada para las bandas azul, verde, roja e infrarroja cercana del sensor Landsat 8.

4.2.1.1.5. Conclusiones

• Respecto a la transparencia del agua, se mantiene una tendencia similar a la de años anteriores, donde se observa que el área de estudio en general - pero particularmente en su zona central - se caracteriza por presentar una mayor transparencia, con valores más bajos de reflectancia. 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. 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.

• Durante el periodo estival 2018-2019, la distribución espacial de las macrófitas acuáticas dominantes fueron muy similar a la documentada en el año 2014, particularmente para el caso de *Egeria densa* (Luchecillo).

• 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. Sin embargo, dos excepciones importantes las constituyen *Potamogeton pusillus* (Huiro de agua dulce) y *Sagittaria montevidensis* (Flecha de agua): reducción importante de la distribución del Huiro de agua dulce y ausencia de la Flecha de agua en el HRC. La reducción del *P. pusillus* (Huiro de agua dulce) podría ser el reflejo de interacciones competitivas o bien la presencia de barreras a su distribución espacial en el humedal. Actualmente, *Potamogeton lucens* (Huiro verde) presenta una mayor distribución y

abundancia, mientras que el Huiro de agua dulce presenta menores abundancias.

• Se ha observado que la Flecha de Agua ha disminuido su distribución espacial en el área hasta estar prácticamente ausente del humedal; también se ha constatado que *Ludwigia peploides* (Clavito de agua) ha aumentado de forma paulatina su distribución espacial en el área. Ello refuerza la conclusión de que la composición de las macrófitas acuáticas no se encuentra en equilibrio en el humedal, y 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. Para la primera de estas macrófitas, la distribución de habitat idóneo es mucho más amplia, mientras que para la segunda se observa un patrón más parchoso y ribereño, con ambas especies presentando condiciones más idóneas asociadas a las ribera 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.

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 atmo- spheres 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.

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.

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 cuarto año del Programa de Monitoreo Ambiental del Humedal del río Cruces y sus ríos Tributarios (HRC) (corresponden al periodo abril 2018 - marzo 2019), 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 y tercer 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 2018.
- 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 2018.
- Comparar los resultados anteriores con los obtenidos durante el primer, segundo y tercer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2015 - marzo 2016, y abril 2016 - marzo 2017, 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 8 y 10 de mayo de 2018 (campaña de otoño) y el 12 y 20 de noviembre de 2018 (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.

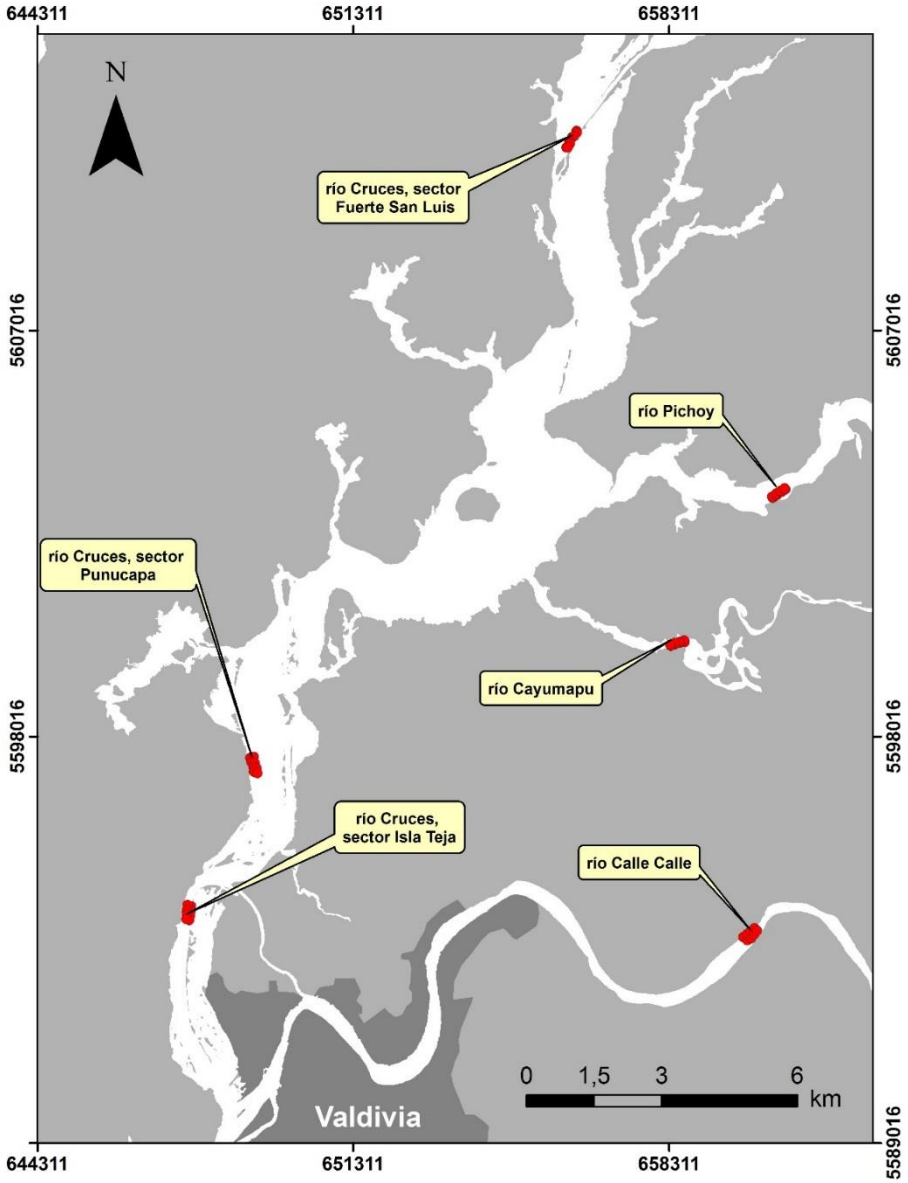


Figura 4.2.2.1. Ubicación de los sitios de muestreo seleccionadas para el estudio de la macroinfauna bentónica de fondos sedimentarios. En cada uno de los sitios se obtuvieron cuatro muestras en las orillas (<1.5 m de profundidad) y cuatro en los cauces de los mismos (>2.5 m de profundidad).

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 4.2.2.6 muestran los valores porcentuales de los contenidos de grava, arena, fango, agregados biogénicos, materia orgánica total y tamaño de las partículas correspondientes a la fracción de arena durante el año 2018. Las tablas 4.2.2.7 y 4.2.2.8 corresponden a los valores obtenidos en los sedimentos analizados para pH y redox respectivamente.

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, durante la primavera del año 2015 y 2018 en el sector Punucapa y Cayumapu también ocurrieron altas proporciones de grava, 32,1% y 29,1% respectivamente (Tabla 4.2.2.1).

Las mayores proporciones de esta fracción textural ocurrieron en los cauces de los sectores San Luis e Isla Teja, específicamente durante otoño del año 2017 (49,3% y 53,9% respectivamente) y durante la primavera del año 2018 (49,8% y 57,1% en ambos sectores respectivamente) (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 de las orillas del sector Isla Teja; *i.e.,* el contenido de los mismos tendió a aumentar en el tiempo.

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, 2016, 2017 y 2018. 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)
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)

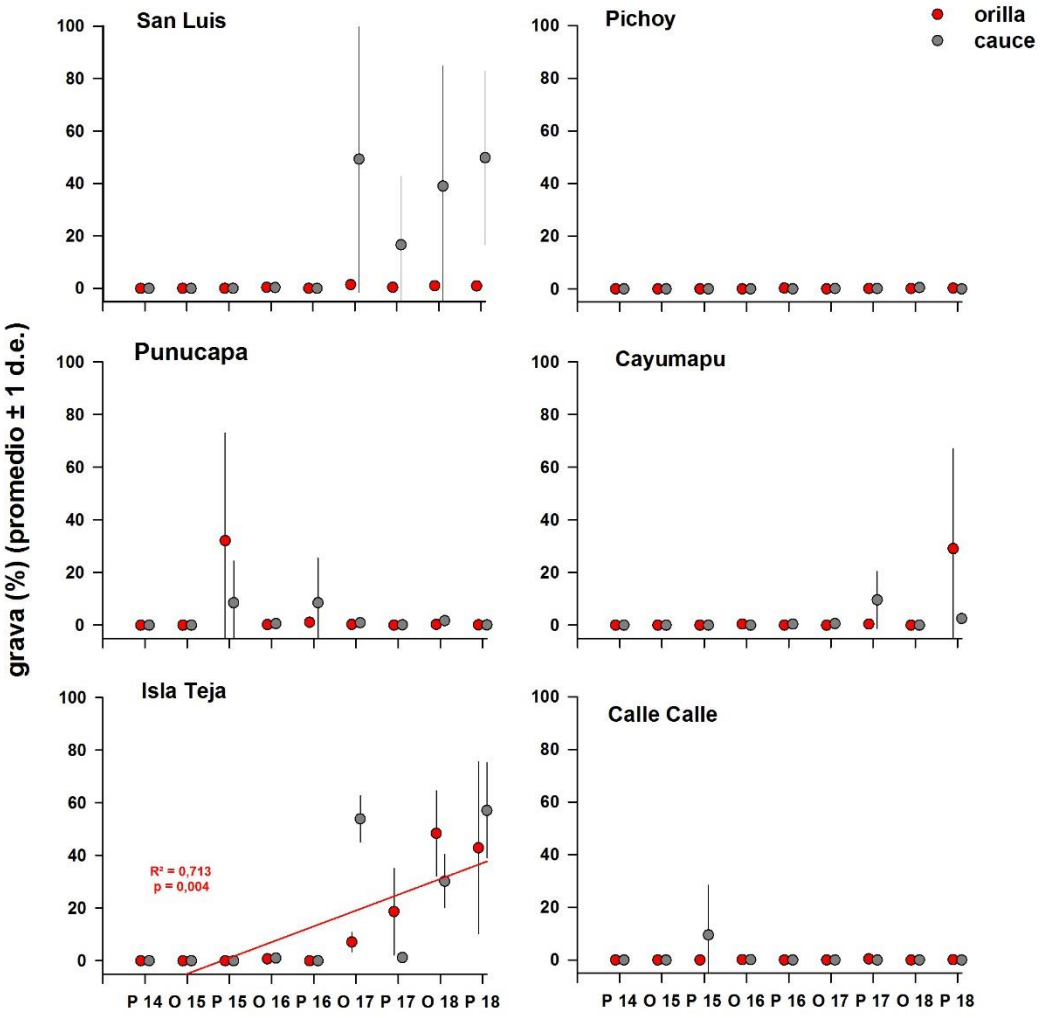


Figura 4.2.2.2. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio de grava contenida en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores son 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 todo el periodo de estudio (Tabla 4.2.2.2). En efecto más del 90% de esta fracción se han registrado en el cauce de los ríos Pichoy y Calle Calle, primavera del año 2014, San Luis, Isla Teja, Pichoy y Calle Calle durante el otoño del año 2015, Pichoy durante el otoño de los años 2016 y 2017, en el Calle Calle durante el otoño del año 2018 y en Pichoy durante la primavera del año 2018 (Tabla 4.2.2.2).

A su vez, valores más bajos en los sedimentos (partículas comprendidas entre 63 y 2000 µm) del cauce ocurrieron en Punucapa durante otoño del año 2016, Punucapa, Isla Teja y Cayumapu durante la primavera del año 2016, y en Cayumapu durante otoño del año 2018 (<10%) (Tabla 4.2.2.2). Las orillas de los sitios estudiados presentaron los valores porcentuales más altos en los sectores Isla Teja, río Pichoy y Calle Calle durante la primavera del año 2014, Isla Teja y Pichoy durante otoño del año 2015, y en río Pichoy durante el otoño del año 2018 (>70%) (Tabla 4.2.2.2). Por otra parte, los valores porcentuales más bajos registrados para la orilla ocurrieron en San Luis, durante la primavera del año 2016, en Cayumapu durante el otoño y la primavera del año 2016, la primavera del año 2017, y en el otoño del año 2018 (<10%) (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 del cauce en el sector San Luis y en los sedimentos de orilla del sector Punucapa.

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, 2016, 2017 y 2018. 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)
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)

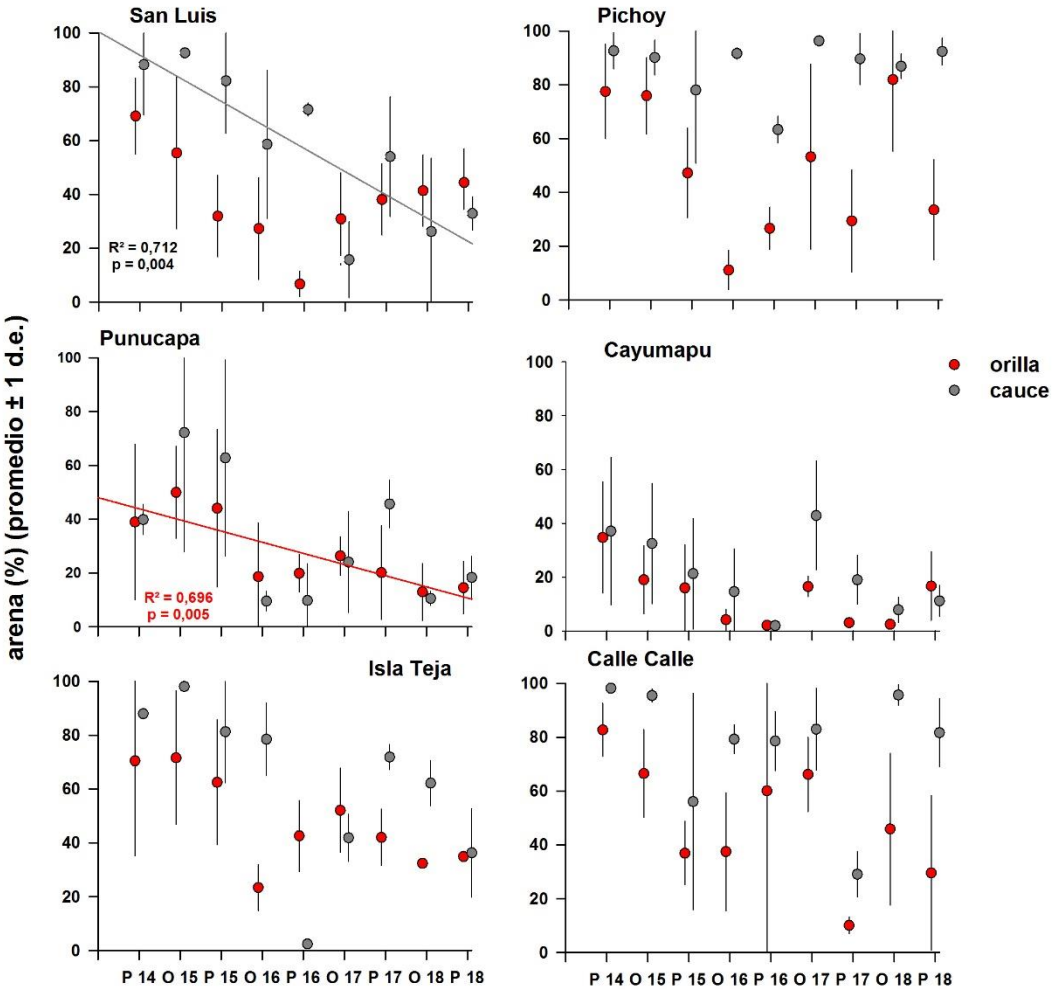


Figura 4.2.2.3. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio de arena contenida en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores son 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. Los mayores porcentajes se han dado en el sector San Luis durante la primavera del año 2016, y en el sector Cayumapu en el otoño del año 2018 (>80%); seguido por el sector Punucapa durante el otoño y primavera del año 2018 (>77%) (Tabla 4.2.2.3). Por el contrario, los valores porcentuales más bajos de fango en los sedimentos de orilla se presentaron durante la primavera del año 2014 en los ríos Pichoy y Calle Calle (11,1% y 11,3% respectivamente), y en Isla Teja en el otoño del año 2018 (8,8%) (Tabla 4.2.2.3).

Por otra parte, el fango contenido en las muestras de los cauces presentó las mayores proporciones durante la primavera y el otoño del año 2018 en Punucapa, y en la primavera del año 2018 en Cayumapu y Calle Calle (>65%) (Tabla 4.2.2.3). A su vez, las menores proporciones se presentaron en; Isla Teja durante los otoños de los años 2015 y 2017, en el 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 en el sector Punucapa (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, 2016, 2017 y 2018. 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)
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)

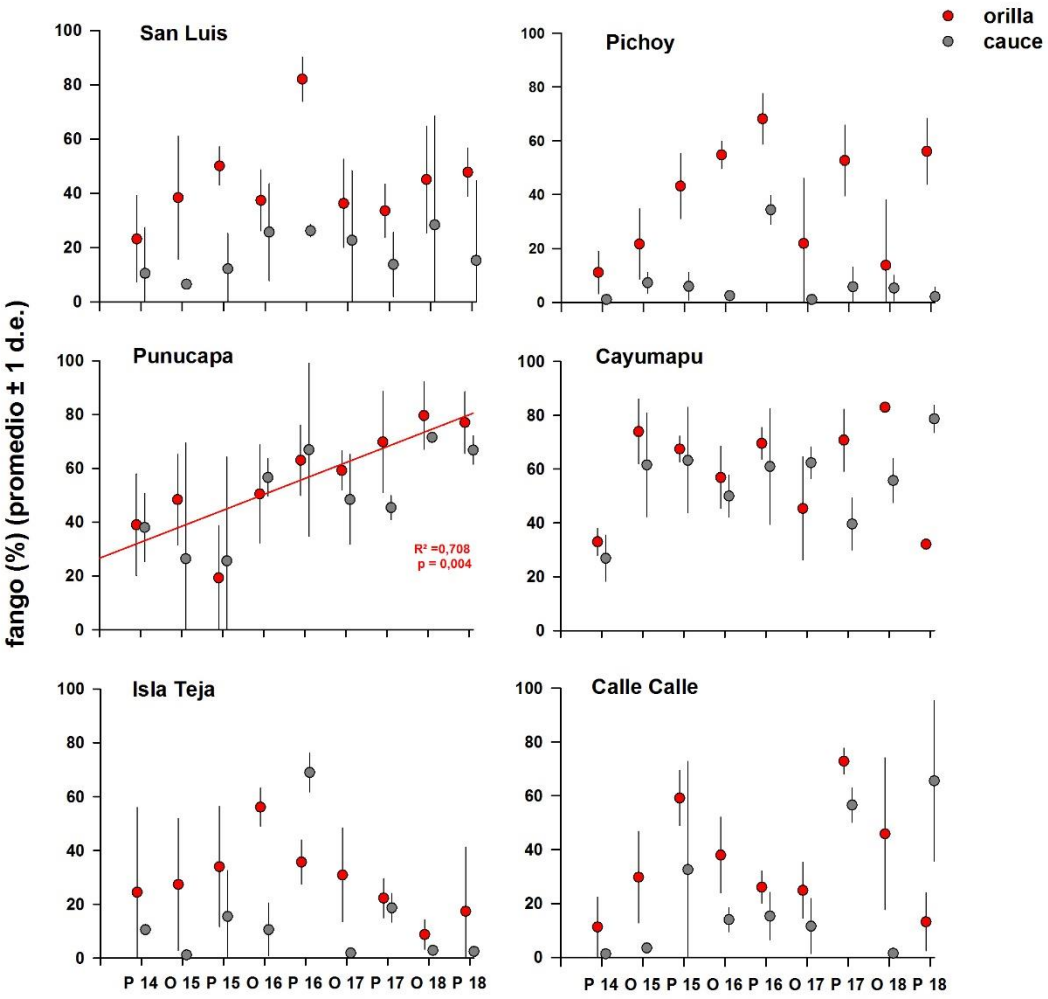


Figura 4.2.2.4. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio de fango contenido en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores son 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 (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 ocurrieron en el río Calle Calle durante la primavera del año 2014 y en Punucapa e Isla Teja durante el otoño del año 2015 (<2%) (Tabla 4.2.2.4).

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, 2016, 2017 y 2018. 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)
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)

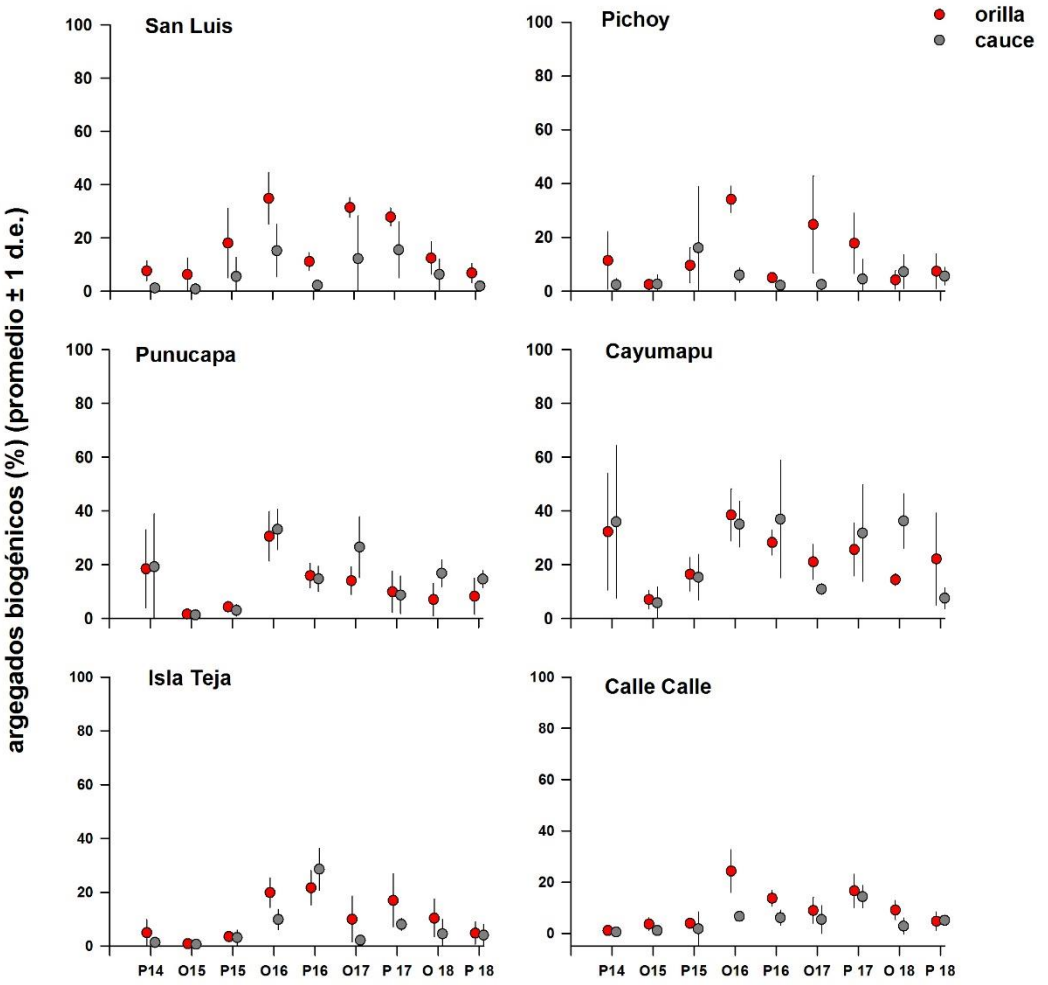


Figura 4.2.2.5. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio de agregados biogénicos contenidos en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016 2017 y 2018. 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 presentaron una mayor uniformidad entre la orilla y 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 la orilla del sector Punucapa durante la primavera del año 2017, en río Cayumapu durante la primavera del 2016, y en Calle Calle durante la primavera del año 2018 (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 el 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 y 2018. 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)
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)

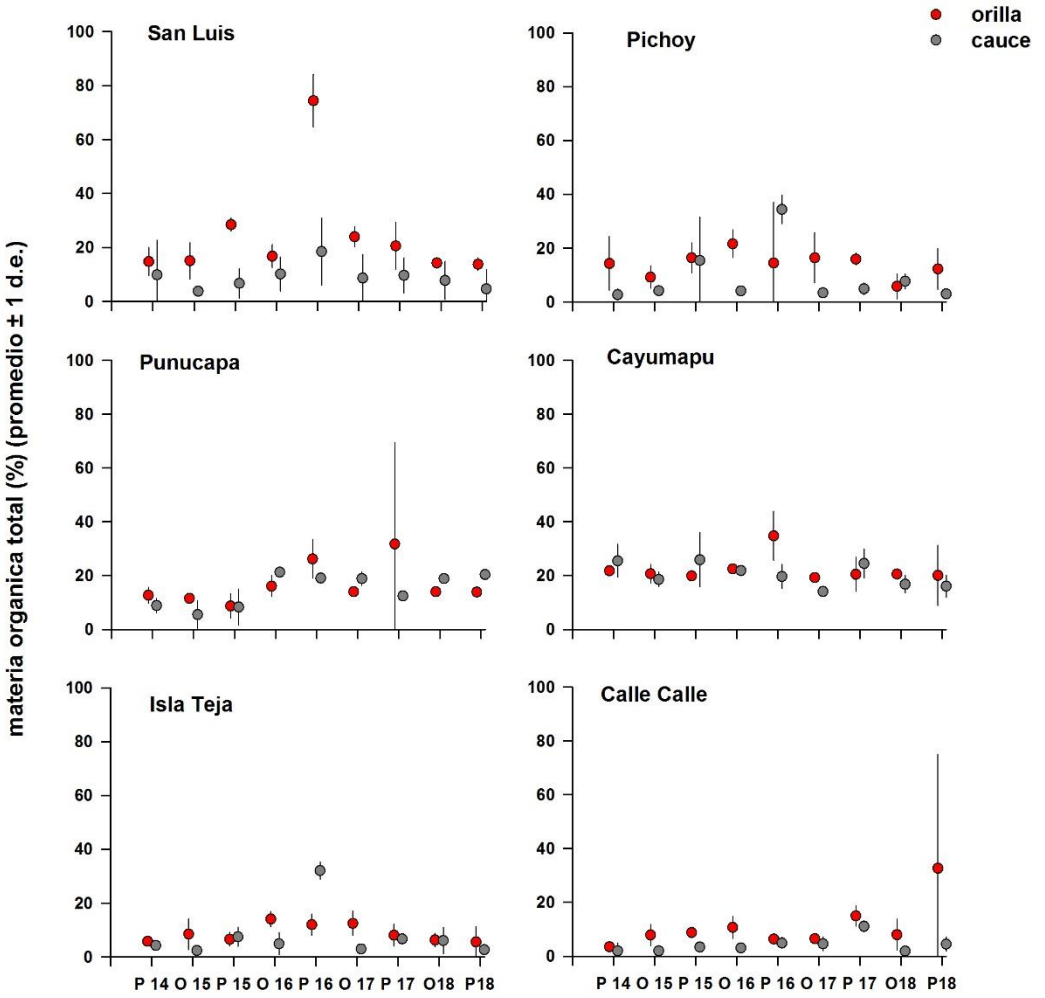


Figura 4.2.2.6. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio de materia orgánica total contenida en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018. 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 los sedimentos de las 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 Punucapa, Isla Teja y Cayumapu durante el otoño del año 2016 los cuales presentaron partículas de tamaño muy fino (< 125 µm; *cf*., Folk, 1980) (Tabla 4.2.2.6). Por otra parte, 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, primavera de los años 2015 y 2016, y en Isla Teja durante el otoño y la primavera del año 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 la primavera de los años 2017 y 2018, 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 y 2015 (Tabla 4.2.2.6).

El análisis de regresión lineal del 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 y al aumento en los sedimentos provenientes de la orilla del sector Isla Teja (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 y 2018. 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)
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)

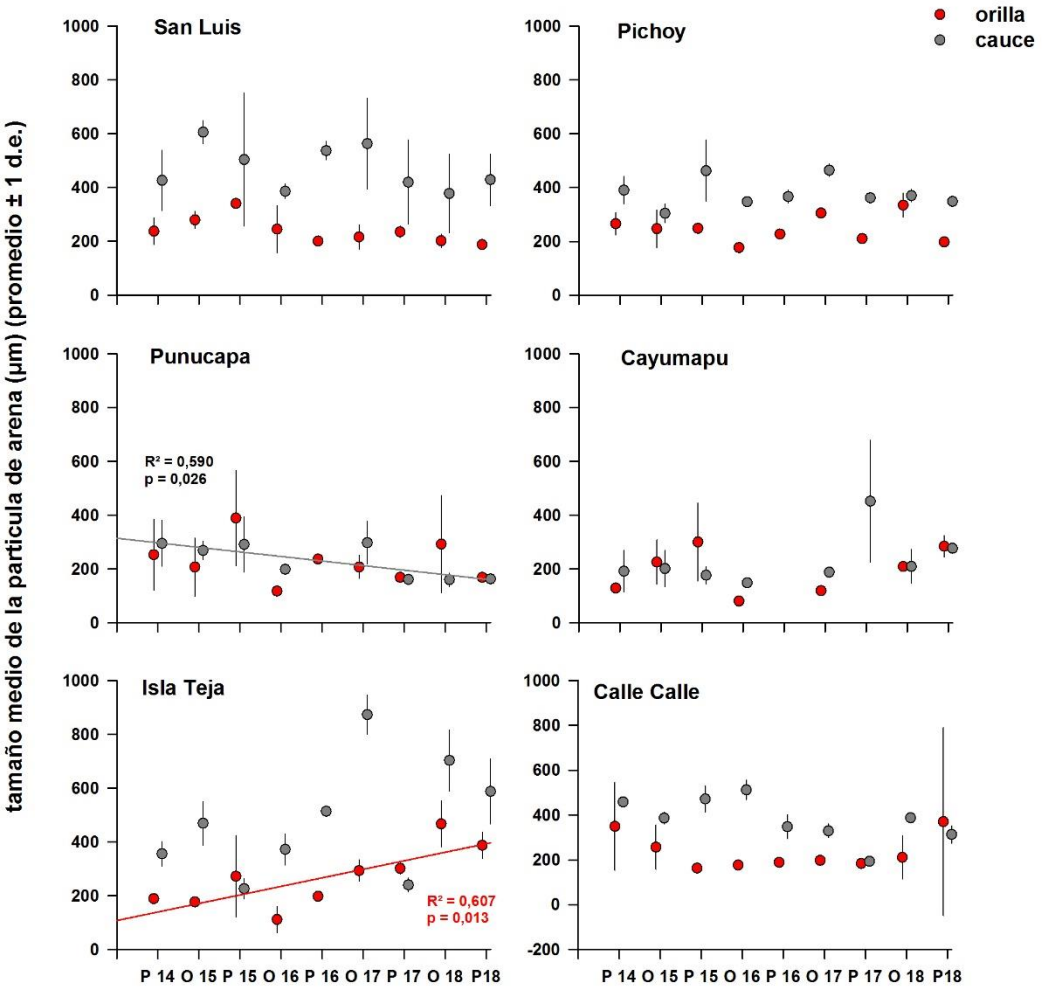


Figura 4.2.2.7. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio del tamaño medio de la partícula de arena contenida en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores son promedios ± 1 desviación estándar.

pH

El pH registrado durante el periodo de estudio mostró los valores más bajos durante la primavera del año 2014 en los sedimentos provenientes de la orilla y el cauce respectivamente en río Calle Calle con valores de 5,9 y 6,3 (Tabla 4.2.2.7). A su vez, los mayores valores 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 de tendencias interanuales significativas ($p<0,05$), las que tienden al aumento, en los sedimentos provenientes del cauce y la orilla en el sector Pichoy y en los sedimentos de orilla del sector Calle Calle (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 y 2018. 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)
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)

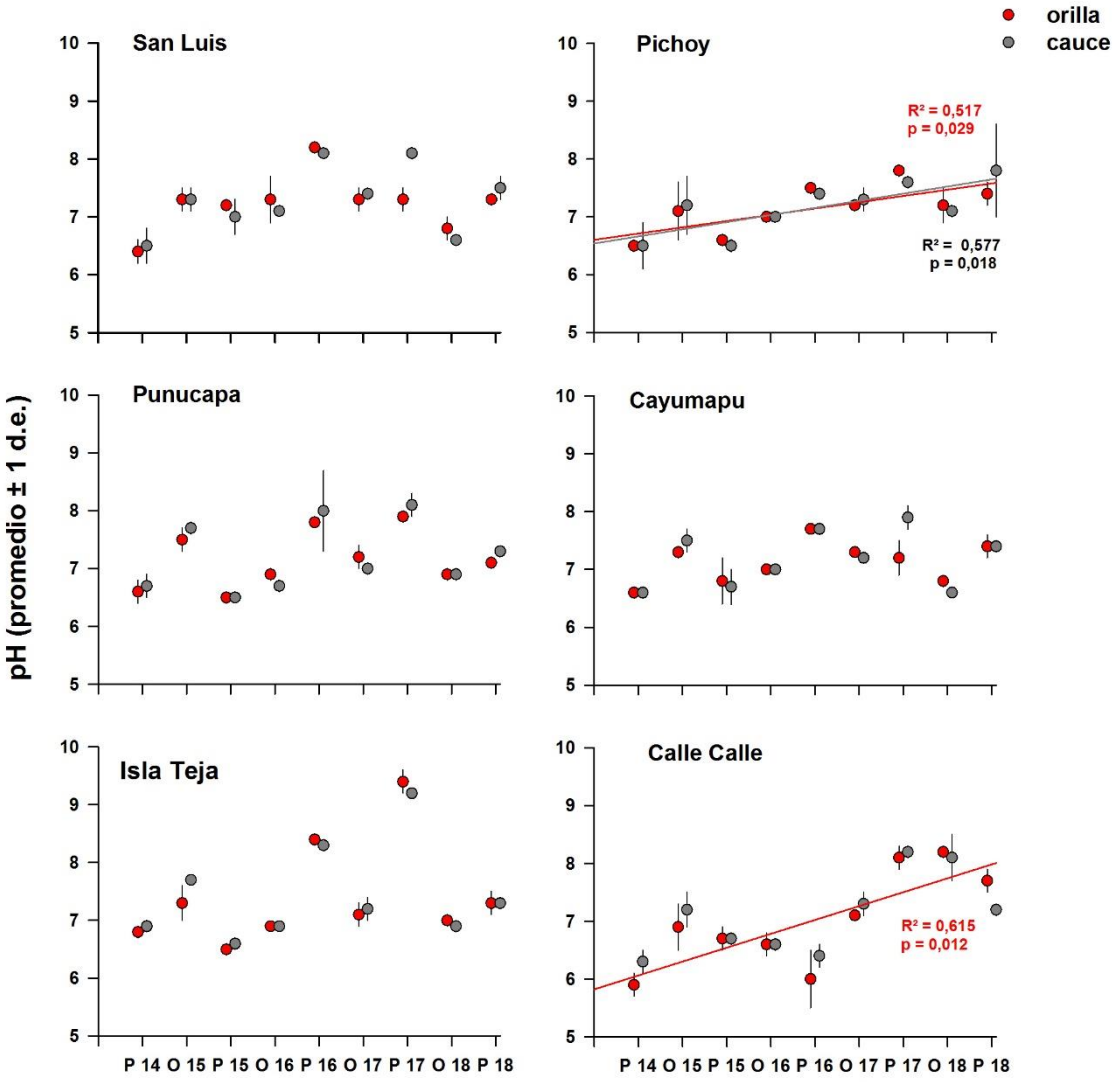


Figura 4.2.2.8. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio del pH en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores son promedios ± 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.

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 -127,7 mV (río Cayumapu durante la primavera del año 2017) 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 el contrario, en el sector San Luis durante el otoño del año 2016 se registró el valor de redox más bajo, correspondiente a -128,1 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 de estudio (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 y 2018. 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)
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)

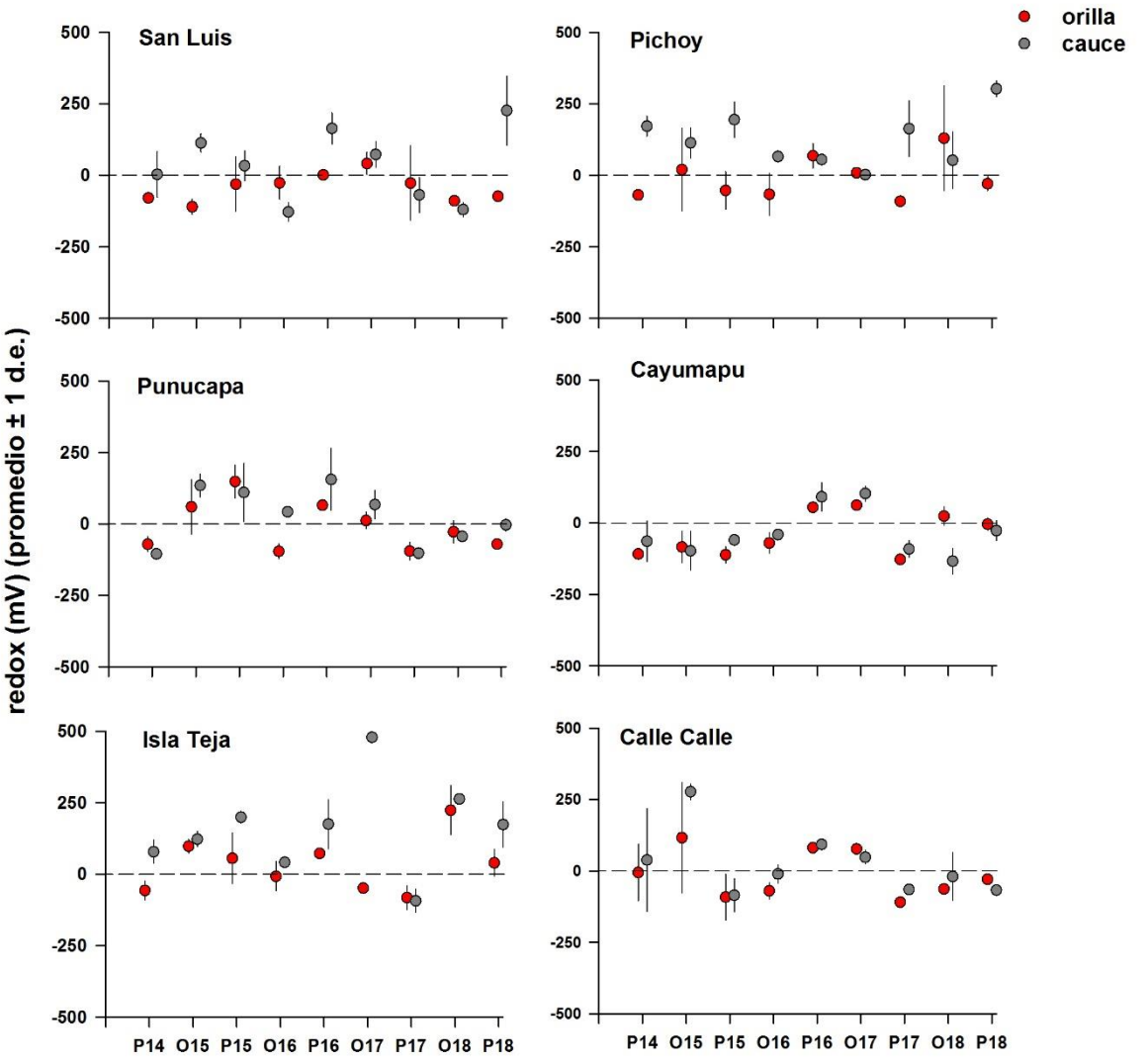


Figura 4.2.2.9. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio del valor óxido reducción (redox) en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores son promedios ± 1 desviación estándar. Solo se muestran los 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.

Macroinfauna bentónica

Composición específica

Durante las campañas de otoño y primavera del año 2018 la composición faunística presente en los sedimentos de los diversos sectores analizados del HRC estuvo representada principalmente por; dos poliquetos *Prionospio (Minuspio) patagonica* y *Perinereis gualpensis*, dos oligoquetos de las familias Tubificidae y Naididae, un crustáceo *Paracorophium hartmannorum*, cuatro insectos pertenecientes a las familias Chironomidae, Tanypodine, Ortocladine, Ephemeroptera, tres moluscos bivalvos *Pisidium* sp., *Littoridina* sp. y *Mulinia edulis*, y un Hirudineo (Ver Anexo).

Durante las mismas campañas el año 2017 la composición taxonómica de la macroinfauna bentonónica en el HRC estuvo compuesta en general, por dos especies de poliquetos (*Prionospio (Minuspio) patagonica* y *Perinereis gualpensis*), dos de oligoquetos (uno de la familia Tubificidae y otro de la familia Naididae), dos especies de crustáceos (*Paracorophium hartmannorum*, *Leucon* sp.), dos especies de insectos (uno de la familia Chironomidae y otro de la familia Tanypodine), dos moluscos bivalvos (*Littoridina* sp. y *Pisidium* sp.), un Hirudineo y un arácnido (Ver Anexo).

Durante el año 2016, la composición taxonómica de la macroinfauna bentónica fue de 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).

Durante las campañas realizadas durante el otoño y la primavera del año 2015, la composición taxonómica estuvo dominada por crustáceos (*Paracorophium hartmannorum*,

Cyprideis beaconensis, Phoxocephalidae, *Heterias exul*, y Cumacea), seguidos por insectos (Chironomidae, Tanypodine y *Stilobezzia* sp.), moluscos (*Littoridina cumingi*, *Pisidium* sp. y *Mulinia edulis*), poliquetos (*Prionospio (Minuspio) patagonica* y *Perinereis gualpensis*), oligoquetos (Tubificidae y Naididae), un hirudineo, un arácnido y un cordado (Ver Anexo).

Durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (año 2014), la composición taxonómica fue de dos poliquetos, dos oligoquetos, cuatro crustáceos, dos insectos, un hirudineo, un molusco bivalvo y un cordado (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.

Durante el año 2018 en ambas campañas de estudio, la riqueza promedio de especies por sitio varió entre 0 y 5 taxa. Los mayores números de taxa registrados (5 taxa) ocurrieron en los sedimentos provenientes de los cauces del río Calle Calle e Isla Teja, durante el otoño y la primavera respectivamente. En tanto, en los sedimentos provenientes del cauce del río Pichoy durante la primavera de dicho año, no se registró ningún taxa (0) (Tabla 4.2.2.9).

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 las orillas del sector Punucapa*; i.e*., el número de especies tendió a disminuir 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 y 2018. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Cayumapu.

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)
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)

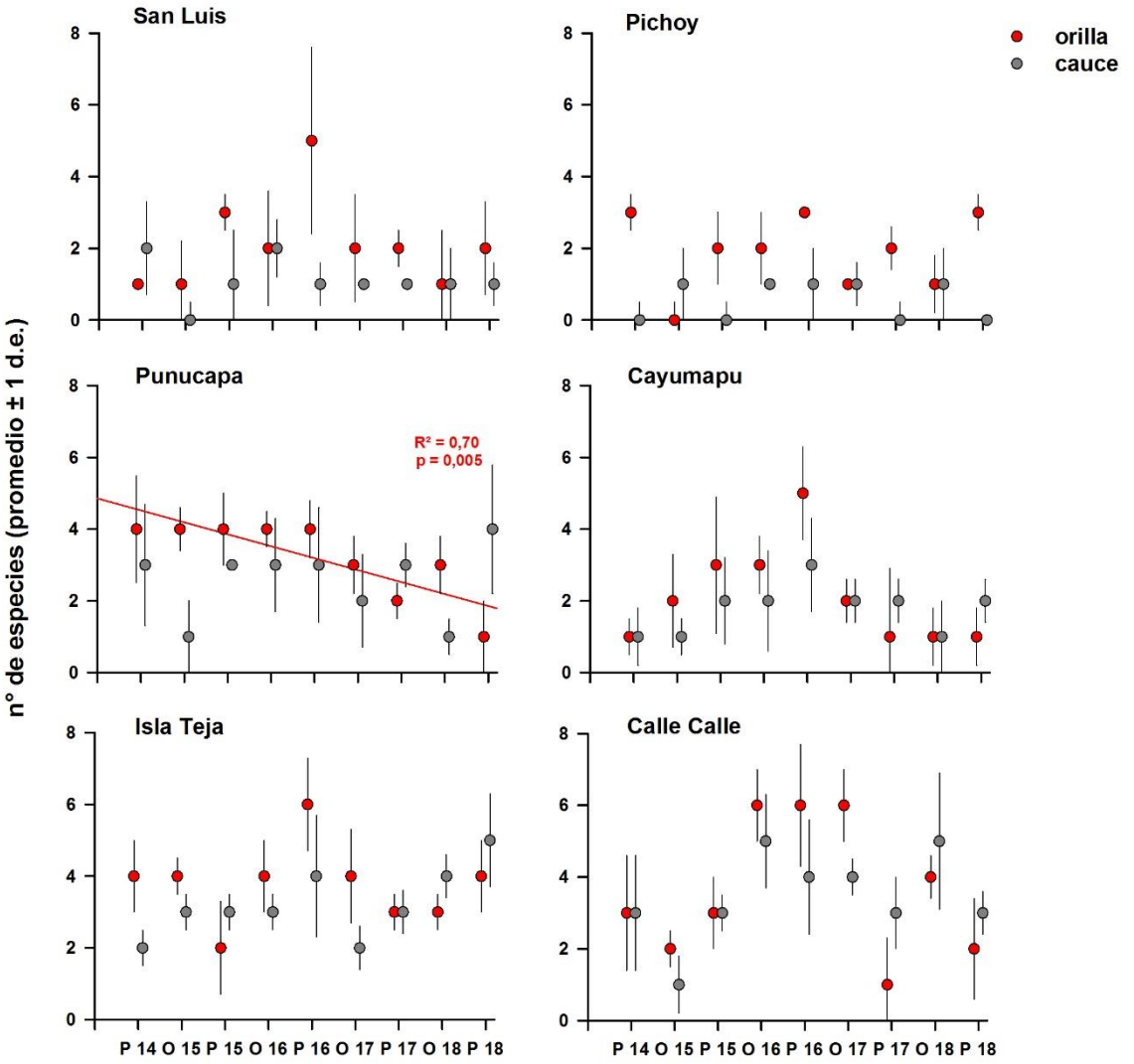


Figura 4.2.2.10. Comparación interanual de la riqueza de especies en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores son promedios (cuatro réplicas) ± 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

La abundancia total de la macroinfauna bentónica durante el otoño del año 2018, fue mayor en los sedimentos provenientes de las orillas del río Calle Calle y sector Isla Teja (variando entre 79.091 y 61.307 ind/m^2 respectivamente), y durante la primavera del mismo año en los sedimentos de las orillas y cauces del río Calle Calle (12.216 y 14.886 ind/m^2, respectivamente) (Tabla 4.2.2.10). Por otra parte, los valores de abundancia total más bajos ocurrieron durante el otoño en los sedimentos del cauce del sector San Luis (114 ind/m^2), y por primera vez durante el periodo de estudio, ocurrió nula abundancia total de macroinfauna durante la primavera en los sedimentos del cauce del río Pichoy (Tabla 4.2.2.10).

Durante el otoño del año 2017, fue mayor en los sedimentos de las orillas y cauces del río Calle Calle e Isla Teja (> a 25.000 ind/m2), a su vez, en la primavera los valores más altos de abundancia se registraron en los sedimentos de los cauces de los sectores Punucapa e Isla Teja (> a 18.000 ind/m2), abundancias dadas fundamentalmente por oligoquetos de la familia Tubificidae y por el poliqueto *Prionospio (M) patagonica* (Tabla 4.2.2.10). Los valores más bajos de abundancia total de la macroinfauna al igual que durante el año 2016 se registraron en el sector del río Pichoy y Cayumapu (Tabla 4.2.2.10 y Fig. 4.2.2.11).

Durante ambas campañas del año 2016 (segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC), la abundancia total de la macroinfauna en los sedimentos de las orillas como de los cauces, presentó su valor más alto en el río Calle Calle (> a 17.000 ind/m^2), abundancia dada principalmente por oligoquetos de la familia Tubificidae y Naididae. (Tabla 4.2.2.10). Durante la campaña otoñal del año 2015 (primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC), la abundancia total de la macroinfauna fue más alta en los sedimentos de las orillas de los sitios Isla Teja y Calle Calle (Tabla 4.2.2.10). Durante la campaña de la primavera del año 2015, la macroinfauna bentónica de las orillas de los sectores San Luis, río Pichoy y río Cayumapu, fue más abundante que la de los cauces (Tabla 4.2.2.10).

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 han sido mayor en las orillas que en los cauces del área de estudio, con excepción de este periodo de estudio (año 2018), el cual muestra abundancias altas en los sedimentos tanto de las orillas como de los cauces (Tabla 4.2.2.10).

La Figura 4.2.2.11 muestra que no hubo una variabilidad interanual significativa ($p>0,05$) en las abundancias promedio total de la macroinfauna bentónica de los sedimentos de orillas y cauces *i.e.,* la abundancia total de la macroinfauna no tendió a disminuir o a aumentar en el tiempo (Fig. 4.2.2.11).

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 y 2018. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Cayumapu.

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)
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 (1.8907)	57 (114)	512 (286)	1.989 (1.454)
otoño 2018	114 (227)	5.114 (5.475)	61.307 (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)

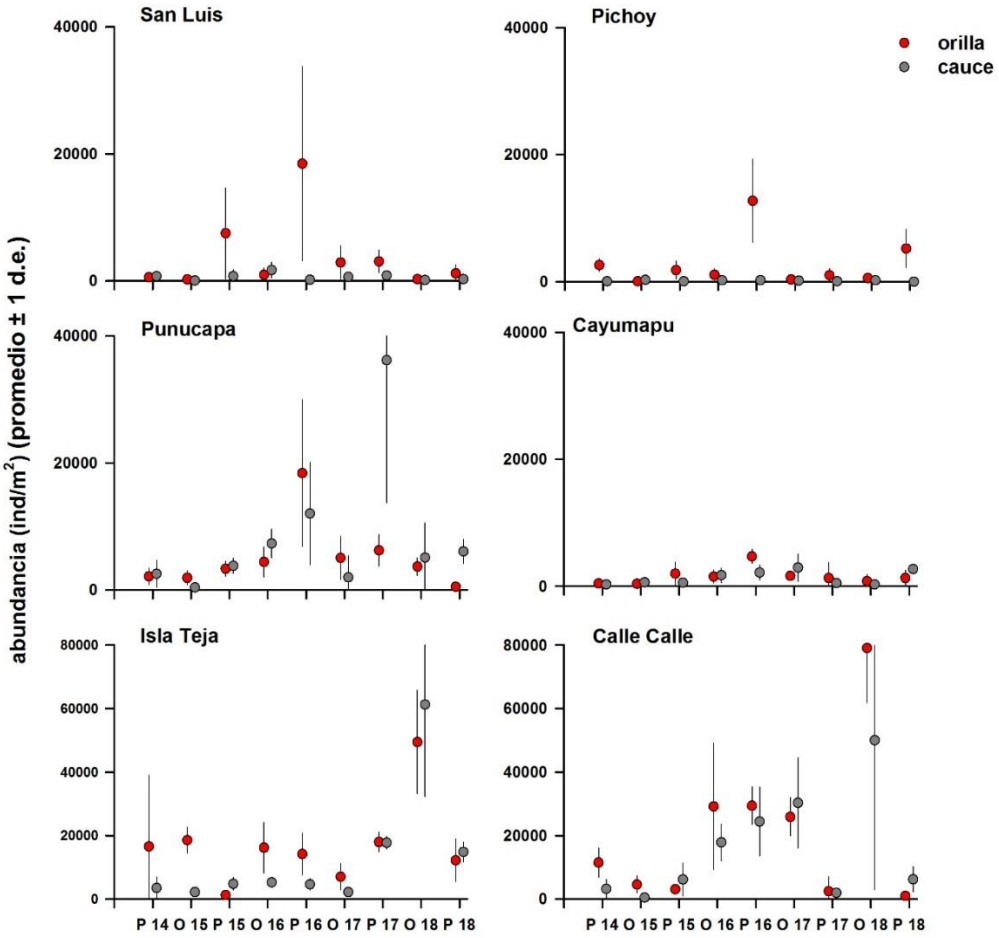


Figura 4.2.2.11. Comparación interanual de la abundancia total (ind/m^2) de la macroinfauna bentónica en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores 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 el periodo de estudio, debido principalmente a las altas abundancias del oligoqueto Tubificidae, el cual se registró en el sector del río Calle Calle (10,55 g/m^2). A su vez, para el mismo periodo, pero en los sedimentos del cauce de dicho sector el más alto valor fue de 6,51 g/m^2. Por otra parte, los valores de biomasa más bajos registrados en la campaña del año 2018 ocurrieron en otoño en los sedimentos de orilla y cauce de los sectores San Luis, Cayumapu y en los sedimentos de cauce del sector Pichoy (<0,04 g/m^2) (Tabla 4.2.2.11).

Durante el año 2017, registro sus valores promedio más altos durante la campaña de primavera, en los sedimentos de las orillas del sector Isla Teja (4,07 g/m^2), como en los cauces del río Punucapa (6,98 g/m^2), valores dados fundamentalmente por las altas abundancias del poliqueto *Prionospio (M) patagonica* (Tabla 4.2.2.11).

Durante el año 2016, (segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC), los valores promedio más altos de biomasa total se registraron en los sedimentos de las orillas (1,03 g/m^2) y cauces del río Calle Calle (7,12 g/m^2) (campaña otoñal), valores dados por las abundancias de un oligoqueto de la familia Tubificidae, en la primavera del mismo año, el valor más alto de biomasa total fue en las orillas del sector Isla Teja (4,47 g/m^2), debido primariamente a las abundancias de dos especies, el poliqueto *Perinereis gualpensis* y el anfípodo *Paracorophium hartmannorum*; durante esta misma campaña, los sedimentos de cauces con biomasas más altas fueron los del río Calle Calle (3,01 g/m^2) , dado por un oligoqueto de la familia Tubificidae e insectos Chironominae (Tabla 4.2.2.11).

Durante las campañas del año 2015 (primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC), y Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (año 2014), los valores promedio más altos de biomasa total, se registraron en los sedimentos de las orillas y cauces del sector Isla Teja, lo que se debió primariamente a las biomasas de los

poliquetos *Prionospio (Minuspio) patagonica* y *Perinereis gualpensis,* del anfípodo *Paracorophium hartmannorum* y del oligoqueto de la familia Tubificidae (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 no mostraron una tendencia interanual significativa ($p>0,05$) de aumento o disminución en el tiempo (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 y 2018. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Cayumapu.

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)
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)

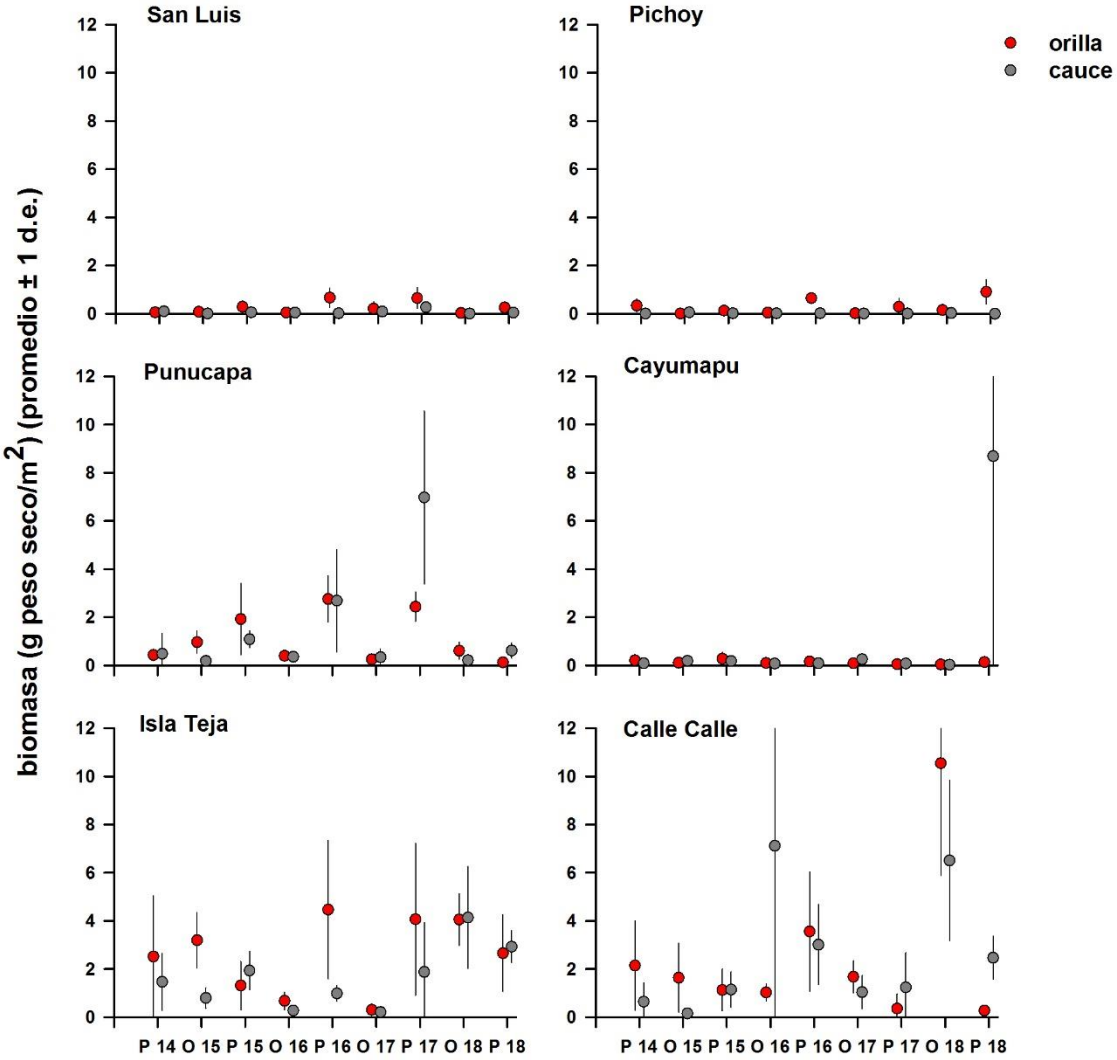


Figura 4.2.2.12. Comparación interanual de la biomasa total (g peso seco/m^2) de la macroinfauna bentónica en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores son promedios (cuatro réplicas) ± 1 desviación estándar.

Diversidad

El Índice de diversidad de Shannon – Wiener, en la actual campaña del año 2018 presentó los valores más altos durante el otoño en los sedimentos provenientes de la orilla del sector Punucapa (H'=0,37), y en el cauce del sector Isla Teja (H'=0,38). Por otra parte, los valores más bajos de diversidad ocurrieron en los sedimentos provenientes del cauce durante la primavera de los sectores San Luis y Pichoy, y durante el otoño en el sector Punucapa (H'= ≤ 0,01) (Tabla 4.2.2.12).

Durante el año 2017 registró los valores más altos en los sedimentos de las orillas del sector Punucapa (H'=0,41) (campaña otoñal) y Punucapa e Isla Teja (H'=0,25) (campaña primaveral), a su vez los sedimentos de los cauces registraron sus valores más altos tanto en el otoño como la primavera en el río Calle Calle (H'= 0,34 y H'=0,33, respectivamente) (Tabla 4.2.2.12).

Durante ambas campañas del año 2016, los valores más altos en el valor Índice de Diversidad de Shannon-Wiener, se registraron en los sedimentos de las orillas del sector Punucapa, río Cayumapu e Isla Teja (H'=0,45, H'=0,44 y H'=0,46 respectivamente), En los sedimentos de los cauces, los valores más altos ocurrieron en el sector Isla Teja (H'=0,33) y río Cayumapu (H'=0,39) (Tabla 4.2.2.12).

Durante la campaña otoñal del año 2015 (primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC), el valor del Índice de Diversidad de Shannon-Wiener, registró su valor más alto en los sedimentos de las orillas del sector Punucapa (H'=0,48). En los sedimentos del cauce, el valor más alto se obtuvo en el sector Isla Teja (H'=0,34) (Tabla 4.2.2.12). Durante la campaña de primavera del año 2015, el Índice de Diversidad de Shannon-Wiener fue más alto en el sector de Punucapa, tanto en los sedimentos de las orillas como de los cauces, (H'=0,44 y H'=0,39, respectivamente) (Tabla 4.2.2.12).

Durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (año 2014), el valor del Índice de Diversidad de Shannon-Wiener en los sedimentos de las orillas, fue más alto en el sector Punucapa (H'=0,48). En los sedimentos del cauce, el valor más alto se obtuvo en el río Calle Calle (H'=0,28) (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; se observó una tendencia interanual significativa ($p<0,05$) en los sedimentos de las orillas del sector de Punucapa y en los del cauce en el sector Isla teja, dicha tendencia en la diversidad es a disminuir 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 y 2018. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Cayumapu.

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)
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 (0,1)	0,38 (0,15)	0,00 (0,00)	0,09 (0,12)	0,21 (0,07)

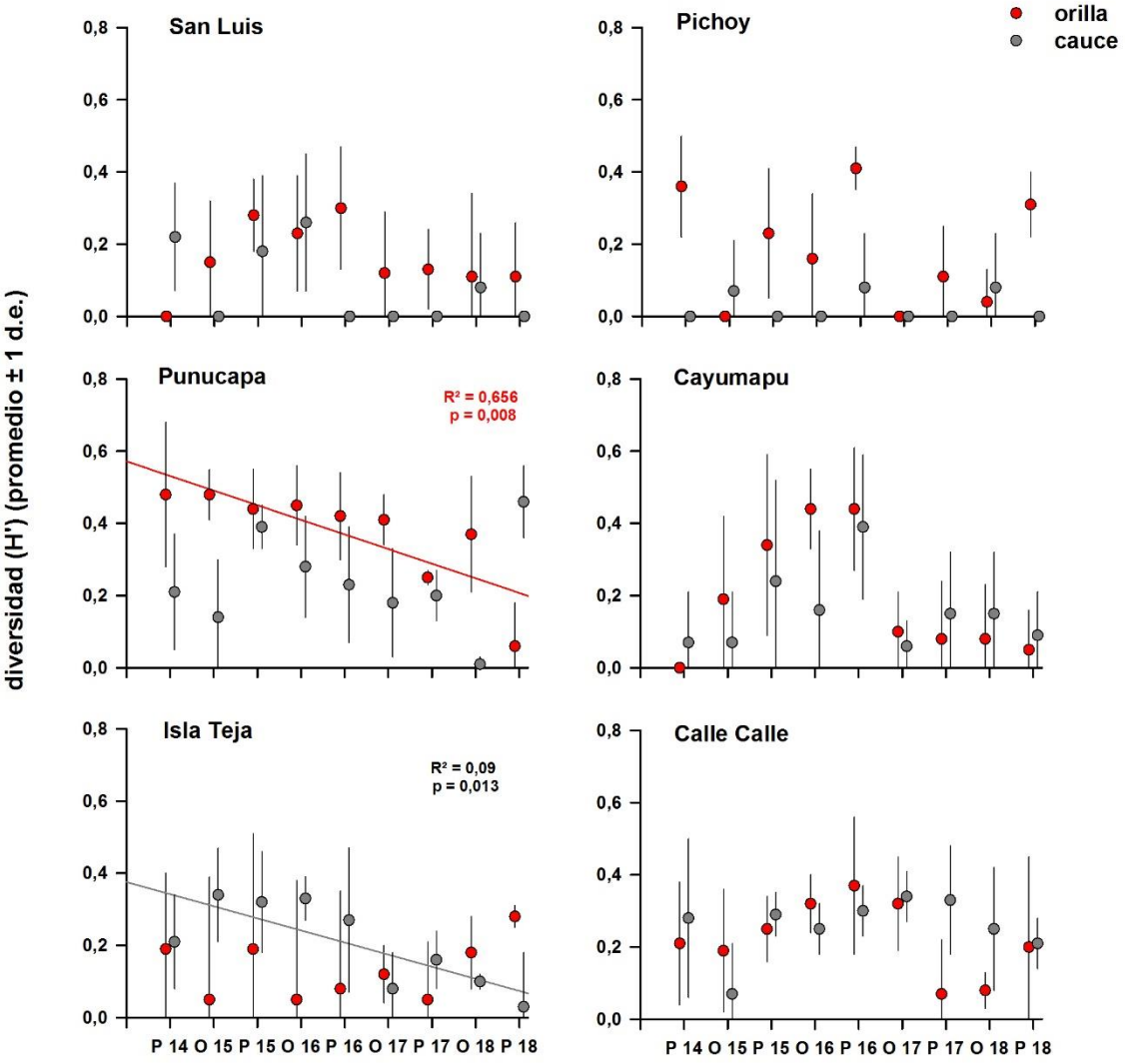


Figura 4.2.2.13. Comparación interanual del Índice de diversidad Shannon – Wiener de la macroinfauna bentónica en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018. 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

Durante el año 2018 los más altos valores de uniformidad o equitatividad (J'), ocurrieron en el sector Punucapa, en los sedimentos de orilla durante el otoño (J'=0,78) y en los sedimentos de cauce durante la primavera (J'=0,81) (Tabla 4.2.2.13). Sin embargo, el más bajo valor ocurrió también en el sector Punucapa, durante el otoño en los sedimentos de cauce (J'=0,03) (Tabla 4.2.2.13).

Durante el año 2017 (campaña otoñal y primaveral), el índice de Uniformidad registró sus valores más altos en los sedimentos de las orillas del sector Punucapa (J'=0,90 y 0,74, respectivamente), en tanto en los sedimentos de los cauces los valores más altos se registraron en el río Calle Calle (J'=0,59 y 0,78 respectivamente) (Tabla 4.2.2.13). Valores más bajos se registraron en los sedimentos de orillas y cauces de los sectores San Luis y río Pichoy (Tabla 4.2.2.13).

Durante la campaña otoñal del año 2016 (segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC), el índice de Uniformidad registró su valor más alto en los sedimentos de las orillas y de los cauces del río Cayumapu (J'=0,95) (Tabla 4.2.2.13). En la campaña primaveral del año 2016, el Índice de Uniformidad registró su valor más alto en las orillas del río Pichoy (J'=0,86), en los sedimentos de los cauces el valor más alto ocurrió en el río Cayumapu (J'=0,76) (Tabla 4.2.2.13).

El Índice de Uniformidad durante la campaña otoñal del año 2015 (primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC), registró el valor más alto en los sedimentos de las orillas del sector Punucapa (J'=0,90). En los sedimentos del cauce, el valor más alto se presentó en el sector Isla Teja (J'=0,77) (Tabla 4.2.2.13). Durante la campaña primaveral del año 2015, el valor más alto de Uniformidad, se registró en los sedimentos de las orillas y de los cauces del sector Punucapa (J'=0,84 y J'=0,81, respectivamente) (Tabla 4.2.2.13).

Durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (año 2014), el valor más alto de Uniformidad se registró en los sedimentos de las orillas del sector Punucapa

(J'=0,87). En los sedimentos del cauce, se registró el valor más alto en el sector San Luis (J'=0,65) (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 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 y 2018. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Cayumapu.

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)
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)

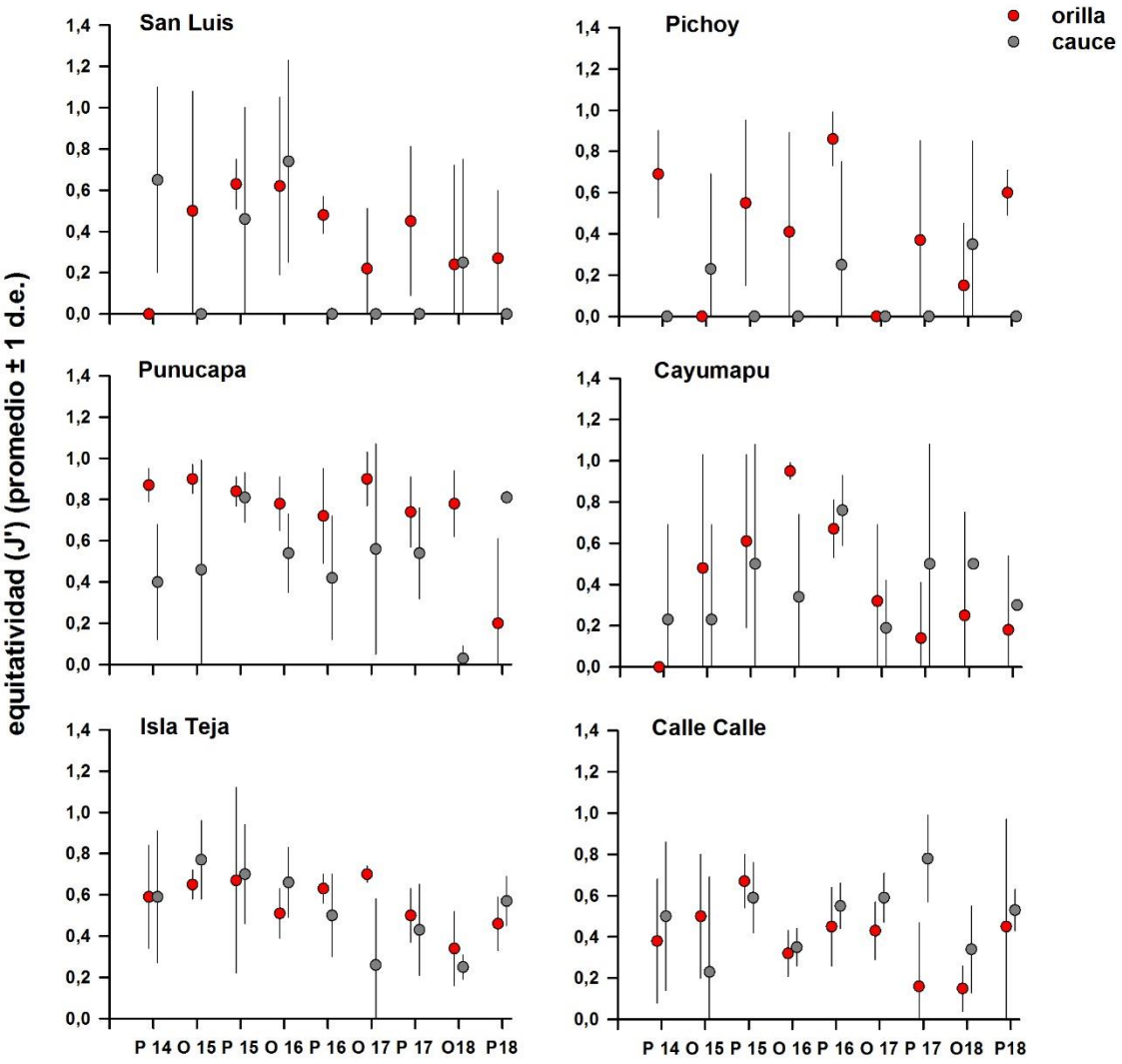


Figura 4.2.2.14. Comparación interanual del Uniformidad de Pielou o equitatividad de la macroinfauna bentónica en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores son promedios (cuatro réplicas) ± 1 desviación estándar.

Abundancia de taxa

Las Tablas 4.2.2.14 y 4.2.2.15 muestran 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, tanto en otoño como primavera. Durante la primavera del año 2018 las abundancias más altas de dicho poliqueto ocurrieron en los sedimentos de orilla y cauce del sector Isla Teja (10.000 y 9.830 ind/m^2, respectivamente), mientras que, las más bajas abundancias se registraron durante el otoño en los sedimentos de orilla del sector San Luis, y en los sedimentos provenientes del cauce de los sectores Pichoy y Cayumapu (en todos los casos la abundancia no fue mayor 57 ind/m^2) (Tabla 4.2.2.14).

Durante el año 2018 el poliqueto *Perinereis gualpensis* sólo estuvo presente en los sedimentos de las orillas y cauces del sector Isla Teja, con la abundancia más alta registrada durante el otoño en los sedimentos de cauce (1.080 ind/m^2), y la más baja ocurrida durante la primavera en los sedimentos de orilla (227 ind/m^2), en general 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 y 2018. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Cayumapu.

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
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

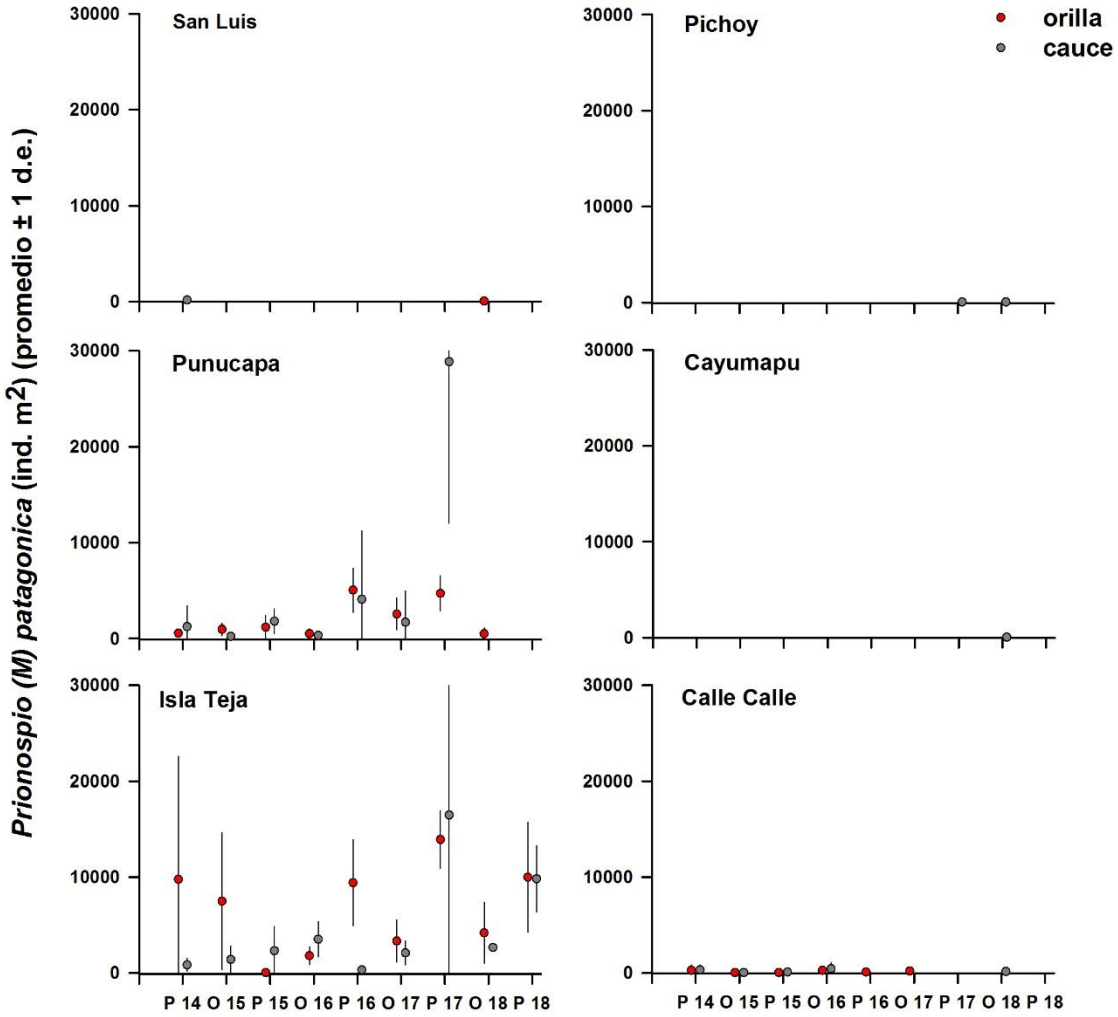


Figura 4.2.2.15. Abundancia total (ind/m^2) del poliqueto *Prionospio (M) patagonica*, en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores son promedios (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 y 2018. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Cayumapu.

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
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

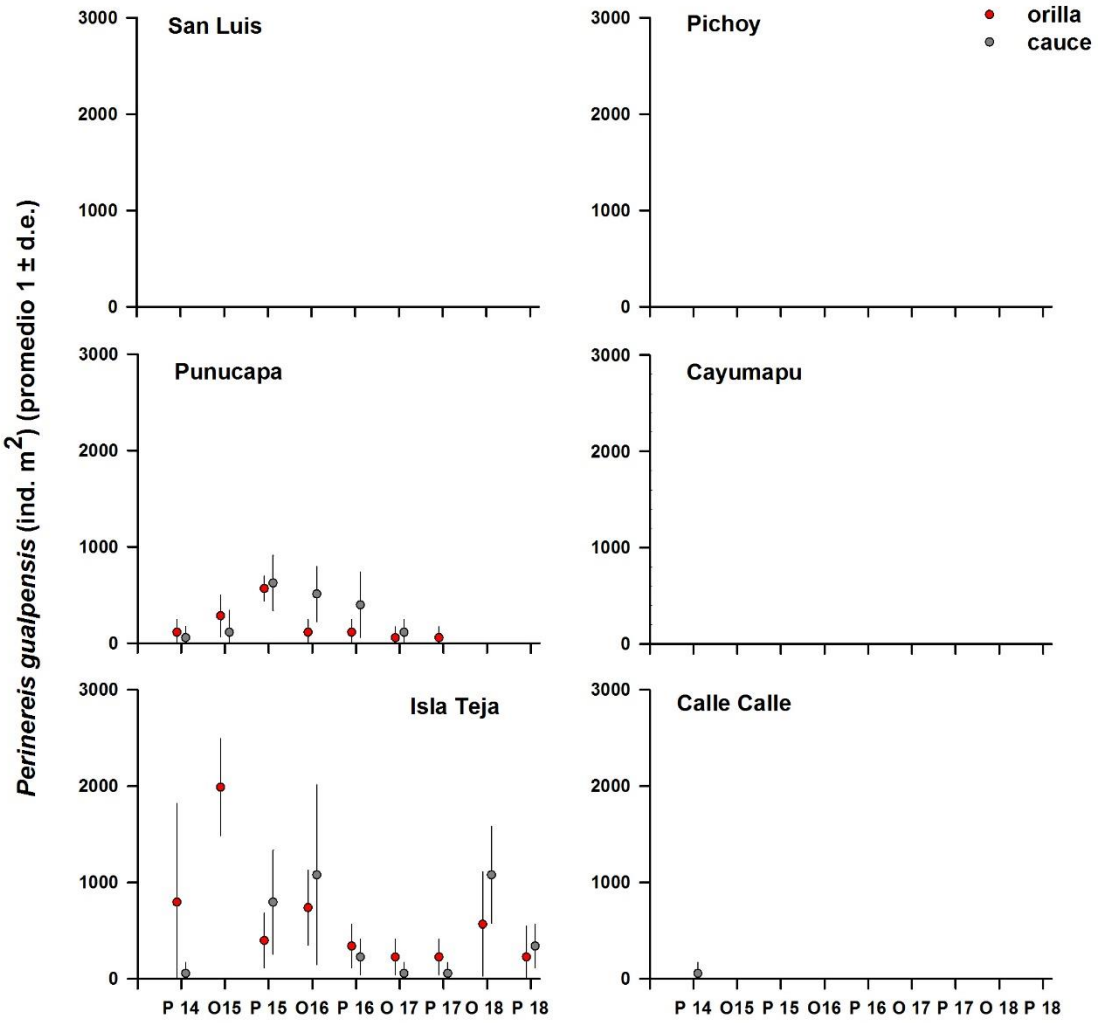


Figura 4.2.2.16. Abundancia total (ind/m^2) del poliqueto *Perinereis gualpensis* en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores son promedios (cuatro réplicas) ± 1 desviación estándar.

El anfípodo *Paracorophium hartmannorum* presento las mayores abundancias durante el otoño del año 2018, en los sedimentos de la orilla y cauce del sector Isla Teja (44.205 y 57.273 ind/m^2, respectivamente) (Tabla 4.2.2.16). A su vez, el menor valor registrado (57 ind/m^2) ocurrió en el río Pichoy y Cayumapu, en los sedimentos de las orillas durante el otoño del año 2018, en tanto en los sedimentos del cauce lo hizo en el

sector de San Luis y Calle Calle. Durante la primavera, el menor valor se registró en las orillas del sector de San Luis (Tabla 4.2.2.16).

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 y 2018. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Cayumapu.

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
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

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.

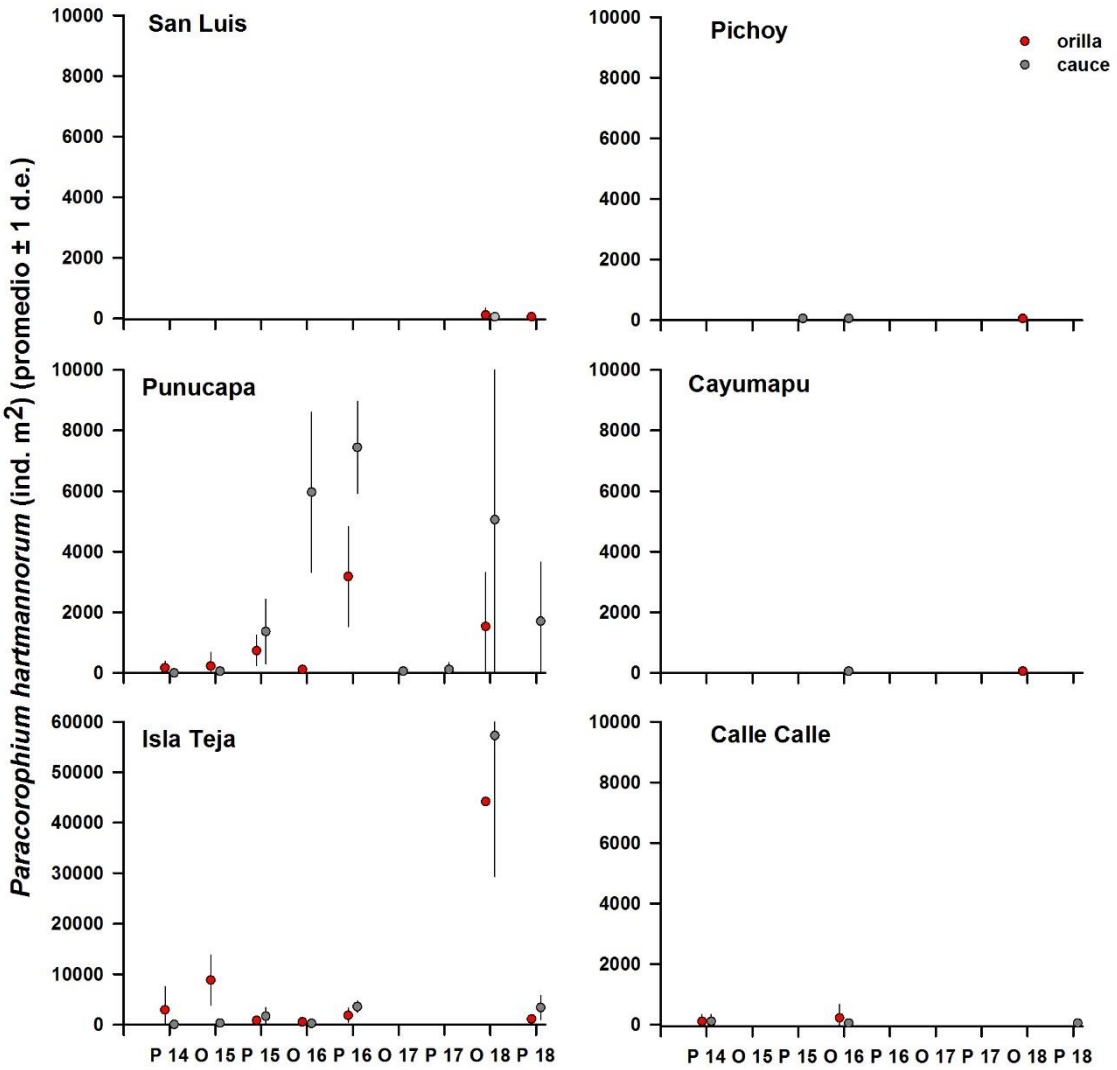


Figura 4.2.2.17. Abundancia total (ind/m^2) del anfípodo *Paracorophium hartmannorum* en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores son promedios (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, durante el otoño del 2018 las abundancias más altas se presentaron en los sedimentos de orilla y cauce provenientes del sector Calle Calle (76.780 y 45.568 ind/m^2, respectivamente) (Tabla 4.2.2.17). Solo se encontró esta especie ausente durante el otoño y la primavera en los

sedimentos del cauce de los sectores Punucapa y río Pichoy, respectivamente (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 y 2018. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Cayumapu.

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)
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)

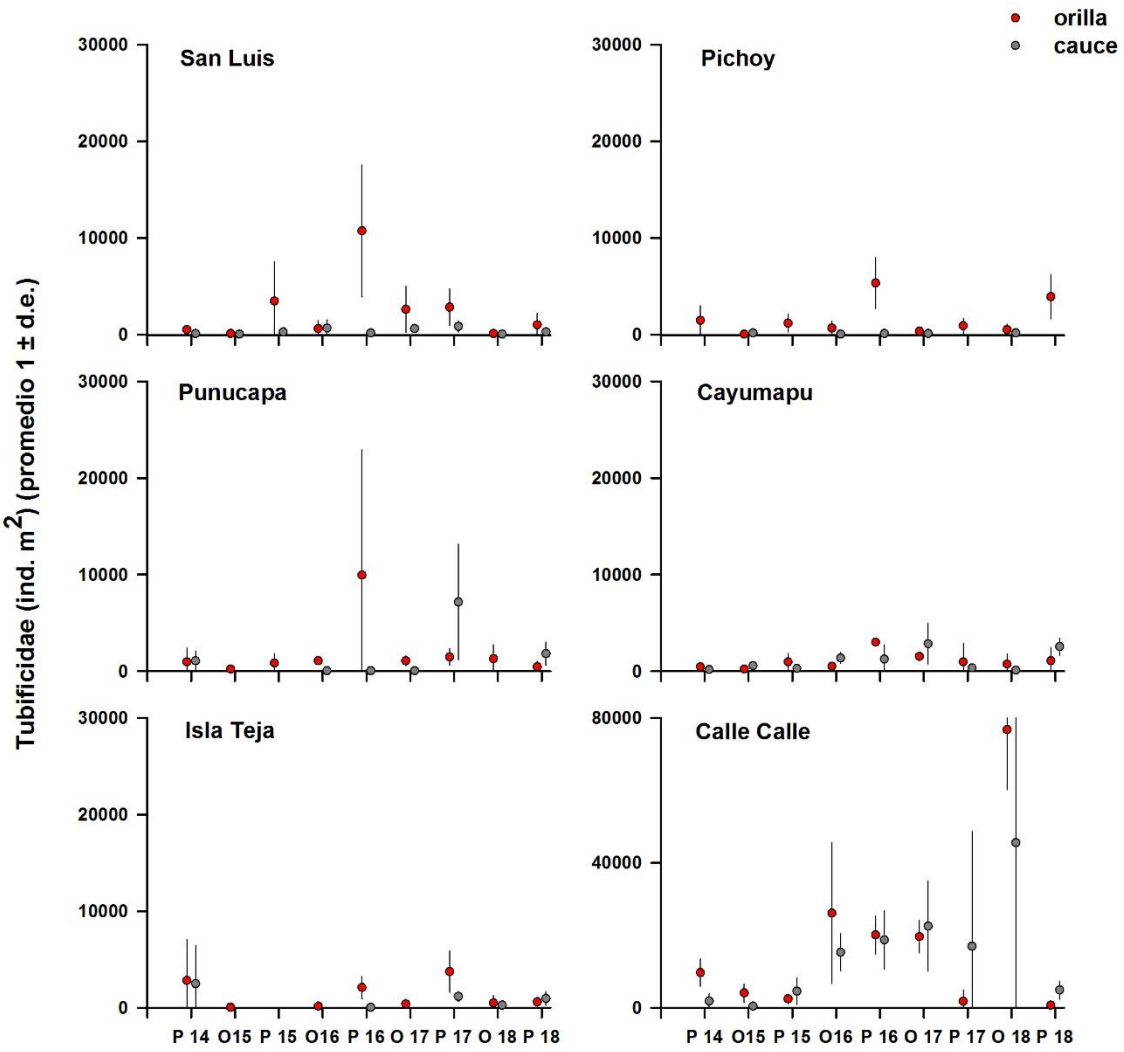


Figura 4.2.2.18. Abundancia total (ind/m^2) del oligoqueto Tubificidae en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores son promedios (cuatro réplicas) ± 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. Durante el 2018 las mayores abundancias se registraron durante otoño en los sedimentos de cauce del sector Calle Calle (3.011 ind/m^2), mientras que el valor más bajo de abundancia ocurrió

durante la primavera en la orilla del sector San Luis y río Calle Calle (57 ind/m^2) (Tabla 4.2.2.18).

La Figura 4.2.2.19 muestra la variabilidad interanual de esta especie en los sedimentos de las orillas y cauces; en la cual no se observa una tendencia interanual significativa (p>0,05) de incremento o disminución de esta especie en el tiempo.

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 y 2018. Los valores son promedios (cuatro réplicas) con desviación estándar en paréntesis. SL = San Luis, Pu = Punucapa, IT = Isla Teja, Pi = Pichoy, Ca = Cayumapu, CC = Cayumapu.

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)
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)

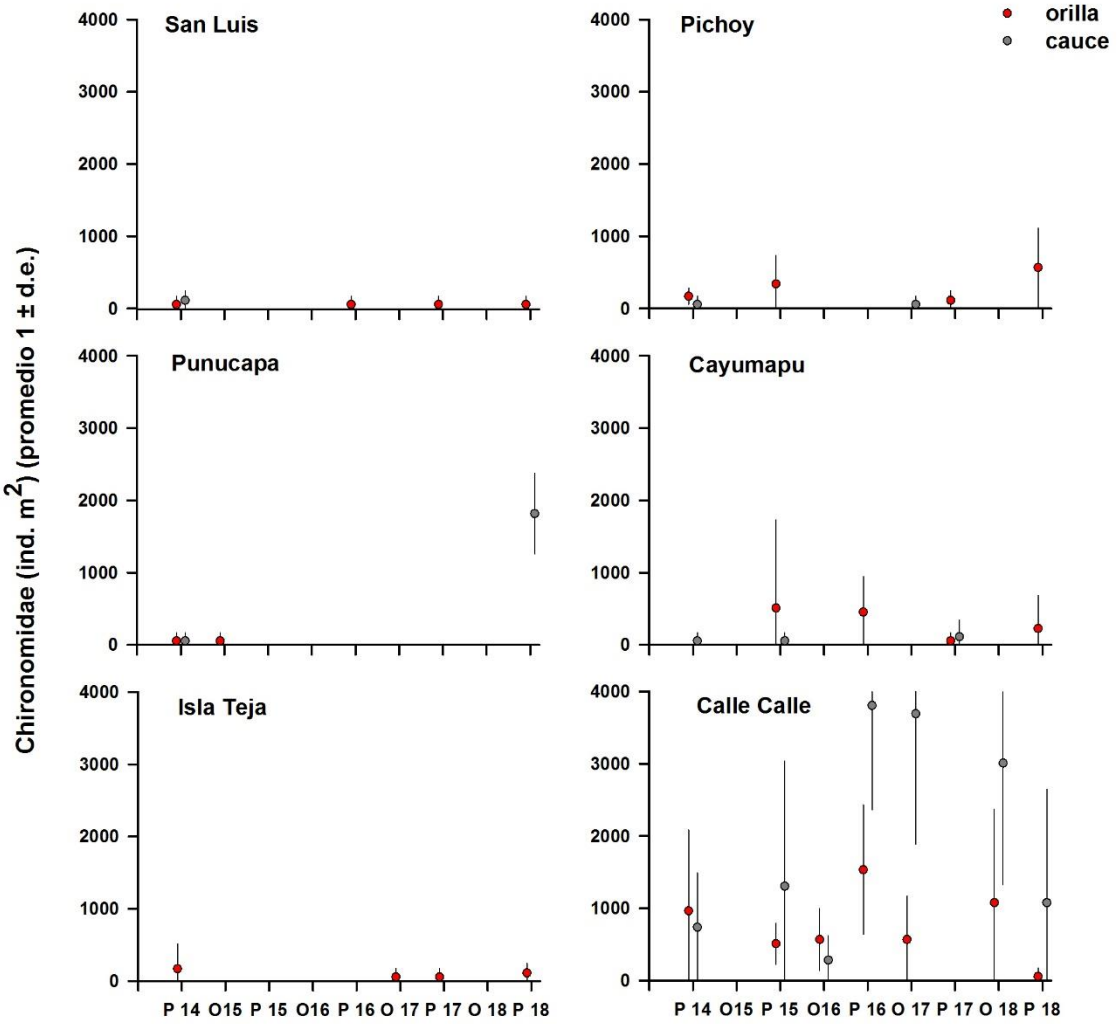


Figura 4.2.2.19. Abundancia total (ind/m^2) del insecto de la familia Chironominae en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores son promedios (cuatro 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 durante los estudios hasta ahora realizados (primavera 2014, otoño y primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018).

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).

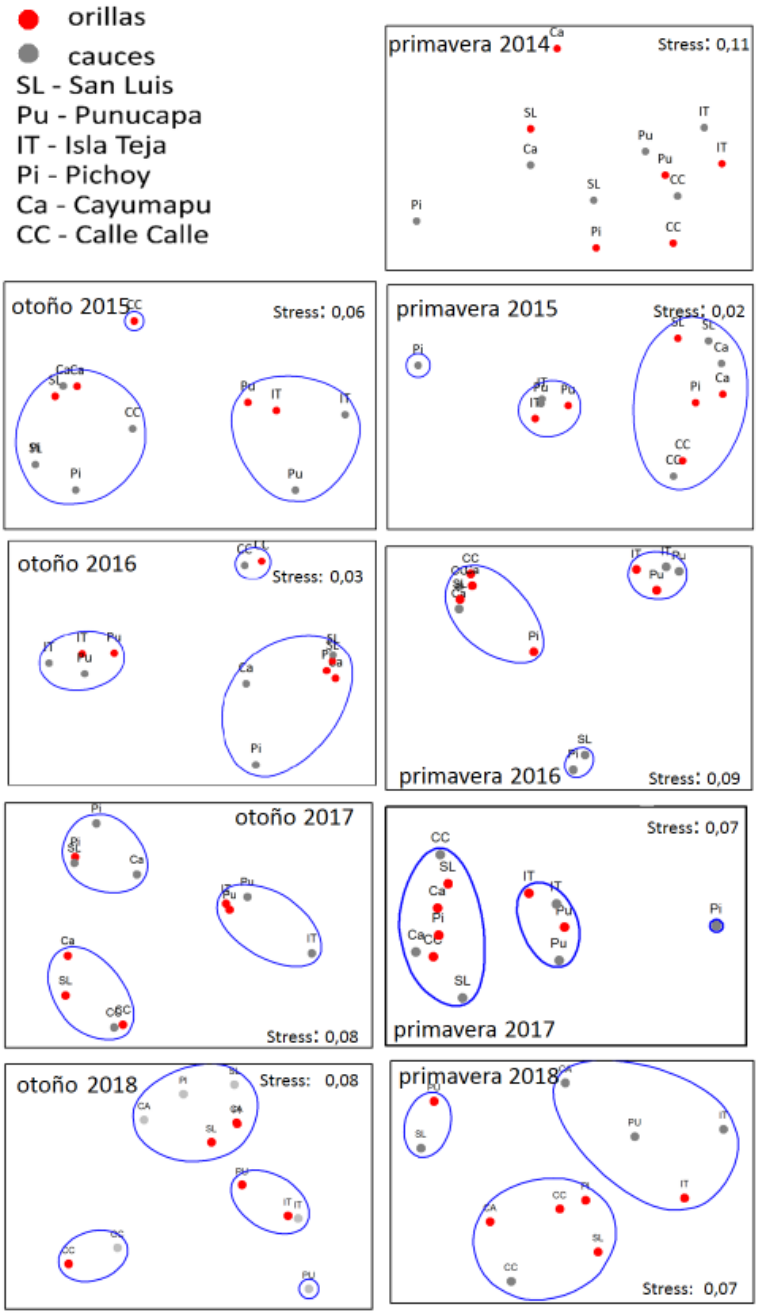


Figura 4.2.2.20. Representación gráfica del análisis de escalamiento multidimensional no métrico, basado en la abundancia de los organismos de la macroinfauna bentónica presentes en los sedimentos de los sitios muestreados (orillas-cauces), durante la primavera de 2014, otoño y primavera de 2015, 2016, 2017 y 2018. 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 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. Los valores porcentuales de la fracción de arena han expresado una tendencia significativa a la disminución en el tiempo, en los fondos sedimentarios del cauce del sector San Luis y en los fondos de orilla Punucapa.
- 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, sin mostrar ninguna tendencia en el tiempo.
- La riqueza de especies de la macroinfauna de fondos sedimentarios del HRC aumento desde el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC del año 2014 (13 taxa), al primer y segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (18 y 20 taxa, respectivamente). Durante el año 2017 y 2018, se registraron 12 y 13 taxa respectivamente, valores 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, salvo en los sedimentos de las orillas del sector Punucapa donde mostró una tendencia significativa a disminuir en el tiempo.
- Desde el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (año 2014) a la fecha (cuarto año del 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.
- La abundancia total de la macroinfauna bentónica no ha evidenciado ninguna tendencia estadísticamente significativa (de aumento o disminución) en el tiempo durante todo el periodo de estudio.
- 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 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.

Sokal, R., F. Rohlf. 1995. Biometry the principles and practice of statistics in biological research. W.H. Freeman, New York 877 pp.

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 y 2018. 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)	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)	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 (abril)		primavera 2016 (octubre)	
TAXA	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

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	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	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)	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	
Perinereis gualpensis	0	0	0	
OLIGOCHAETA			0	
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
INSECTA0				
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

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

4.2.3. MACROFAUNA DE FONDOS RITRALES

4.2.3.1 Antecedentes

La macrofauna bentónica que habita fondos acuáticos dulceacuicolas compuestos de rocas o bolones (*i.e.,* fondos ritrales o pedregosos), está compuesta por organismos que se adhieren a dichos sustratos, o bien se refugian entre éstos como estrategia para protegerse de la corriente. La mayor parte de los invertebrados que componen esa macrofauna, son larvas y estados inmaduros de insectos con ciclos de vida anfibio como 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 de estos 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, por ejemplo, al 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, efectos sobre la reproducción y el reclutamiento de las mismas. La periodicidad de los estudios que incluyen este tipo de organismos es relevante, ya que la presencia de los mismos en el medio acuático, depende de la estación ya que en un período del año dejan ese ambiente y emergen como organismos adultos.

Debido a lo anterior, el estudio de la macrofauna de los organismos bentónicos y fundamentalmente insectos en fondos ritrales, constituye una herramienta eficaz para evaluar eventuales cambios ambientales en sistemas acuáticos como es el caso de la porción superior del río Cruces, constituida mayoritariamente por fondos pedregosos.

4.2.3.2. Objetivos:

• Analizar la riqueza de especies, abundancia y biomasa de los invertebrados bentónicos que ocurren en fondos ritrales o pedregosos del río Cruces durante el cuarto año del Programa de Monitoreo Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC) (otoño y primavera del año 2018).

• Evaluar para esos períodos de muestreo, la calidad del agua del área de estudio, referida a carga orgánica, mediante la estimación de índices basados en la presencia y abundancia de estos invertebrados.

• Comparar los resultados obtenidos para el cuarto año del Programa de Monitoreo (2018), con los datos de los muestreos realizados en la misma área durante el otoño y primavera de los años 2014 (Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC), 2015, 2016 y 2017 (primer, segundo y tercer año del Programa de Monitoreo ambiental del HRC, respectivamente.

4.2.3.3. Material y métodos

Obtención de las muestras de macrofauna

Los muestreos se realizaron en otoño (abril - mayo) y primavera (diciembre) del año 2018 (Tabla 4.2.3.1), en los sitios que se muestran en la Figura 4.2.3.1. Además, 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 15 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), por cinco minutos para la obtención de cada muestra; los clastos (rocas) 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 2018	primavera 2018
Porción superior del río Cruces (sector límnico)		
1 (sector Ciruelos)	26 abril 2018	3 diciembre 2018
2 (sector Rucaco)	2 mayo 2018	3 diciembre 2018
3 (sector Cahuincura)	2 mayo 2018	3 diciembre 2018
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
4 (río Calle Calle)	24 abril 2018	4 diciembre 2018

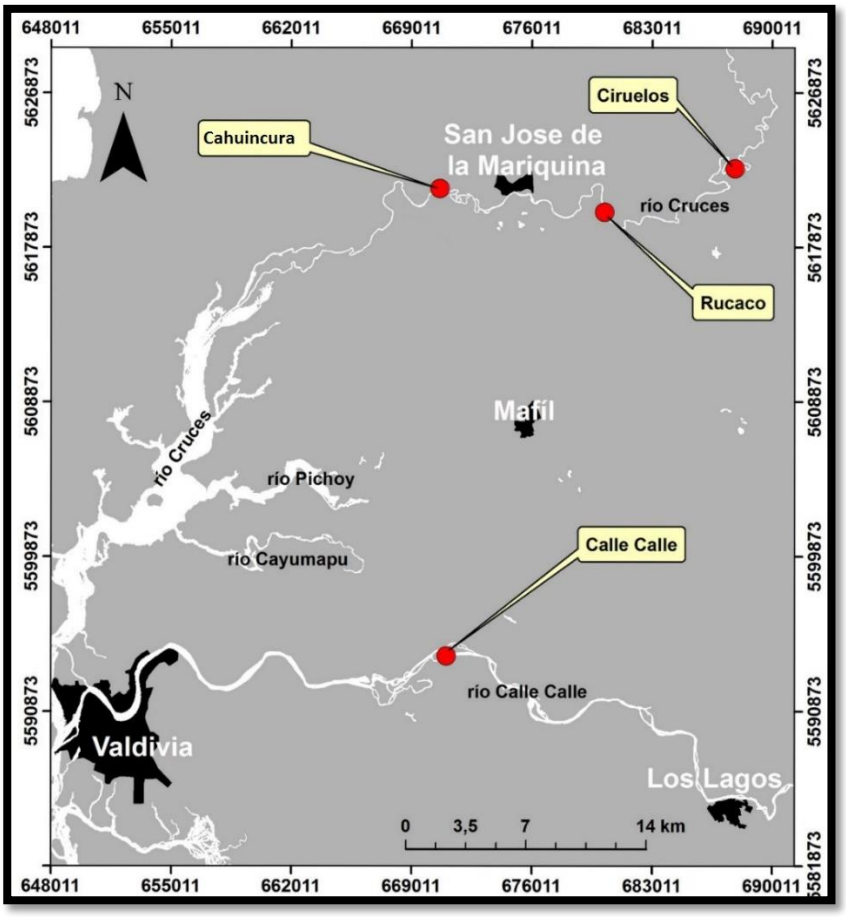


Figura 4.2.3.1. Ubicación de los sitios de muestreo para el estudio de la macrofauna de invertebrados bentónicos que ocurren en los fondos ritrales del río Cruces y río Calle Calle.



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, 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 calidad ambiental

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) y 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, 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).

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 2018 se encontraron 31 especies de macroinvertebrados bentónicos provenientes de los fondos ritrales de los ríos Cruces y Calle Calle, siendo los insectos del orden Diptera los que predominaron durante otoño como en primavera. En otoño del año 2018 ocurrieron 24 especies (15 insectos, 2 crustáceos, 1 arácnido, 3 gasterópodos y 3 oligoquetos.). A la vez, en la primavera de dicho año la macrofauna bentónica estuvo compuesta por 25 especies (17 insectos, 2 crustáceos, 3 gasterópodos, 2 oligoquetos y 1 platelminto) (Tabla 4.2.3.3). La Tabla 4.2.3.3 muestra los valores del Índice Biótico de Hilsendorf asignado a cada especie.

Tabla 4.2.3.3. Invertebrados bentónicos de fondos ritrales recolectados en el área de estudio para el año 2018 (otoño y primavera). Se indica además el valor del Índice Biótico asignado a cada especie (*cf*. Tabla 4.2.3.2).

Phylum	Clase	Orden	Especie	Valor indicador	otoño 2018	primavera 2018
Arthropoda	Insecta	Diptera	*Eukiefferiella* sp.	4	✓	✓
			Corynoneura sp.	4	✓	✓
			Lopescladius sp.	5	✓	✓
			Alluaudomya sp.	6	X	✓
			Simulium sp.	4	✓	✓
			Atherix sp.	4	✓	✓
			Orthocladius sp.	6	X	✓
			Empididae	6	✓	X
			Chironomidae	6	X	✓
		Ephemeroptera	*M. diguillina*	4	✓	✓
			A. torrens	5	✓	✓
			P. flavidula	4	✓	✓
		Plecoptera	*L. jaffueli*	2	✓	✓
			Antactoperla sp.	1	✓	X
		Trichoptera	*S. annulucormis*	5	✓	✓
			Limnephilidae	4	X	✓
			P.olave	5	X	✓
		Coleoptera	*Luchoelmis* sp.	4	✓	✓
			Austromnius sp.	4	✓	✓
		Megaloptera		4	✓	X
	Crustacea	Decapoda	*Aegla* spp.	6	✓	✓
		Amphipoda	*H. costera*	8	✓	X
		Isopoda	Cirolanidae	8	X	✓
	Arachnida	Acariformes	Hidracarina	6	✓	X
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	*C. dombeyana*	7	✓	✓
			Ancylidae	7	✓	✓
		Mesogastropoda	*L. cumingi*	7	✓	✓
Annelida	Oligochaeta			8	✓	✓
		Tubificida	*Tubifex* sp.	8	✓	✓
	Clitellata	Hirudinea		10	✓	X
Plathelminthes	Rhabditophora	Tricladida	*D. anceps*	4	X	✓

Atributos Comunitarios

Riqueza de especies

Durante las diez campañas estacionales realizadas durante cinco años (otoño y primavera de los años 2014 al 2018) - el tiempo que ha durado este estudio - la riqueza de especies encontradas en el área, ha variado de 6 especies, ocurridas en el río Calle Calle y Cahuincura durante el otoño y la primavera simultáneamente, de los años 2015 y 2017 respectivamente, a 18 especies ocurridas en Ciruelos durante el otoño del año 2014 (Tabla 4.2.3.4). Durante el año 2018, tanto en otoño como primavera se registraron en el sector de Cahuincura la menor riqueza de especies hasta ahora encontrada (5 taxa). La variabilidad temporal de la riqueza de especies existente en el área estudiada ha mostrado tendencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) a la disminución en los tres sectores ubicados en el río Cruces (Ciruelos, Rucaco y Cahuincura), no así en el sector Calle Calle (sitio ubicado fuera del HRC), donde la riqueza de especies se ha mostrado de manera heterogénea durante el tiempo de estudio, y no ha mostrado tendencias (a aumentar o disminuir) estadísticamente significativas ($p> 0,05$) (Fig. 4.2.3.4).

Tabla 4.2.3.4. Número 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 de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores corresponden al promedio de cuatro réplicas (tres para ambos periodos del año 2014) + 1 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	otoño 2018	primavera 2018
1 (sector Ciruelos)	18 (1)	14 (1)	13 (1)	7 (1)	12 (1)	13 (1)	13 (1)	10 (1)	7 (2)	9 (1)
2 (sector Rucaco)	13 (1)	15 (0)	11 (1)	13 (1)	9 (2)	12 (1)	10 (1)	14 (3)	6 (1)	7 (1)
3 (sector Cahuincura)	14 (1)	8 (3)	11 (3)	13 (1)	10 (2)	13 (1)	6 (1)	6 (2)	5 (3)	5 (1)
4 (sector Calle Calle)	9 (5)	9 (3)	6 (1)	6 (1)	7 (1)	10 (1)	10 (1)	7 (1)	6 (0)	9 (1)

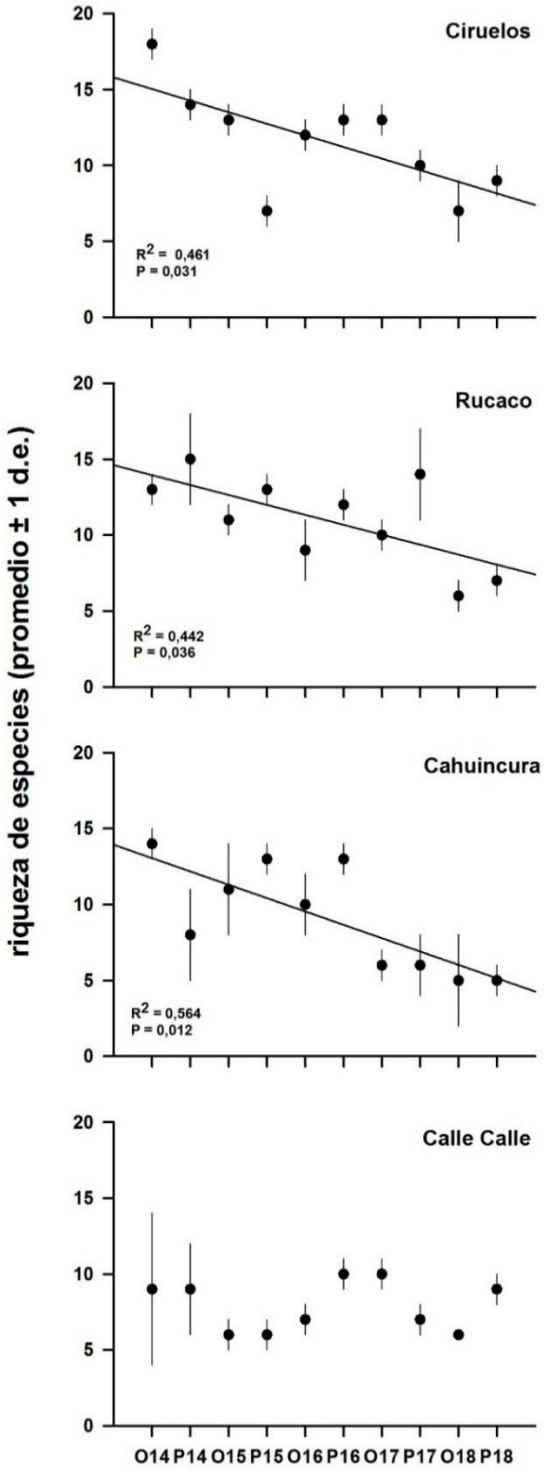


Figura 4.2.3.4. Riqueza promedio de especies de invertebrados bentónicos en los fondos ritrales del área de estudio, durante las estaciones de otoño (O) y primavera (P) de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores corresponden al promedio de las réplicas ± 1 desviación estándar en paréntesis. (la línea de tendencias corresponde al resultado de una regresión lineal cuando esta fue significativa, se indica además el respectivo valor de p y R^2).

Abundancia

Las abundancias registradas en cada sitio han variado de 731 (ind/m^2) durante el otoño del año 2015 a 19.797 (ind/m^2) durante el otoño del año 2017, en río Cruces, sector Ciruelos (Tabla 4.2.3.5). Entre 442 (ind/m^2) durante la primavera del año 2018 a 7.994 (ind/m^2) durante otoño del año 2016 en río Cruces, sector Rucaco (Tabla 4.2.3.5). Entre 433 (ind/m^2) durante la primavera del año 2017 y 6.281 (ind/m^2) durante la primavera del año 2016 en río Cruces, sector Cahuincura, y entre 247 (ind/m^2) durante otoño del año 2015 y 13.864 (ind/m^2) durante la primavera del año 2016 en río Calle Calle (Tabla 4.2.3.5). Por tanto, y en términos generales, durante el periodo de estudio las abundancias fluctuaron entre 19.797 (ind/m^2) ocurridos en Ciruelos durante el otoño del año 2017 y 247 (ind/m^2) ocurridos en río Calle Calle durante el otoño del año 2015 (Tabla 4.2.3.5).

La Figura 4.2.3.5 muestra la variabilidad interanual existente en las abundancias estimadas para cada sitio, las cuales no presentaron tendencias estadísticamente significativas ($p>0,05$) durante el periodo de estudio (Fig. 4.2.3.5).

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 de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores corresponden al promedio de cuatro réplicas (tres para ambos periodos del año 2014) con la 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)	588,9 (361,2)	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		
1 sector Ciruelos	1.738,9 (1.099,7)	991,7 (398,3)		
2 sector Rucaco	2.261,1 (1.202,2)	441,7 (126,8)		
3 sector Cahuincura	830,6 (1.007,3)	350,0 (108,3)		
4 sector Calle Calle	655,6 (133,9)	3.647,2 (880,9)		

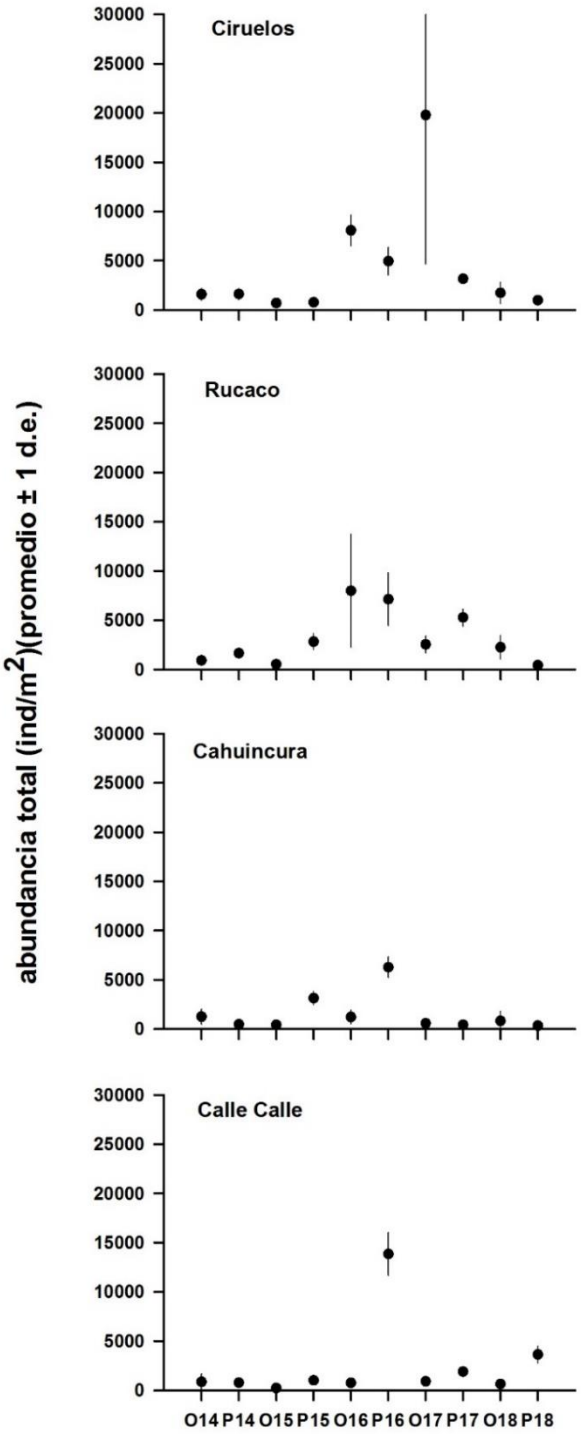


Figura 4.2.3.6. Abundancia total promedio de invertebrados bentónicos en los fondos ritrales del área de estudio, durante las estaciones de otoño (O) y primavera (P) de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores corresponden al promedio de las réplicas ± 1 desviación estándar.

Dominancia

Durante el desarrollo del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y sus ríos tributarios la especie que domino los ambientes de fondos ritrales fue el crustáceo decapodo *Aegla abtao* con 29,5% de frecuencia relativa ocurrida en el río Calle Calle durante el otoño del año 2014, seguido por el insecto díptero *Alluaudomya* sp. con 28,1% de frecuencia relativa ocurrida en el sector de Cahuincura durante otoño del mismo año. Sin embargo, durante la primavera de dicho año, en todos los sitios de muestreo predomino el insecto, díptero, *Eukieffiriella* sp. con proporciones del orden del 20% (Tabla 4.2.3.6). A su vez, durante el Programa de Monitoreo Ambiental del HRC y sus ríos tributarios, el insecto, díptero, *Eukieffiriella* sp. fue la especie que domino ampliamente las frecuencias relativas de ocurrencia en los ríos Cruces y Calle Calle (Tabla 4.2.3.6). Las proporciones estimadas son 43,9% en el río Calle Calle durante la primavera del año 2015, 61% en el río Cruces, sector Rucaco durante el otoño del año 2016, 75,1% de ocurrencia en Cahuincura durante la primavera del año 2017, y 51,6% en el río Calle Calle durante la primavera del año 2018 (Tabla 4.2.3.6). Sin embargo, durante el otoño del año 2018, y por primera vez en este estudio el insecto efemeróptero *Meridialaris diguillina* presento la mayor dominancia con 71,6 % de frecuencia relativa en el río Calle Calle (Tabla 4.2.3.6).

Tabla 4.2.3.6 Frecuencia relativa de la abundancia de especies de macroinvertebrados bentónicas dominantes en los fondos ritrales del área de estudio durante otoño y primavera de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018.

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

Diversidad

Los valores del índice de diversidad de Shannon Wiener han oscilado (cerca de 1 (H')) durante el todo el periodo de estudio, el valor más bajo de diversidad calculado corresponde a 0,37 (H') registrado en el sector Cahuincura durante la primavera del año 2017. A su vez, el valor más alto calculado corresponde a 1,07 (H'), ocurrido en el río Cruces, de forma simultánea en los sectores Ciruelos y Rucaco durante el otoño y la primavera del año 2014 respectivamente (Tabla 4.2.3.7).

La Figura 4.2.3.7 se muestra la variabilidad temporal de la diversidad promedio de invertebrados bentónicos. El análisis estadístico de regresión lineal mostró tendencias significativas ($p<0,05$) a la disminución en los sectores del río cruces; Rucaco y Cahuincura.

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 de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores corresponden al promedio de las réplicas, y la 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		
1 (sector Ciruelos)	0,79 (0,09)	0,84 (0,05)		
2 (sector Rucaco)	0,66 (0,12)	0,79 (0,09)		
3 (sector Cahuincura)	0,43 (0,30)	0,54 (0,06)		
4 (sector Calle Calle)	0,44 (0,02)	0,62 (0,08)		

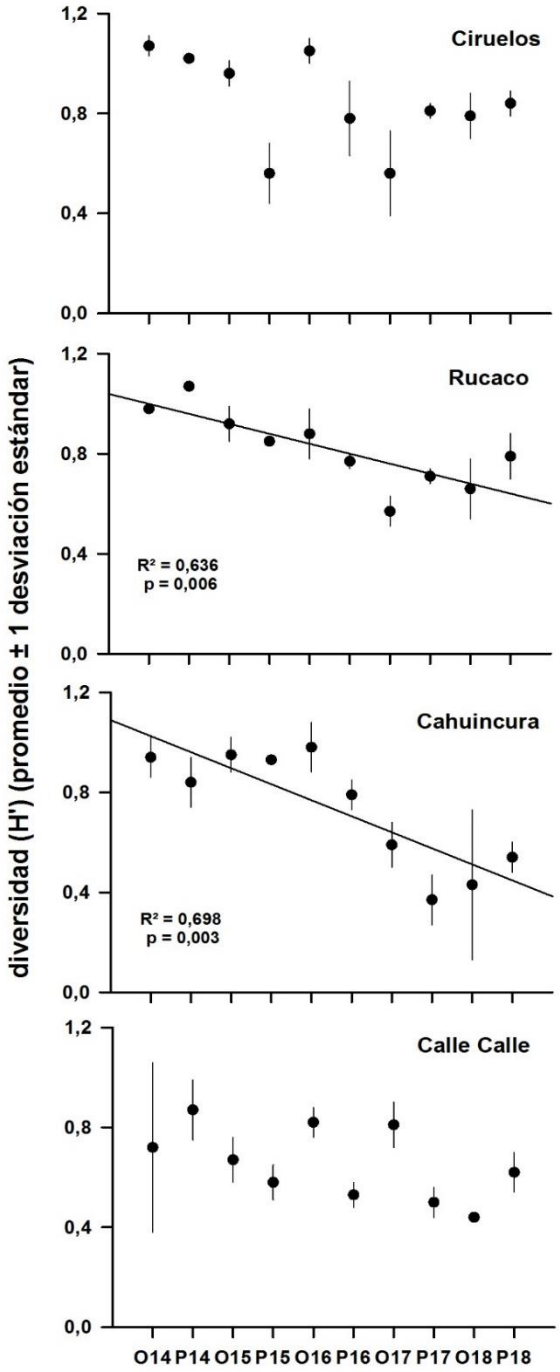


Figura 4.2.3.7. Diversidad promedio de invertebrados bentónicos en los fondos ritrales del área de estudio, durante las estaciones de otoño (O) y primavera (P) de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores corresponden al promedio de las réplicas ± 1 desviación estándar, (la línea de tendencias corresponde al resultado de una regresión lineal cuando esta fue significativa, se indica además el respectivo valor de p y R^2).

Biomasa

Los más altos valores de biomasa total de macroinvertebrados bentónicos ocurrieron durante el otoño del año 2018, en el río Cruces, sector Ciruelos y en río Calle Calle 29,76 y 14,98 g peso seco/m^2 respectivamente, biomasa dada principalmente por la especie *Chilina dombeyana* en el caso del sector Ciruelos (Tabla 4.2.3.8). Por otra parte, el menor valor de biomasa total de macroinvertebrados bentónicos, correspondió a 0,05 g peso seco/m^2 registrado en Cahuincura durante el otoño del año 2017 (Tabla 4.2.3.8).

La Figura 4.2.3.8 muestra la variabilidad interanual de los valores de biomasa total registrados en los cuatro sitios del área estudiada durante otoño y primavera de los años que se ha llevado a cabo el presente estudio, dicha variabilidad no ha mostrado tendencias significativas ($p>0,05$) a aumentar o disminuir en el tiempo (Fig. 4.2.3.8).

Tabla 4.2.3.8. Biomasa total de la macrofauna de invertebrados bentónicos que ocurren en los fondos ritrales del área de estudio durante las estaciones de otoño y primavera de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores corresponden al promedio de cuatro réplicas (tres para ambos periodos del año 2014).

Sitios	**biomasa (g peso seco/m^2)**			
	otoño 2014	primavera 2014	otoño 2015	primavera 2015
1 sector Ciruelos	2,26 (2,18)	0,71 (0,49)	0,31 (0,19)	2,58 (1,34)
2 sector Rucaco	0,61 (0,40)	0,54 (0,09)	0,22 (0,19)	4,49 (1,03)
3 sector Cahuincura	8,95 (3,55)	0,10 (0,06)	0,22 (0,25)	3,43 (1,21)
4 sector Calle Calle	8,11 (4,22)	0,31 (0,13)	0,18 (0,09)	2,74 (1,38)
	otoño 2016	primavera 2016	otoño 2017	primavera 2017
1 sector Ciruelos	4,55 (2,28)	2,17 (1,32)	4,35 (1,74)	2,14 (1,80)
2 sector Rucaco	0,45 (0,12)	2,47 (1,28)	0,23 (0,17)	1,27 (0,09)
3 sector Cahuincura	1,08 (0,28)	1,14 (0,37)	0,05 (0,05)	0,77 (1,35)
4 sector Calle Calle	3,76 (1,26)	2,41 (0,39)	3,46 (3,30)	0,86 (0,41)
	otoño 2018	primavera 2018		
1 sector Ciruelos	29,76 (41,71)	1,12 (0,83)		
2 sector Rucaco	0,31 (0,40)	0,46 (0,37)		
3 sector Cahuincura	5,51 (10,61)	0,21 (0,23)		
4 sector Calle Calle	14,98 (5,34)	2,52 (2,30)		

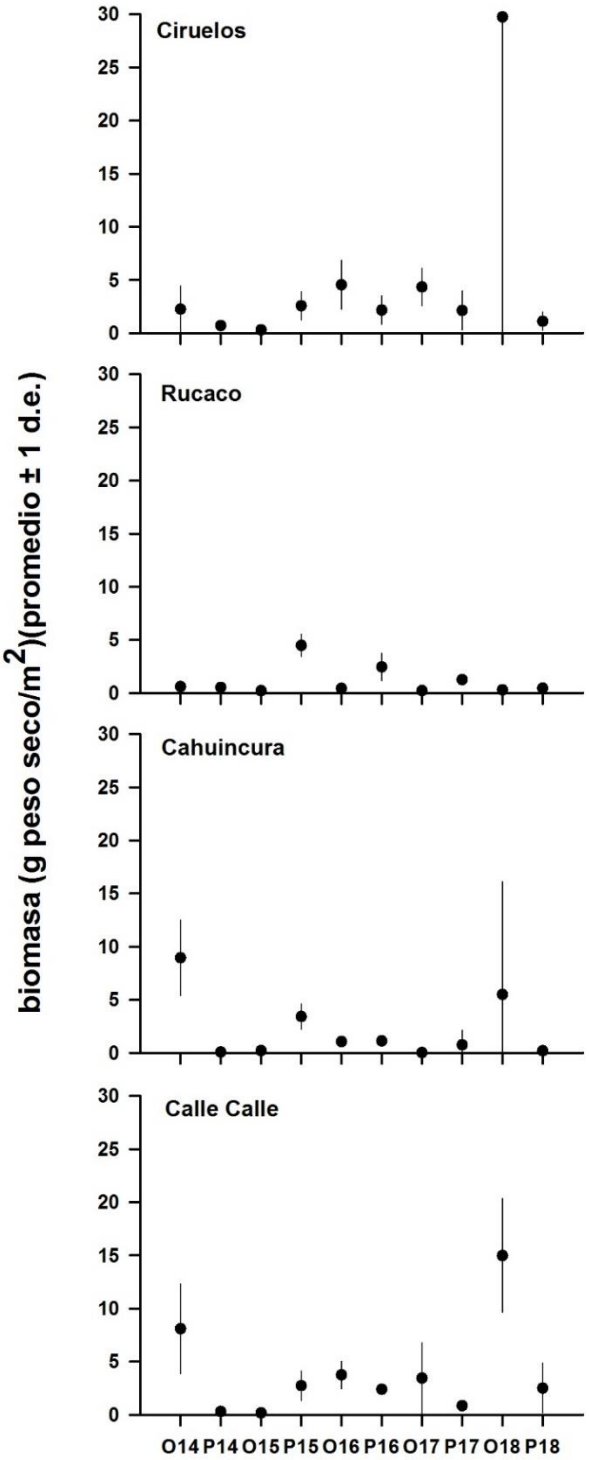


Figura 4.2.3.8. Biomasa promedio de invertebrados bentónicos en los fondos ritrales del área de estudio, durante las estaciones de otoño (O) y primavera (P) de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores corresponden al promedio de las réplicas ± 1 desviación estándar.

Organismos bentónicos de fondos ritrales y calidad del agua

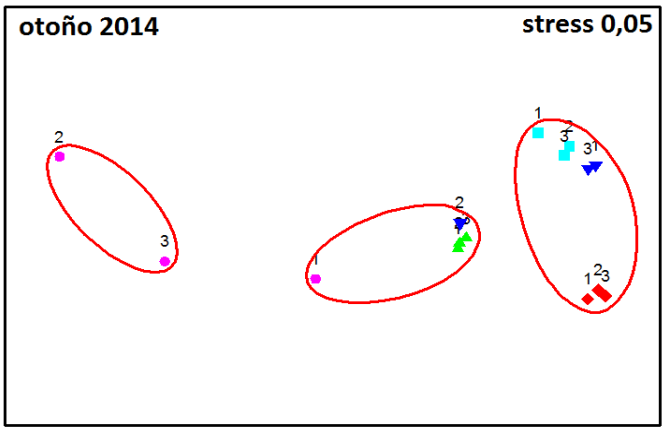
De acuerdo a los valores establecidos en el Índice de Hilsenhoff (RBP III), podemos decir que la calidad del ambiente acuático con respecto a la carga orgánica del mismo durante el periodo comprendido entre otoño del año 2014 y primavera del año 2018, ha sido predominantemente "buena" y "muy buena" (Tabla 4.2.3.9). Los valores estimados van de 5,45 (buena) en el río Cruces, sector Cahuincura durante la primavera del año 2018 a 3,62 (muy buena) ocurrida en Ciruelos durante la primavera del año 2017 (Tabla 4.2.3.9). Con menores ocurrencias valores que califican la calidad del agua como "regular" 6,23 y 5,77 se ha dado en Ciruelos y Calle Calle durante la primavera del año 2015 y el otoño del año 2016 respectivamente. A su vez, en Cahuincura durante el otoño del año 2017 se estimó un valor de 6,86 el que califica el agua como "algo pobre" según la carga orgánica que este sector posee durante el momento de muestreo (Tabla 4.2.3.9).

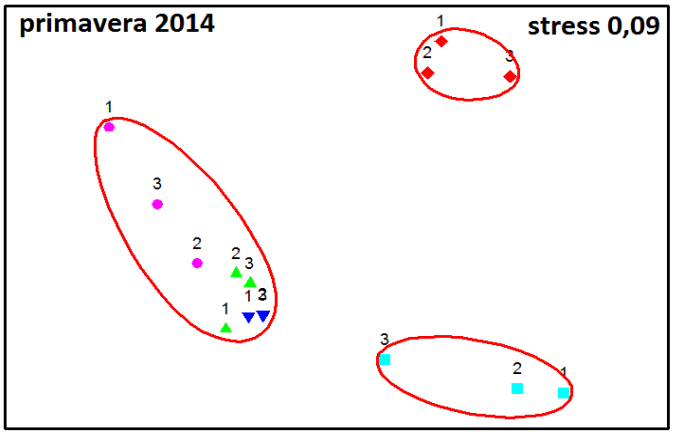
Tabla 4.2.3.9. Valores del Índice Biótico de Hilsenhoff para el área de estudio, durante las estaciones de otoño y primavera de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018 (Hilsenhoff 1988).

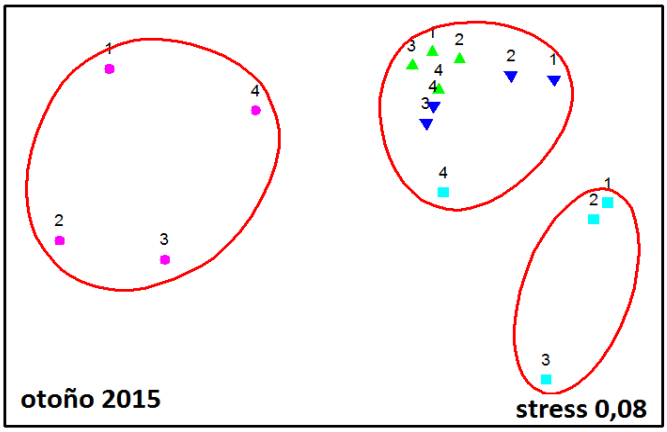
Sitio	**RBP III**		**RBP III**		**RBP III**		**RBP III**	
	otoño 2014		primavera 2014		otoño 2015		primavera 2015	
1 sector Ciruelos	4,50	Muy bueno	4,30	Muy bueno	4,86	Bueno	6,23	Regular
2 sector Rucaco	4,91	Bueno	4,21	Muy bueno	4,54	Bueno	4,27	Muy bueno
3 sector Cahuincura	5,32	Bueno	4,21	Muy bueno	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					
1 sector Ciruelos	4,57	Bueno	4,25	Muy bueno				
2 sector Rucaco	4,40	Muy bueno	4,57	Bueno				
3 sector Cahuincura	4,44	Muy bueno	5,45	bueno				
4 sector Calle Calle	4,61	Bueno	4,73	Muy bueno				

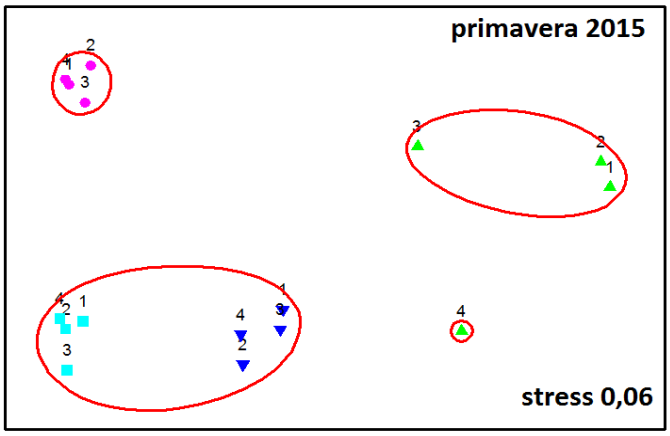
Análisis de ordenamiento

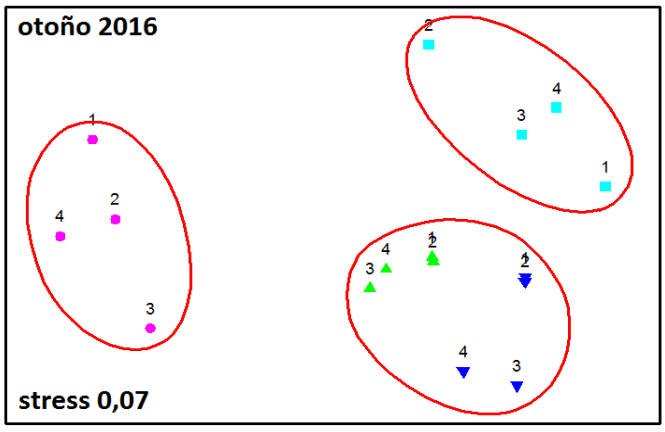
Los resultados de los análisis de EMDNM realizados para evaluar la eventual similitud faunística entre los cuatro sitios estudiados durante el otoño y la primavera del año 2018, se muestran en la Figura 4.2.3.9. Los valores de stress 0,09 y 0,07, indican un grado de asociación de muestras bastante bueno. Durante el otoño se formaron cuatro grupos; donde se asocian principalmente los sectores Ciruelos y Rucaco, otro grupo con réplicas del sector Calle Calle con una réplica de Ciruelos, un grupo más pequeño que asocian dos réplicas del sector Cahincura y el cuarto grupo y aislado del resto se ubica una réplica del sector Cahuincura, esto se debe a que en dicha replica sólo se encontró un individuo de *Chilina dombeyana* (Fig.4.2.3.9). Durante la primavera se formaron dos grupos; donde se ven muy bien representadas las características faunísticas de los sectores ubicados en el sector Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, y separado y aislado de este gran grupo encontramos todas las réplicas del sector de Cahuincura (Fig.4.2.3.9).

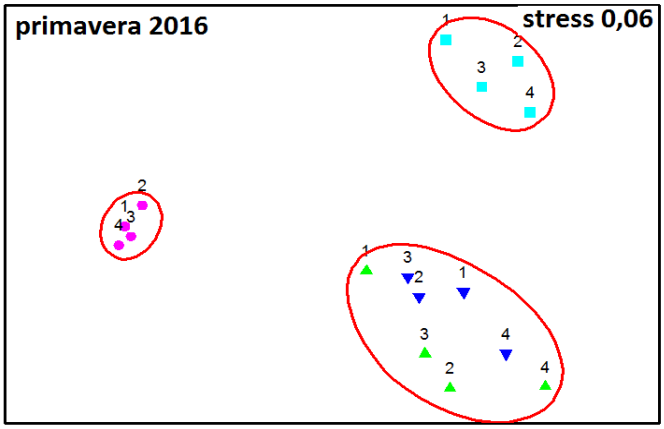

otoño 2014
stress 0,05


primavera 2014
stress 0,09


otoño 2015
stress 0,08


primavera 2015
stress 0,06


otoño 2016
stress 0,07


primavera 2016
stress 0,06

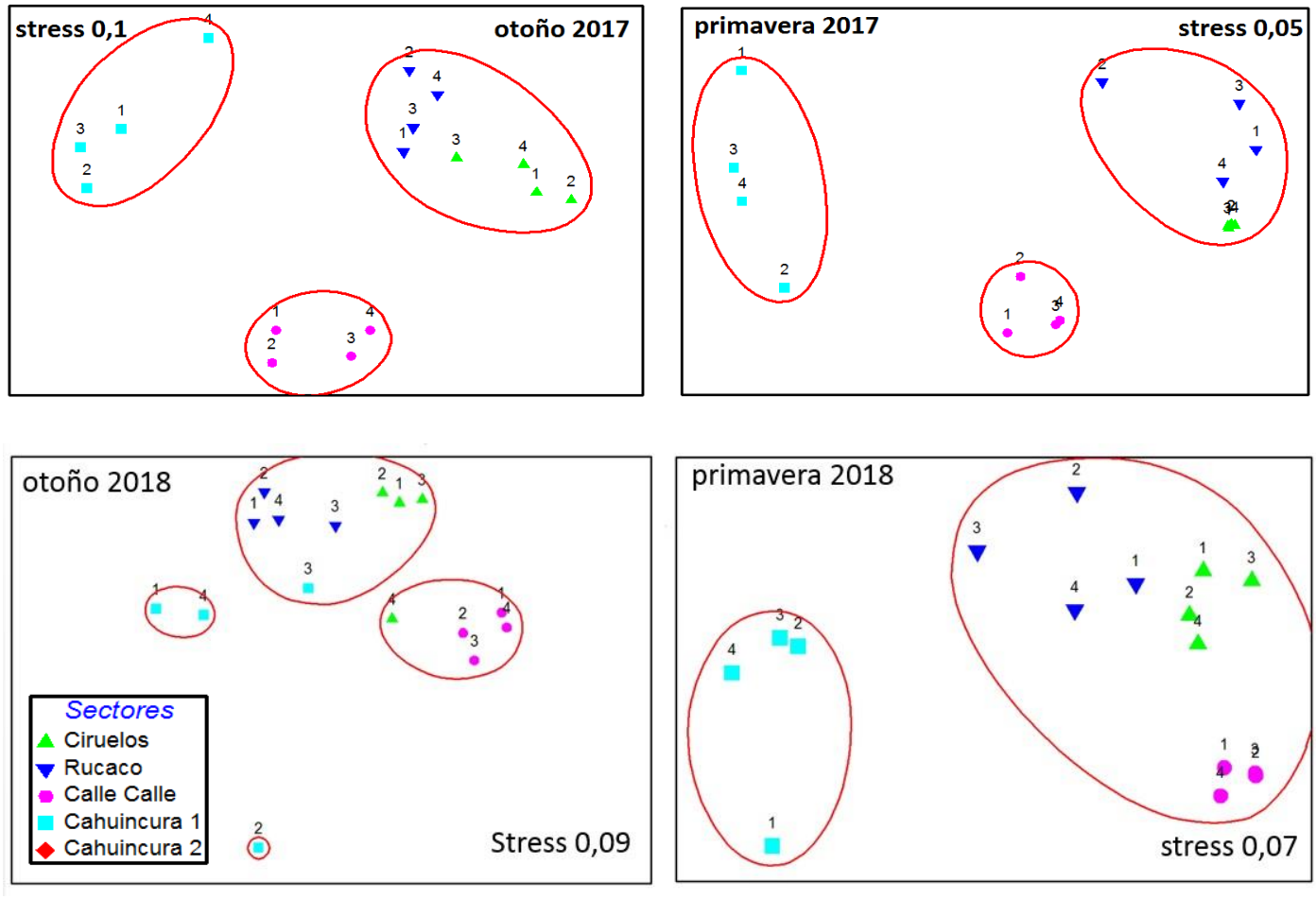


Figura 4.2.3.9. Representación gráfica del escalamiento multidimensional no métrico (EMDNM) basado en la abundancia de los organismos de la macroinfauna bentónica presentes en los sedimentos de los sitios muestreados durante las estaciones de otoño y primavera de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. El sector Cahuincura 2 (rombo color rojo), sólo fue analizado durante el PD/HRC 2014-2015.

4.2.3.5. Conclusiones

• Se ha determinado que durante el periodo de estudio la composición faunística de los fondos ritrales del área estudiada está compuesta principalmente por insectos del orden Diptera. El número de especies encontradas durante el año 2018 fue de 31, mientras que durante el año 2017 fue de 34, en el año 2016 se encontraron 23 especies, durante el año 2015 29 especies, y durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (2014) 33 especies.

•Se ha observado que en general la riqueza de especies tiende a ser más alta durante las campañas de primavera, especialmente en el río Cruces, en los sectores de Rucaco y Cahuincura. Por otra parte, se muestra de forma más homogénea entre estaciones en los sectores Ciruelos y río Calle Calle.

• La frecuencia relativa de especies ocurrida durante la campaña del año 2018 y las campañas anteriores (2014, 2015, 2016 y 2017) da cuenta que la especie que predomina el ambiente acuático de fondos ritrales en todos los sitios del área estudiada es el insecto díptero *Eukiufferiella* sp.

Por primera vez en el tiempo que ha durado este estudio el insecto efemeróptero *Meridialaris diguillina* presentó las proporciones más altas registradas de frecuencia relativa correspondiente a 71,6% ocurridos en el sector río Calle Calle durante el otoño del año 2018.

• La variabilidad temporal de la abundancia de la macrofauna habitante de los fondos ritrales del área de estudio no ha mostrado tendencias significativas al aumento ni a la disminución durante el periodo de estudio. Sin embargo, en el sector Cahuincura, durante las campañas de los años 2017 y 2018 se han obtenido valores inferiores a los esperados, los cuales pueden ser el resultado directo del cambio en el entorno ocasionado por recientes murallas construidas en las riberas de este sector (Ver anexos).

• El índice de diversidad calculado para la macrofauna bentónica habitante de los fondos ritrales del área estudiada da cuenta que durante la campaña del 2017 se

registraron los menores valores. En el río Cruces, en los sitios Rucaco y Cahuincura, ocurrieron tendencias significativas a la disminución de la diversidad en el tiempo.

• El análisis de ordenamiento multidimensional, para ambos periodos del año 2018 indica principalmente que el sector Cahuincura se separa de los demás sectores, formando un grupo aparte y distante de Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, dicho aislamiento también se ha observado en las campañas anteriores.

• El Índice Biótico calculado durante el tiempo que ha durado este estudio, da cuenta que en general, la calidad del agua proveniente de los ríos Cruces y Calle Calle se mantiene "buena" y "muy buena" en cuanto a carga orgánica se refiere. Sin embargo, durante el otoño del año 2017 se estimó una calidad de agua "algo pobre" en el sitio Cahuincura, lo que podría deberse al progresivo aumento de materia orgánica y material particulado fino que se acumuló en el sitio de muestreó producto de la reciente intervención que ejerce una muralla construida recientemente en el lugar (Ver anexos).

4.2.3.6. Referencias

Barbour, M. T., J. Gerritsen, B. D. Snyder, and J. B. Stribling. 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, J.E., and J.H. Zar. 1977. Field laboratory methods for general ecology. William C. Brown Company Publishers. Dubuque, Iowa, USA. 192 pp.

Figueroa, R., A. Palma, V. Ruiz, y X. Niell. 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: 225-242.

Hilsenhoff, W. L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. Journal of the North American Benthological Society 7: 65-68.

Klemm, D. J. 1990. Macroinvertebrate field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters. US Environmental Protecting Agency. EPA/600/4-90/030.Xii. 256 pp.

Kruskal, J. B. 1964. Nonmetric multidimensional scaling: A numerical method. Psychometrika 29: 115-129 .

Mandaville, S. M. 2002. Benthic macroinvertebrate in freshwaters- taxa tolerance values, metrics, and protocols. (Proyect H-1) Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax, Canada.

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.

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, J. L., M. T. Barbour, K.D. Porter, S. K. Gross, and R. M. Hughes. 1989. Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrates and fish. In Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: Benthic macroinvertebrates and fish. U.S. Environmental Protection Agency. EPA 440/4-89/001. 8 Chapters, Appendices A-D.

UACh. 2014-2015. Programa de Diagnóstico Ambiental del Humedal del Río Cruces y sus Ríos Tributarios. (Convenio UACh-Celulosa Arauco).

ANEXO



Anexo 1. Muralla construida adyacente al sitio de muestreo durante el año 2016 en el río Cruces, sector Cahuincura.



Anexo 2. Vista panorámica de la obstrucción ocasionada por la reciente muralla y barrera construidas durante el año 2017 en el sitio de muestreo del río Calle Calle.



Anexo 3. Sitio de muestreo en el río Calle Calle durante la campaña de primavera del año 2017. Nótese la acumulación de material particulado fino sobre el fondo que comúnmente fue pedregoso.

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 (*Caudiverbera caudiverbera*, 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; *Mustela 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 de lo 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 realizándose la cuarta campaña durante los meses de abril 2018 - marzo 2019. Esta información se comparó con los resultados de estudios realizados durante el primer, segundo y tercer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2015 - marzo 2016, abril 2016 - marzo 2017 y abril 2017 – marzo 2018, 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 cuatro primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (otoño y primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018), 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 y mayo & octubre del año 2017, abril, mayo & noviembre, diciembre del año 2018, 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 realizados 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).

Durante la primevara del año 2018, no se logró llevar acabo la extracción de ejemplares en el sector Punucapa, debido a problemas con el equipo de pesca eléctrica.

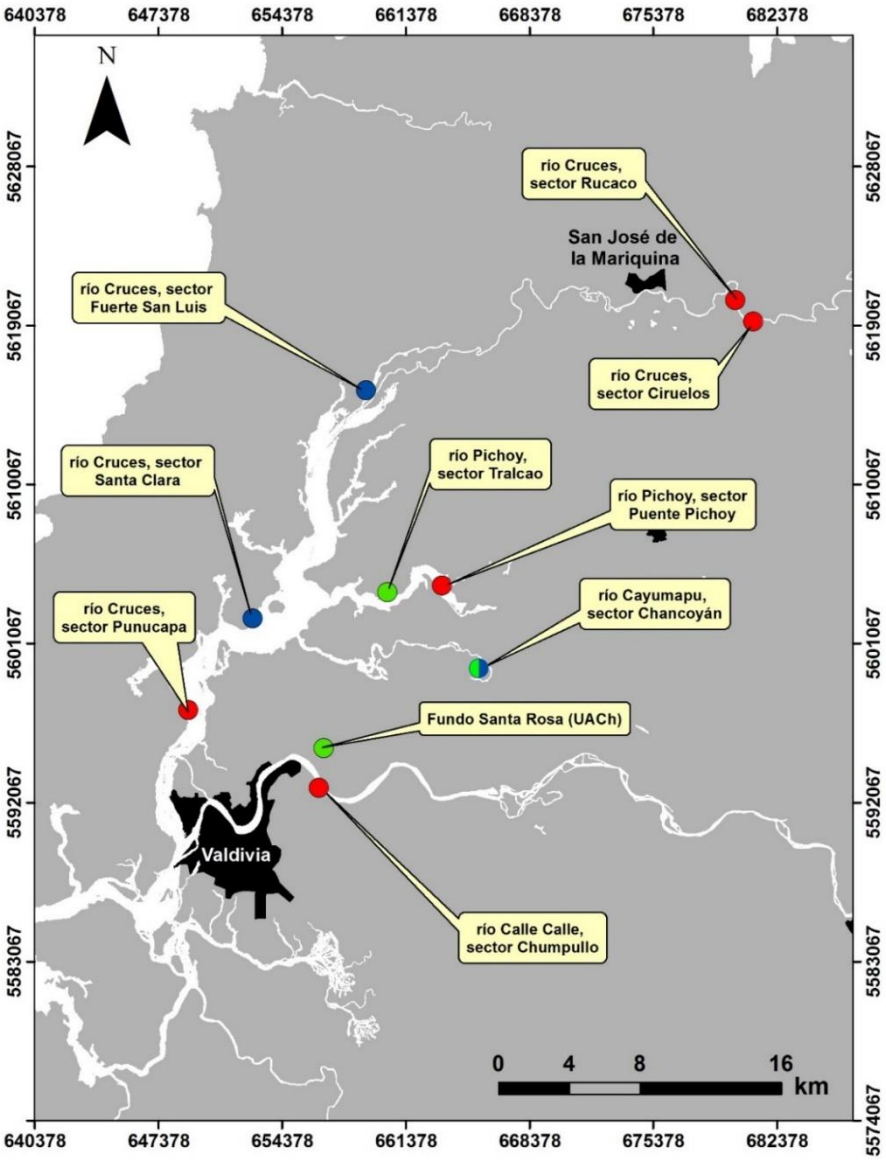


Figura 4.2.4.1. Ubicación de los sitios de muestreo del monitoreo estacional, seleccionados para el estudio del Camarón de río *Samastacus spinifrons* (puntos rojos). Los círculos verdes indican los sitios donde se recolectaron especímenes del Camarón de vega *Parastacus nicoleti,* durante el año 2015 y los círculos azules durante los años 2016, 2017 y 2018.

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. Para el primer caso se realizaron transectos de muestreo durante el día y a lo largo de cuatro secciones seleccionadas aleatoriamente de aproximadamente 15 metros de extensión; el tiempo de trabajo en cada sección fue de aproximadamente 10 minutos. La captura de *S. spinifrons* se realizó con un equipo de pesca eléctrica EFKO-Elektrofischfanggeräte GMBH, Typ FEG 1500, donde la profundidad de captura fue inferior a un metro. Posteriormente se procedió a capturar camarones para estudios de tamaños corporales y proporción sexual. Estos fueron guardados en bolsas plásticas ziploc para el posterior recuento y medición del tamaño de cada individuo en laboratorio.

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).

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.

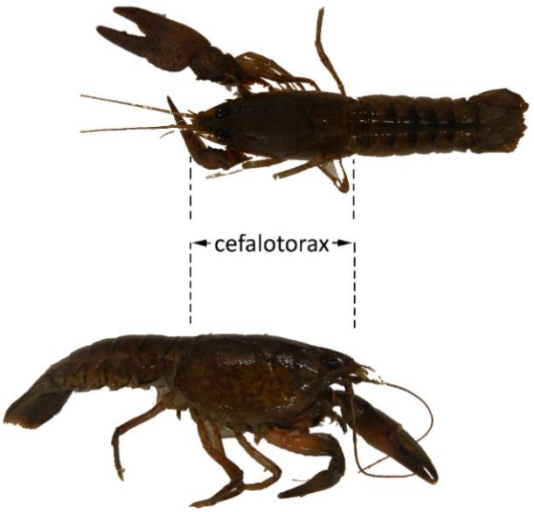


Figura 4.2.4.2. Mediciones de longitud del cefalotórax realizadas en ambas especies de camarones recolectados en este estudio

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 y 2018 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 y 2018 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*

La Figura 4.2.4.3 y Tabla 4.2.4.1, 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 (2014-2018).

Año 2014

Durante la campaña de otoño del año 2014, se capturaron camarones en todos los sectores muestreados. Los valores más altos de abundancia se encontraron en el sector Rucaco (promedio = 10,7 ± 3,1 individuos) y los valores más bajos en el río Calle Calle (promedio = 1,0 ± 1,7 individuos), sector donde sólo se capturó camarones en uno de los tres transectos analizados (Tabla 4.2.4.1 y Fig. 4.2.4.3).

En la campaña primaveral del año 2014, se capturaron camarones en todos los sectores de estudio. Las mayores abundancias se presentaron en los sectores Punucapa y río Calle Calle (promedios = 9,0 ± 5,5 y 8,7 ± 4,5 individuos, respectivamente), a la vez que, las abundancias más bajas se detectaron en el sector Rucaco (promedio = 4,7 ± 3,1 individuos). Esto fue diferente a lo encontrado durante el otoño del mismo año, donde los sectores con mayores y menores abundancias fueron Rucaco y Calle Calle, respectivamente. (Tabla 4.2.4.1 y Fig. 4.2.4.3).

Año 2015

Durante la campaña de otoño del año 2015, no se capturaron ejemplares de camarones en los sectores Ciruelos y Rucaco (Tabla 4.2.4.1). Las abundancias promedio fueron menores a las campañas anteriores (rango promedio = 1,0 - 1,5 individuos), debido a que sólo se detectó la presencia de *S. spinifrons* en un sólo transecto de los cuatro analizados en los sectores Punucapa, Pichoy y Calle Calle (Tabla 4.2.4.1 y Fig. 4.2.4.3).

Durante la primavera del año 2015, se capturaron camarones en todos los sectores muestreados y en general con abundancias mayores a las de la campaña de otoño del mismo año. Los valores más altos se presentaron en el sector Ciruelos (promedio = 5,5 ± 5,4 individuos) y los más bajos en el sector de Rucaco (promedio = 0,5 ± 1 individuos) (Tabla 4.2.4.1 y Fig. 4.2.4.3).

Año 2016

Durante la campaña de otoño del año 2016, no se capturaron ejemplares de camarones en el sector de Rucaco (Tabla 4.2.4.1). Los valores más altos de abundancias promedio se registraron en el río Calle Calle (13 ± 10,6 individuos), a la vez que, las abundancias más bajas se detectaron en los sectore de Ciruelos y Rucaco (promedio = 1,8 ± 1,5; 0,0 ± 0,0 individuos) (Tabla 4.2.4.1 y Fig. 4.2.4.3).

Durante la primavera del año 2016 y similar a lo observado durante la campaña otoñal del mismo año, no se capturaron camarones en el sector Rucaco. En general, las abundancias promedio fueron menores que las registradas durante el otoño 2016; el valor promedio más alto de abundancia de *Samastucus spinifrons* se registró en el sector de Punucapa (promedio = 3,0 ± 4,8 individuos) (Tabla 4.2.4.1 y Fig.4.2.4.3).

Año 2017

Durante la campaña de otoño del año 2017, se detectaron las abundancias más altas en el río Calle Calle (promedio = 7,5 ± 4,8 individuos) y las más bajas en el sector Rucaco (promedio = 0,8 ± 1,5 individuos) (Tabla 4.2.4.1 y Fig. 4.2.4.3).

Durante la primavera del año 2017, el sector Rucaco fue nuevamente el único lugar donde no se encontraron camarones. Similar a lo observado en otras ocasiones, las abundancias más altas de camarones se detectaron en el río Calle Calle (promedio = 10,0 ± 6,9 individuos) (Tabla 4.2.4.1 y Fig.4.2.4.3).

Año 2018

Durante la campaña de otoño del año 2018, se detectaron las abundancias más altas en el río Calle Calle, sector Champullo (promedio = 6,5 ± 4,9 individuos) y las más bajas 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 del año 2018, las mayores abundancias de camarones se presentaron al igual que la campaña de otoño, en el río Calle Calle, sector Champullo (promedio = 4,3 ± 2,2 individuos), a la vez que, las abundancias más bajas se detectaron en el sector Rucaco (promedio = 0,0 ± 0,0 individuos), no encontrándose camarones. (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 y 2018. 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)						
sector Ciruelos	otoño 2014	6	10	4	*	6,7 (3,1)
	primavera 2014	7	3	7	*	5,7 (2,3)
	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)
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)
Eje central río Cruces (área estuarial)						
sector Punucapa	otoño 2014	12	11	1	*	8,0 (6,1)
	primavera 2014	12	3	12	*	9,0 (5,5)
	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

		abundancia				
estaciones	**campañas**	**1**	**2**	**3**	**4**	**promedio**
Río tributario del río Cruces (área estuarial)						
sector río Pichoy	otoño 2014	9	12	7	*	9,3 (2,5)
	primavera 2014	4	8	6	*	6,0 (2,0)
	otoño 2015	0	0	0	4	1,0 (2,0)
	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)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos Tributarios (área estuarial)						
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	0	0	3	*	1,0 (1,7)
	primavera 2014	9	13	4	*	8,7 (4,5)
	otoño 2015	0	0	5	0	1,3 (2,5)
	primavera 2015	0	1	0	6	1,8 (2,9)
	otoño 2016	6	2	23	21	13,0 (10,6)
	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)

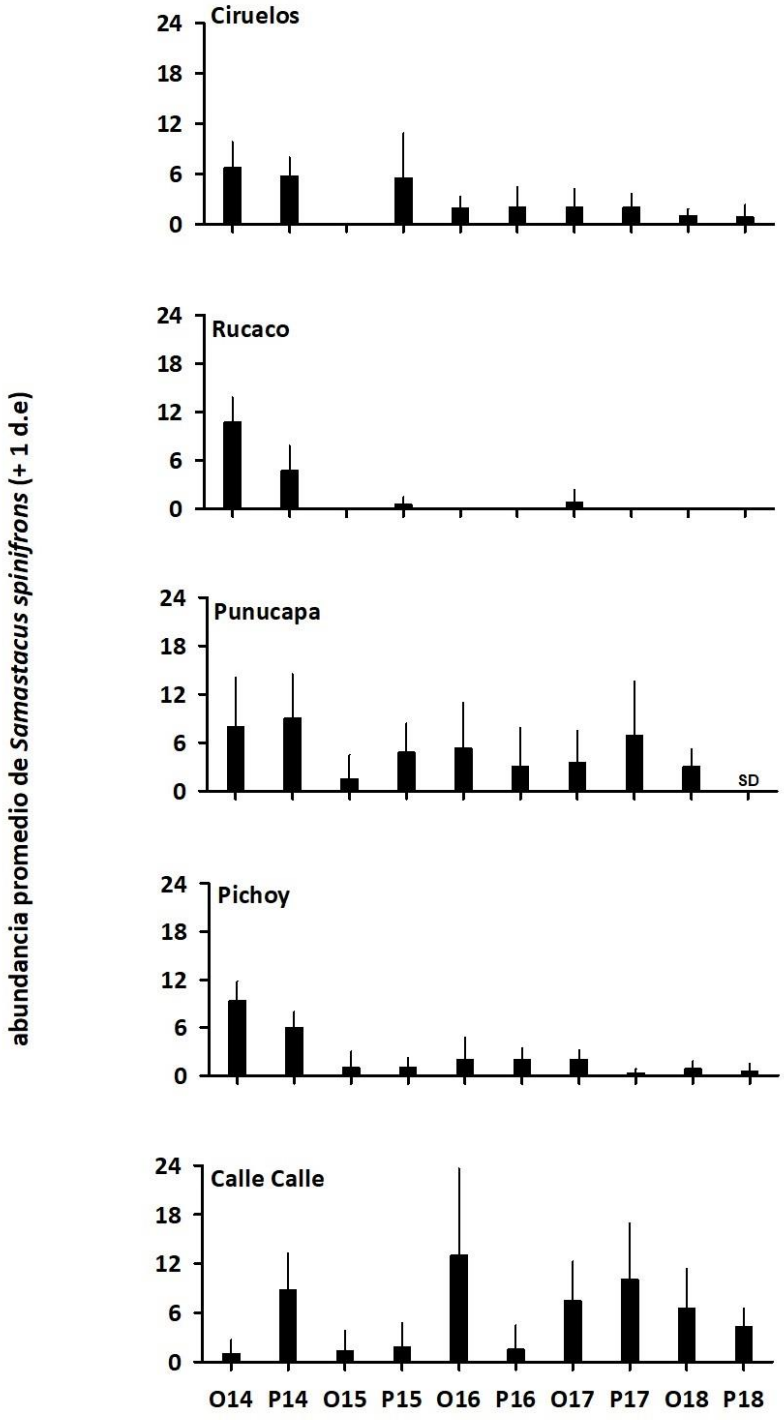


Figura 4.2.4.3. Abundancia promedio de *Samastacus spinifrons* en cada sitio de estudio, durante las campañas de otoño (O) y primavera (P) de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Las barras que acompañan al promedio corresponden a una desviación estándar. SD= sin datos.

Abundancia relativa de *Parastacus nicoleti*

Año 2015

Durante junio de este año, se encontraron camarones de vega en 10 de 18 habitáculos en Tralcao (55,5 %), en 7 de 11 madrigueras en Chancoyán (63,6%) y en 10 de 15 habitáculos en Santa Rosa (66,6%) (Fig. 4.2.4.4).

Durante septiembre, se recolectaron camarones en 19 de 26 habitáculos en Tralcao (73,0%), en 14 de 15 madrigueras en Chancoyán (93,3%) y en 16 de 18 habitáculos en Santa Rosa (88,8%) (Fig. 4.2.4.4).

Durante la campaña de noviembre, se encontraron camarones en 14 de 25 habitáculos en Tralcao (56,0 %), en 14 de 20 madrigueras en Chancoyán (70,0 %) y en 6 de 19 habitáculos en Santa Rosa (31,5 %) (Fig. 4.2.4.4). En términos generales, Chancoyán fue el sitio con las abundancias relativas más altas de *P. nicoleti*.

Año 2016

Durante agosto y septiembre de este año, se continuó muestreando en el sector de Chancoyán, además de los sectores Fuerte San Luis y Santa Clara. Durante agosto, se encontraron camarones de vega en 20 de 38 habitáculos en el sector San Luis (52,6%), en 20 de 30 madrigueras en Santa Clara (66,7%) y en 23 de 37 habitáculos en Chancoyán (62,2%) (Fig. 4.2.4.4).

Durante septiembre, se encontraron camarones en 6 de 22 madrigueras en el sector San Luis (27,3%), en 17 de 23 habitáculos en sector Santa Clara (73,9%) y en 16 de 20 madrigueras en Chancoyán (80,0%) (Fig. 4.2.4.4). Nuevamente, destaca el sector de Chancoyán por presentar en términos generales mayores abundancias relativas de *P. nicoleti*.

Año 2017

Durante la campaña de agosto, se encontraron camarones de vega en 20 de 32 (62,5%) habitáculos en el sector San Luis, en 20 de 27 (74,1%) madrigueras en el sector Santa Clara y en 20 de 24 habitáculos en el sector Chancoyán (83,3%).

Durante la campaña de septiembre, se recolectaron camarones en 19 de 31 habitáculos en el sector San Luis (61,3%), en 20 de 20 madrigueras prospectadas en el sector Santa Clara (100%) y en 20 de 27 habitáculos en Chancoyán (74,1%). Se visibiliza que a pesar de que en esta campaña, se detectó la presencia de *P.nicoleti* en todos los habitáculos cuantificados, los sectores de Santa Clara y Chancoyán siguieron mostrando altas abundancias relativas (Fig. 4.2.4.4).

Año 2018

Durante la campaña de agosto, se encontraron camarones de vega en el sector de San Luis en 20 de 30 (66,7%) habitáculos, en el sector Santa Clara en 20 de 22 (90,9%) madrigueras y en el sector Chancoyán en 20 de 25 habitáculos (80,0%).

Durante la campaña de septiembre, se recolectaron camarones en 20 de 28 habitáculos en el sector San Luis (71,4%), en 20 de 23 madrigueras prospectadas en el sector Santa Clara (87,0%) y en 20 de 29 habitáculos en Chancoyán (69,0%). Al igual que en el año 2017, se observa que Santa Clara y Chancoýan, muestran altas abundanias relativas a pesar de que durante esta campaña se detectó la presencia de *P.nicoleti* en todos los habitáculos cuantificados (Fig. 4.2.4.4).

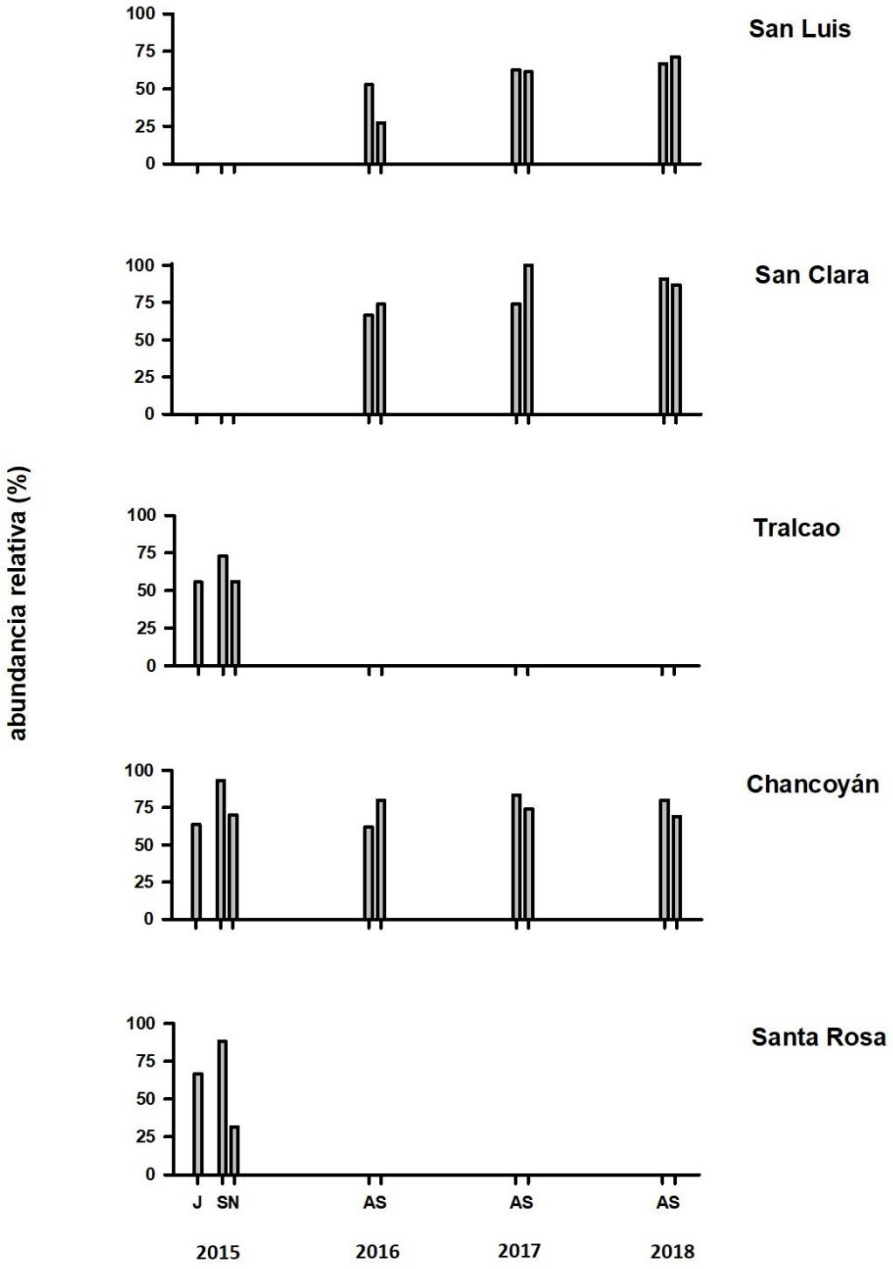


Figura 4.2.4.4. Abundancia relativa de la especie *P. nicoleti* en el área de estudio durante junio, septiembre y noviembre del año 2015 (J, S y N, respectivamente), agosto y septiembre del año 2016, 2017 y 2018 (A y S, respectivamente). Los valores se refieren al número de habitáculos ocupados en relación al número total de habitáculos examinados expresado en porcentaje.

Número de especímenes de *Parastacus nicoleti* por habitáculo

Año 2015

Durante la campaña de junio, la situación más frecuente fue ausencia de especímenes o un camarón de vega por habitáculo (Fig. 4.2.4.5 a). Durante esta campaña, las ocupaciones más altas de camarones por madriguera se detectaron en el sector Santa Rosa (6 y 7 especímenes) (Fig. 4.2.4.5 a). Durante septiembre, la situación más frecuente en los tres sectores (Tralcao, Chancoyán y Santa Rosa), fue un camarón por habitáculo; durante esta misma campaña, las mayores ocupaciones de camarones por habitáculo ocurrieron en Chancoyán y Santa Rosa (10 y 8 especímenes, respectivamente) (Fig. 4.2.4.5 a). Durante la campaña de noviembre, las situaciones más frecuentes fueron ausencia de camarones y presencia de un espécimen por habitáculo; las mayores ocupaciones ocurrieron en Tralcao y Santa Rosa (6 y 5 especímenes, respectivamente) (Fig. 4.2.4.5 a).

Año 2016

Durante las campañas de agosto y septiembre, las situaciones más comunes en los sectores San Luis, Santa Clara y Chancoyán fueron habitáculos vacíos u ocupados por 1 camarón de vega (Fig. 4.2.4.5 b). El sector de Santa Clara, presentó las mayores ocupaciones con 8 individuos encontrados en 2 habitáculos (agosto 2016) (Fig. 4.2.4.5 b).

Año 2017

Durante las campañas de agosto y septiembre, la situación más recurrente en el sector San Luis fue ausencia de camarones de vega en los habitáculos examinados; por el contrario, en los sectores Santa Clara y Chancoyán las situaciones más frecuentes fueron 1 y 2 individuos por madriguera (Fig. 4.2.4.5 b).

Año 2018

Durante la campaña de agosto en San Luis, el mayor número de habitáculos ocupados fueron 9 y 8 con 1 y 2 camarones de vega, respectivamente. Siendo 6 el número máximo de camarones encontrados en ese sector. 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. Por último, en Chancoyán se determinó que hubo 10 habitáculos con 1 espécimen de *P. nicoleti,* evidenciándose un máximo de 9 camarones de vega en 1 habitáculo (Fig. 4.2.4.5 b).

Durante la campaña de septiembre, el sector San Luis, presentó las mayores ocupaciones con 1 individuo en 11 habitáculos, siendo 4 el número de máximo de camarones encontrados en 1 habitáculo. En el sector Santa Clara, el mayor número de habitáculos ocupados fueron 6 con 2 camarones de vega y el máximo número de camarones fueron 6, encontrados en 1 habitáculo. Finalmente, en el sector de Chancoyán se observaron 14 habitáculos ocupados por 1 camarón y el número máximo de *P. nicoleti* fueron 4 encontrados en 2 habitáculos. (Fig. 4.2.4.5 b).

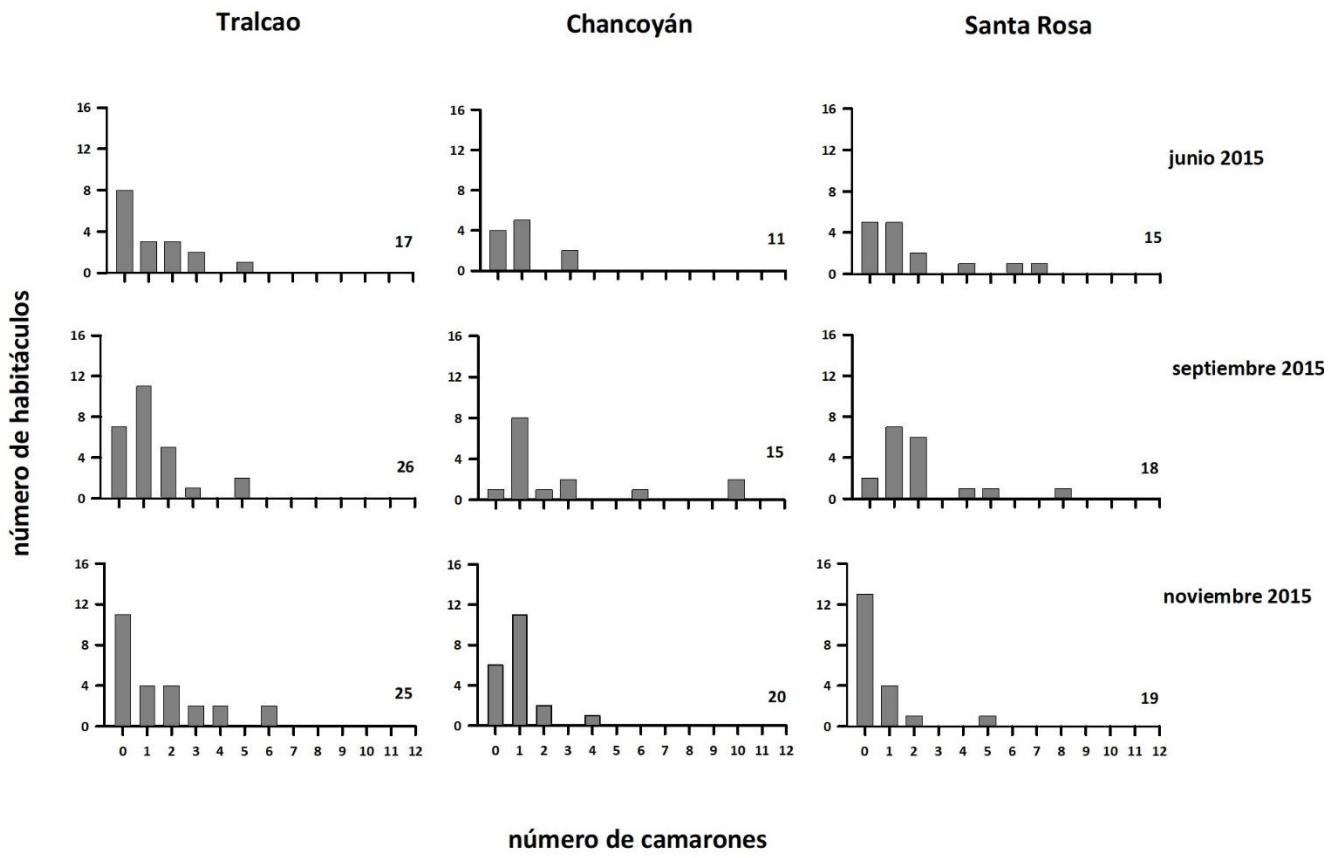


Figura 4.2.4.5 a. Número de individuos de *Parastacus nicoleti* recolectados por habitáculo durante junio, septiembre y noviembre del año 2015. Los ceros en el eje X de cada gráfico, indican ausencia de camarones en habitáculos. Los números a la derecha de cada gráfico indican el total de habitáculos examinados por sector.

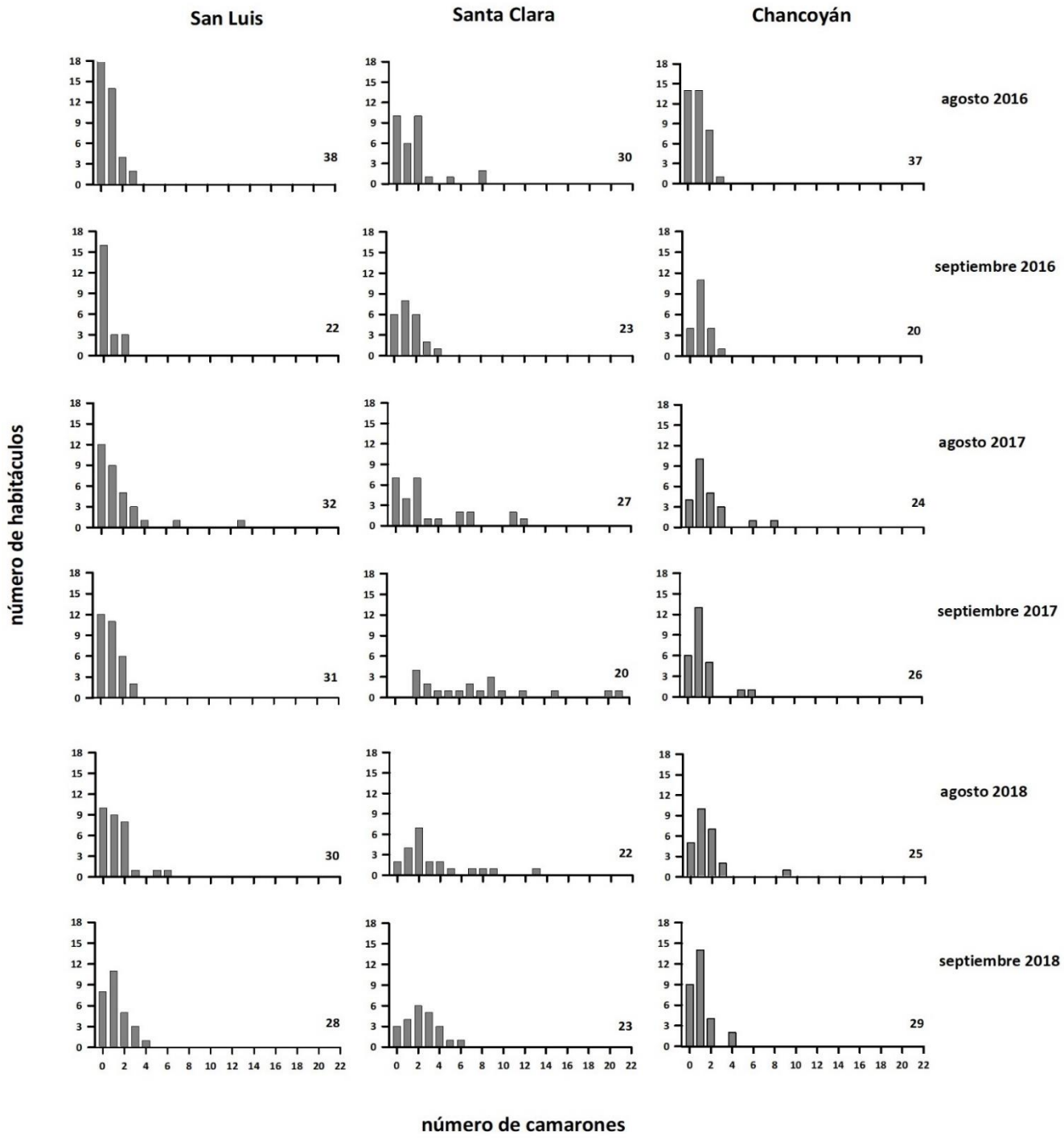


Figura 4.2.4.5 b. Número de individuos de *Parastacus nicoleti* recolectados por habitáculo durante agosto y septiembre de los años 2016, 2017 y 2018. Los ceros en el eje X de cada gráfico, indican ausencia de camarones en habitáculos. Los números a la derecha de cada gráfico indican el total de habitáculos examinados por sector.

Tallas corporales

Samastacus spinifrons

Año 2014

Durante la campaña de otoño, el tamaño corporal de *S. spinifrons* a través del área de estudio varió entre 1,1 y 4,6 cm (Tabla 4.2.4.2); los animales más grandes (longitud cefalotorácica > 4 cm) se recolectaron en los ríos Pichoy y Calle Calle (medias = 2,7 y 2,9 cm, respectivamente), siendo en este último donde se observó la mayor talla de cefalotórax (4,6 cm).

Para la campaña primaveral del año 2014, el tamaño corporal del camarón de río varió entre 0,8 y 5,1 cm (Tabla 4.2.4.2); los animales más grandes (longitud cefalotorácica > 4 cm) se recolectaron en el sector Punucapa.

Año 2015

Durante la campaña de otoño, el tamaño corporal *S. spinifrons* varió entre 0,9 y 4,9 cm (Tabla 4.2.4.2); los animales más grandes (longitud cefalotorácica > 4 cm) fueron más abundantes en el sector río Calle Calle (Fig. 4.2.4.10). Los sectores Ciruelos (río Cruces) y Punucapa fueron los que presentaron los mayores porcentajes de individuos pequeños (longitud cefalotorácica < 2 cm) (Fig. 4.2.4.6 y 4.2.4.8, respectivamente).

Durante la campaña de la primavera, el tamaño corporal de *S. spinifrons* varió entre 0,9 y 4,3 cm (Tabla 4.2.4.2). Los animales más grandes (longitud cefalotorácica > 4 cm) se recolectaron con mayor representación en los sectores río Pichoy (Fig. 4.2.4.9) y río Calle Calle (Fig. 4.2.4.10). Por otra parte, los ejemplares con tamaños corporales más bajos ocurrieron en mayor abundancia porcentual en el río Cruces, sector Ciruelos (Fig. 4.2.4.6) y en el río Calle Calle (Fig. 4.2.4.10).

Año 2016

Durante la campaña de otoño, el tamaño corporal del camarón de río varió entre 0,5 y 5,0 cm (Tabla 4.2.4.2); los animales más grandes (longitud cefalotorácica > 4 cm) se recolectaron en mayor abundancia en los sectores Rucaco (Fig.4.2.4.7) y Punucapa (Fig. 4.2.4.8). Los sectores Ciruelos (río Cruces) y río Calle Calle, fueron los sitios que presentaron mayor porcentaje de individuos pequeños (longitud cefalotorácica < 2 cm) (Fig. 4.2.4.6 y Fig. 4.2.4.10, respectivamente).

Durante la campaña de la primavera, el bajo número de individuos capturados de *S. spinifrons* en el área de estudio no permitió realizar análisis comparativos de distribución de tallas corporales. El valor más alto registrado fue de 12 individuos en el sector de Punucapa (Fig. 4.2.4.8), en tanto que en el sector de Rucaco no se capturaron camarones (Fig. 4.2.4.7).

Año 2017

Durante la campaña de otoño, la talla media del camarón de río fue varió entre 0,6 y 4,7 cm (Tabla 4.2.4.2). Ejemplares grandes (longitud cefalotorácica > 4 cm) se detectaron en todos los sectores con excepción de Ciruelos. El sector de Calle Calle fue donde se recolectó el mayor número de individuos de menor tamaño (longitud cefalotorácica < 2 cm) (4.2.4.10).

Durante la campaña de primavera, el tamaño corporal de *S. spinifrons* varió entre 0,2 y 4,4 cm (Tabla 4.2.4.2). Los individuos más grandes (longitud cefalotorácica > 4 cm) se capturaron en el río Calle Calle (Fig. 4.2.4.10), a la vez que los especímenes más pequeños (longitud cefalotorácica < 2 cm) fueron capturados en los sectores Ciruelos, Pichoy y Calle Calle (Fig. 4.2.4.6, 4.2.4.9 y 4.2.4.10, respectivamente).

Año 2018

Durante la campaña de otoño, la talla media del camarón *Samastacus spinifrons,* varió entre 0,2 y 4,7 cm (Tabla 4.2.4.2). Los especímenes con mayor longitud cefalotorácica (> 4 cm) y el mayor número de individuos capturados fue en el río Calle Calle y en el sector Rucaco se recolectarón individuos de menor tamaño (longitud cefalotorácica < 2 cm) (Fig.4.2.4.10 b y 4.2.4.7 b).

Durante la campaña de primavera, el tamaño corporal del camarón de río fluctuó entre 0,8 y 4,6 cm (Tabla 4.2.4.2). Al igual que la campaña de otoño en el sector río Calle Calle (Fig. 4.2.4.10 b), se encontraron los individuos más grandes (longitud cefalotorácica > 4 cm), el mayor número de individuos y a la vez los especímenes más pequeños (longitud cefalotorácica <2 cm) en comparación con los demás sitios. El sector Rucaco al igual que en el año 2016, no se captaron *Samastacus spinifrons* durante esta campaña (Tabla 4.2.4.2 y Fig. 4.2.4.7 b).

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, 2015, 2016, 2017 Y 2018. n= número de especímenes recolectados. SD= sin datos.

estaciones	campañas	N	media	moda	rango
Eje central río del río Cruces (área límnica)					
sector Ciruelos	otoño 2014	68	2,2	2,5	1,2 - 3,0
	primavera 2014	69	2,0	1,9	0,8 - 3,4
	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
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
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
sector Punucapa	otoño 2014	26	2,2	1,5	1,1 - 3,7
	primavera 2014	119	2,1	1,7	0,8 - 5,1
	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

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
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

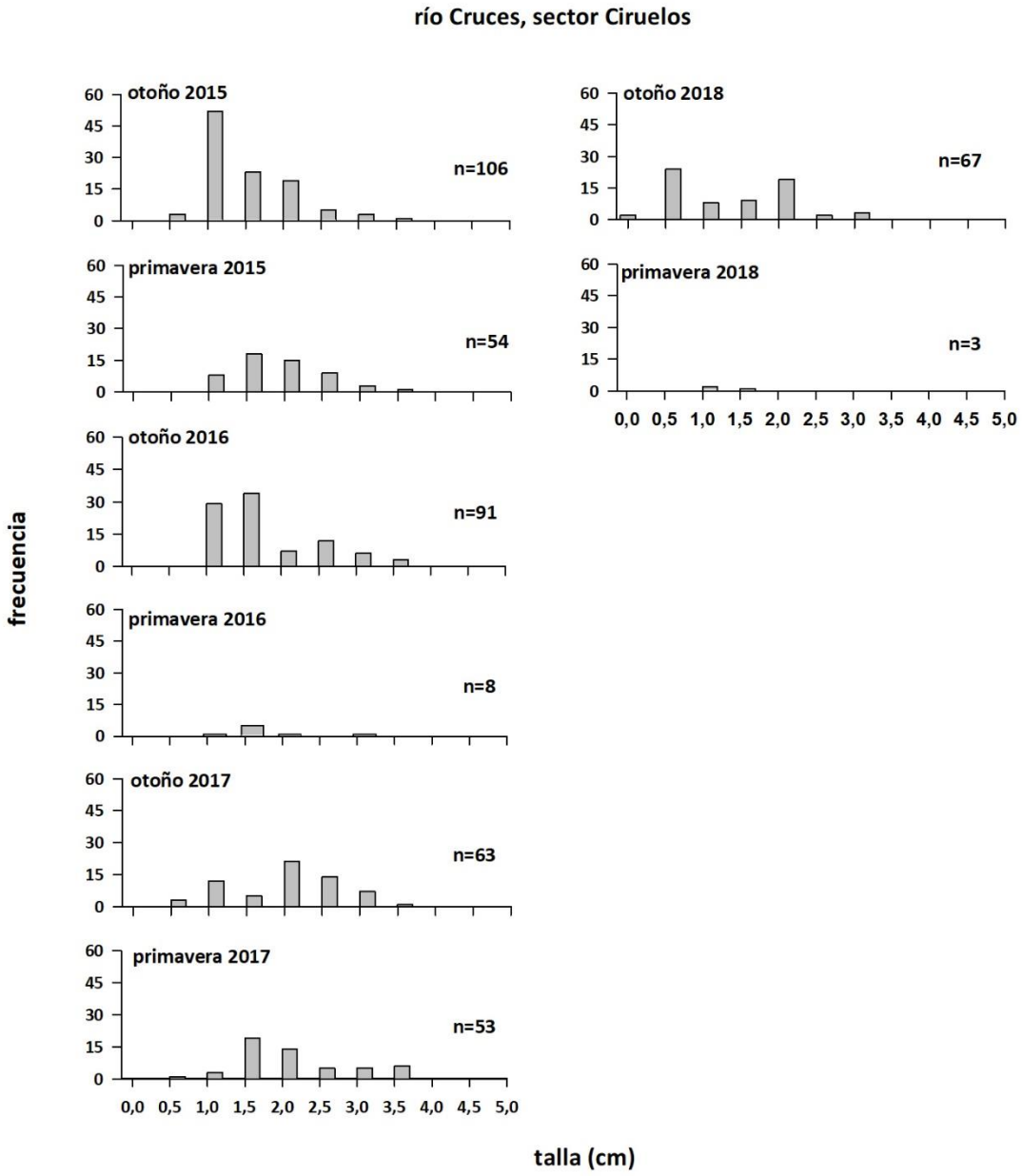


Figura 4.2.4.6. Distribución de tallas corporales de *Samastacus spinifrons* en el sector Ciruelos durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018.

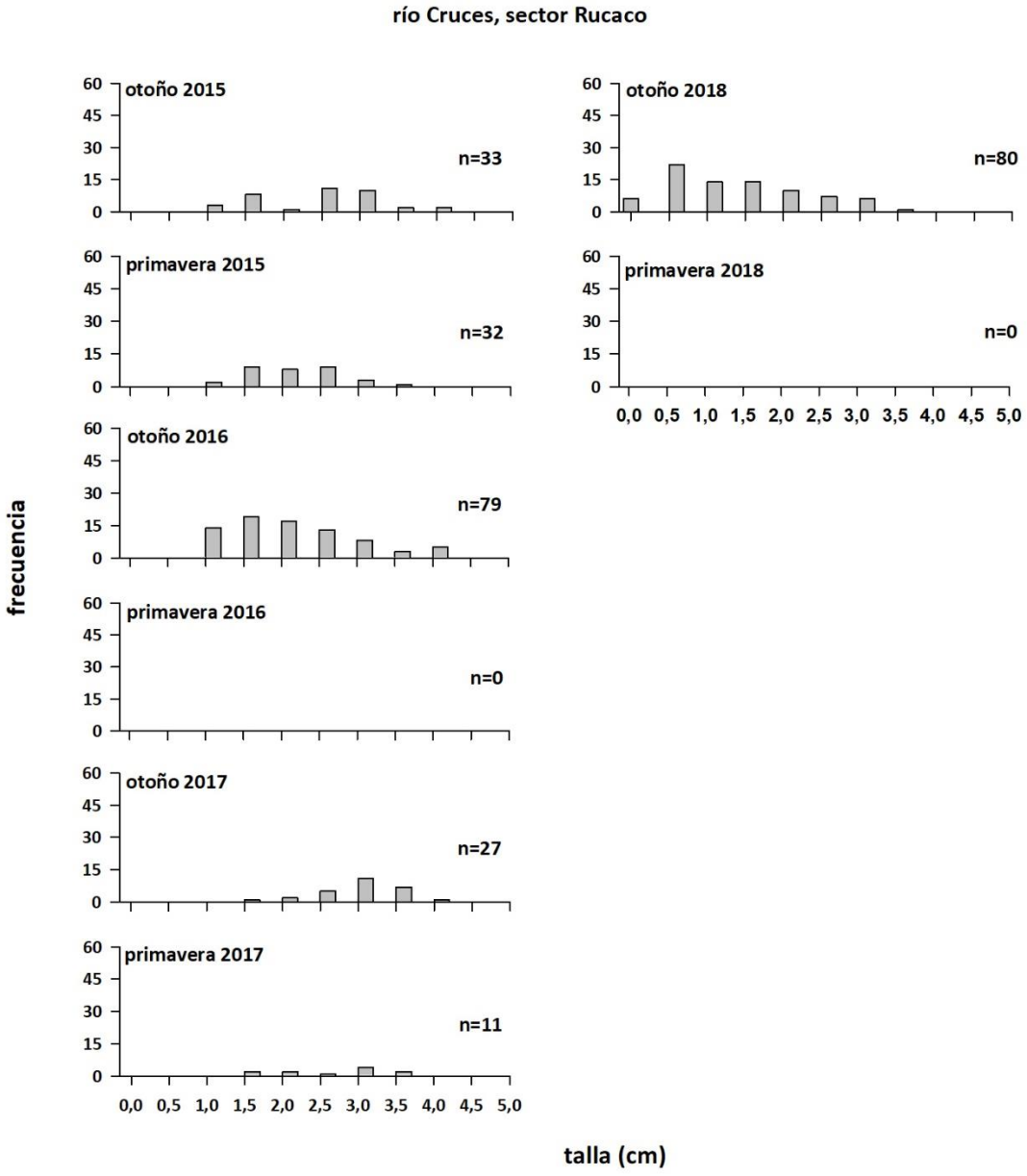


Figura 4.2.4.7. Distribución de tallas corporales de *Samastacus spinifrons* en el sector Rucaco durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018.

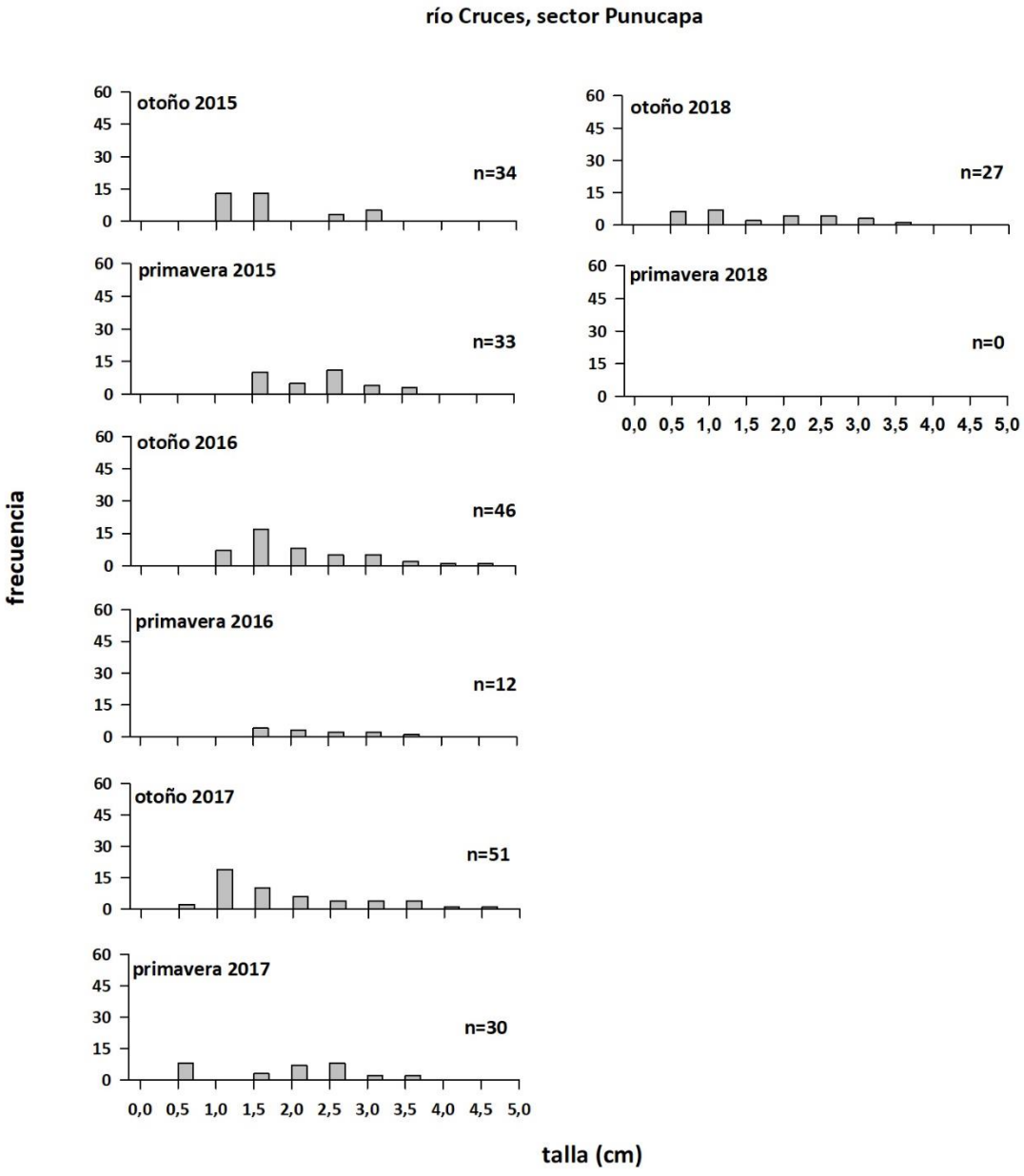


Figura 4.2.4.8. Distribución de tallas corporales de *Samastacus spinifrons* en el sector Punucapa durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018.

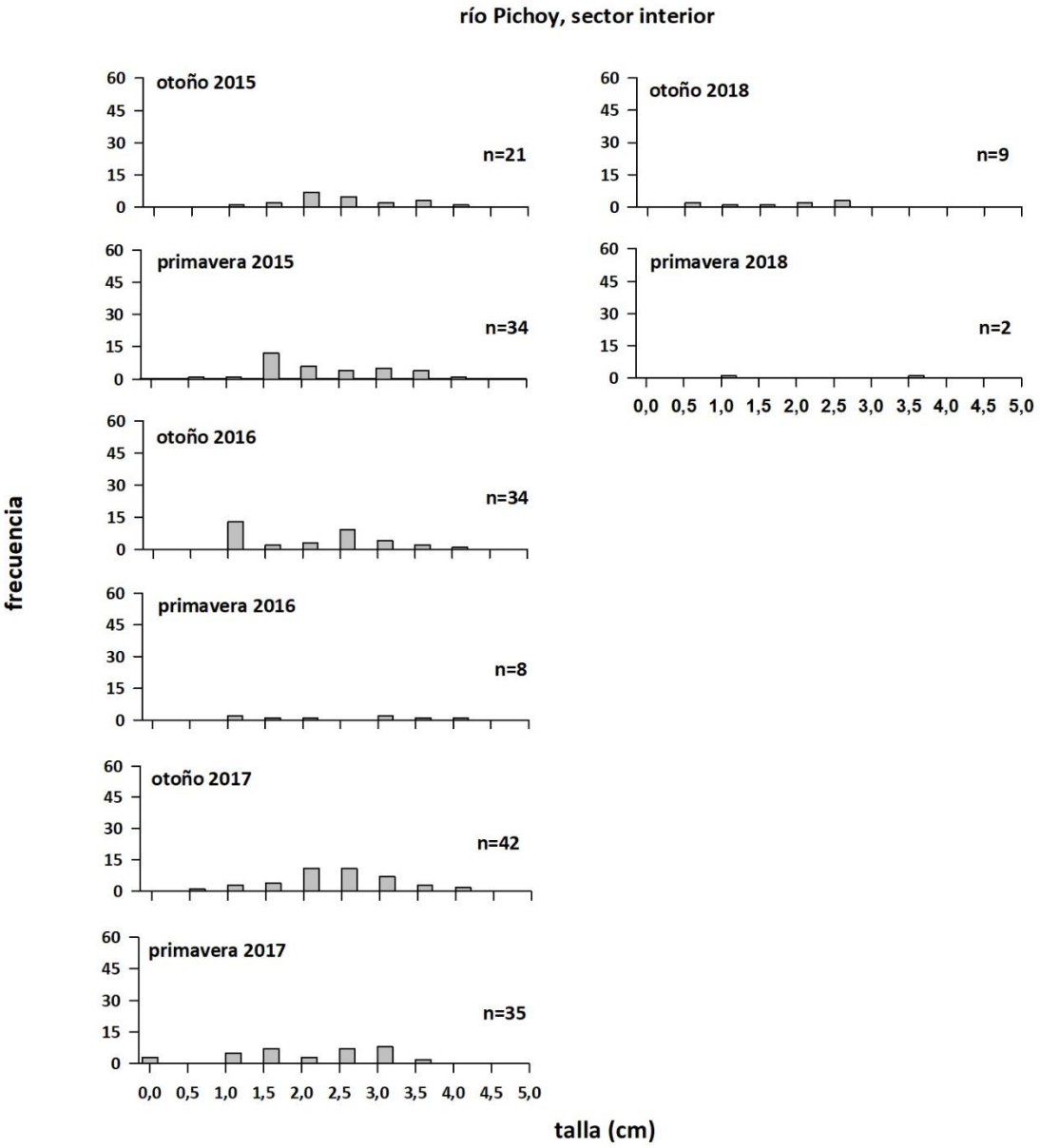


Figura 4.2.4.9. Distribución de tallas corporales de *Samastacus spinifrons* en el sector río Pichoy durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018.

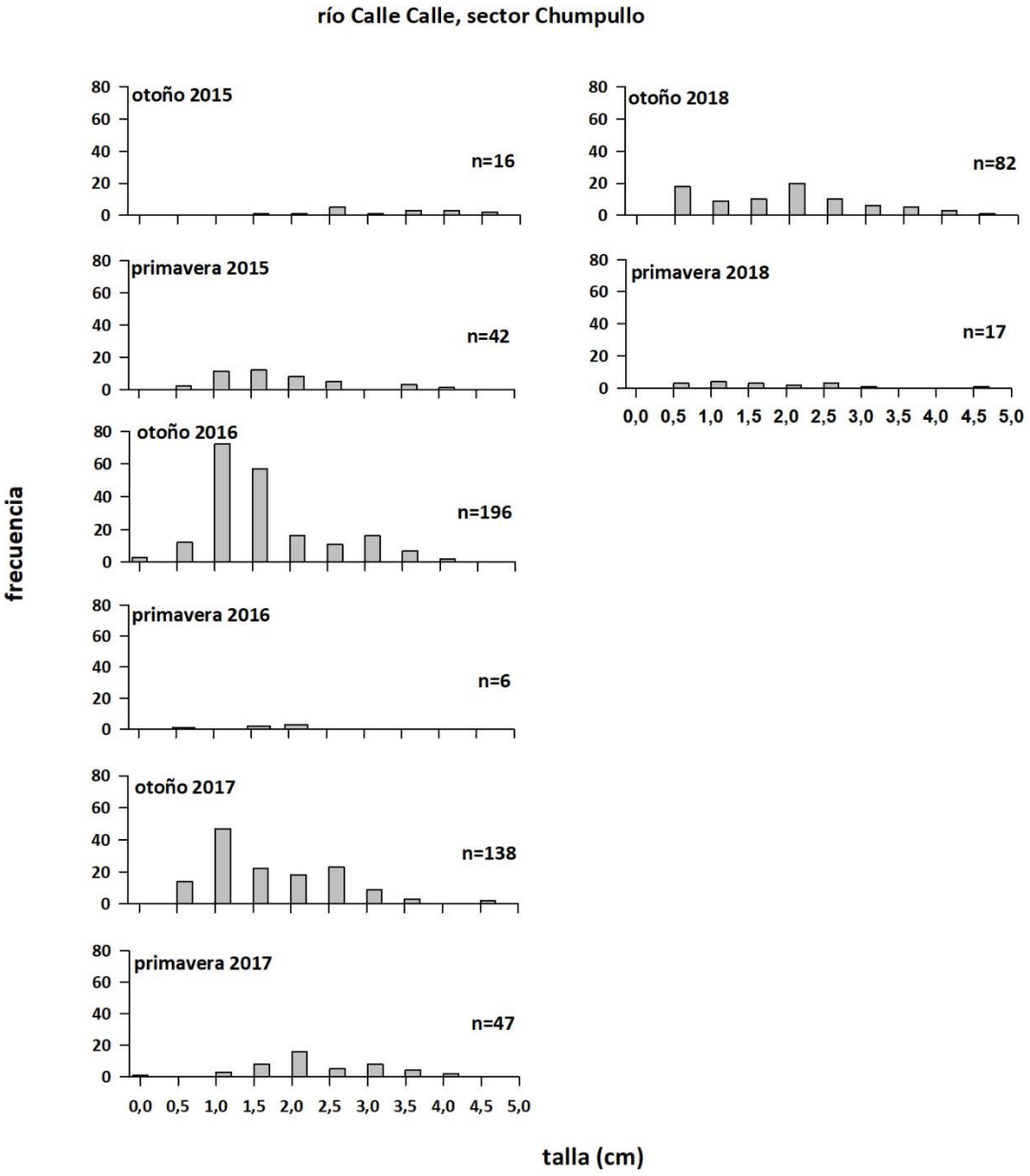


Figura 4.2.4.10. Distribución de tallas corporales de *Samastacus spinifrons* en el sector río Calle Calle durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018.

Parastacus nicoleti

Año 2014

Durante las campañas de otoño y primavera, la talla media del camarón de vega fue de 2,6 ± 0,6 cm de longitud cefalotorácica, cuyos rangos fluctuaron entre 0,8 y 4,4 cm. Los camarones capturados durante la campaña de otoño en Chancoyán, presentaron los mayores tamaños (moda = 4 cm) (Tabla 4.2.4.3).

Año 2015

Durante ambas campañas, el tamaño promedio de los camarones de vega fue de 2,3 ± 0,3 cm de longitud cefalotorácica, cuyos rangos fluctuaron entre 0,7 y 4,3 cm. Las mayores tallas fueron capturadas en Tralcao durante el año 2015 en ambas campañas (moda = 3,7) (Tabla 4.2.4.3).

Año 2016

Durante las campañas otoño y primavera, la talla promedio de los camarones de vega supero a la de años anteriores, alcanzando una talla de 3,0 ± 0,2 cm de longitud cefalotorácica, con rangos que fluctuaron entre los 0,9 y 4,4 cm. Los sectores San Luis y Chancoyán, fueron los que mostraron las tallas corporales más grandes (Tabla 4.2.4.3).

Año 2017

Durante las campañas otoño y primavera, nuevamente disminuyó la talla promedio a 2,4 ± 0,7 cm de longitud cefalotorácica, cuyos rangos fluctuaron entre los 0,5 y 4,6 cm. Al

igual que en años anteriores, los sectores San Luis y Chancoyán presentaron las tallas corporales más altas (Tabla 4.2.4.3).

Año 2018

Durante ambas campañas, otoño y primavera, no se observaron mayores diferencias con el año 2016.Los rangos corporales fluctuaron entre los 0,3 y 4,5 cm. Los sectores de San Luis y Chancoyán presentaron las mayores tallas corporales (Tabla 4.2.4.3). El sector de Santa Clara en la campaña de otoño se recolectaron el mayor número de *Parastacus nicoleti* (N=74) (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 y 2018.

estaciones	campañas	N	media	moda	rango
Eje central río del río Cruces (área estuarial)					
sector San Luis	otoño 2016	28	3,2	3,5	0,9 - 4,2
	primavera 2016	9	3,2	2,6	1,6 - 4,2
	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
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
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
río Pichoy, sector Tralcao	otoño 2014	22	2,7	3,7	0,8 - 3,9
	primavera 2014	21	1,7	1,6	1,0 - 4,3
	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
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 los años 2015, 2016, 2017 y 2018.

La proporción machos / hembras fue bastante variable a través de los años y sin mayores tendencias espaciales.

Año 2018

Durante la campaña de otoño, el mayor porcentaje se evidencia en hembras (H) en los sectores de Ciruelos y Rucaco (58,2 y 55,0 %, respectivamente) en comparación con los machos (M), a diferencia del sector Punucapa, río Pichoy y Calle Calle en donde los mayores porcentajes se evidenció en machos (70,4 - 88,9 y 51,2%, respectivamente) (Tabla 4.2.4.4).

Durante la campaña de primavera, se observa que en sector de Ciruelos las hembras (H) presentan mayor porcentaje (66,7%) que los machos (M) (Tabla 4.2.4.4). En el sector río Pichoy, se obtuvo un 50% para machos y hembras. Finalmente, en el río Calle Calle, el mayor porcentaje se presentó en machos (58.8%).

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 y 2018. M: machos, H: hembras.

estaciones	campaña	N° total	M (%)	H (%)	M/H
Eje central río del río Cruces (área límnica)					
sector Ciruelos	otoño 2015	106	57,1	42,9	1,3
	primavera 2015	54	50,0	50,0	1,0
	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
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
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
sector Punucapa	otoño 2015	34	52,9	47,1	1,1
	primavera 2015	33	45,5	54,5	0,8
	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

estaciones	campaña	N° total	M (%)	H (%)	M/H
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
sector río Pichoy	otoño 2015	21	52,4	47,6	1,1
	primavera 2015	34	41,2	58,8	0,7
	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
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

Elementos y compuestos químicos en *Samastacus spinifrons*

Metales pesados

Comparaciones en base a muestreos otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018 en los sectores Ciruelos, Rucaco y Chumpullo (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 y 2018 (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). No se detectó Arsénico en los camarones recolectados en los tres sectores de estudio, durante ninguna de las campañas hasta ahora realizadas (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, 2015, 2016, 2017 y 2018. 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)
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)
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)

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, 2015, 2016, 2017 y 2018. 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 (área límnica)				
sector Ciruelos	otoño 2014	66,5 (1,5)	95,3 (2,0)	0,03 (0,0)
	otoño 2015	73,2 (0,4)	116,4 (1,6)	*
	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)
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)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	128,8 (7,9)	115,0 (3,3)	0,20 (0,0)
	otoño 2015	180,5 (0,9)	133,1 (1,5)	0,25 (0,0)
	otoño 2016	107,6 (4,1)	99,5 (3,5)	0,10 (0,0)
	otoño 2017	122,4 (10,6)	101,9 (13,1)	0,26 (0,0)
	otoño 2018	166,7 (10,1)	119,8 (5,9)	0,34 (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 y 2018. 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 (área límnica)				
sector Ciruelos	otoño 2014	0,208 (0,0)	*	0,080 (0,0)
	otoño 2015	*	*	0,107 (0,0)
	otoño 2016	*	*	0,088 (0,0)
	otoño 2017	*	*	0,093 (0,0)
	otoño 2018	*	*	0,120 (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)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	0,367 (0,0)	*	0,190 (0,0)
	otoño 2015	0,353 (0,0)	*	0,165 (0,0)
	otoño 2016	*	*	0,132 (0,0)
	otoño 2017	*	*	0,096 (0,0)
	otoño 2018	*	*	0,150 (0,0)

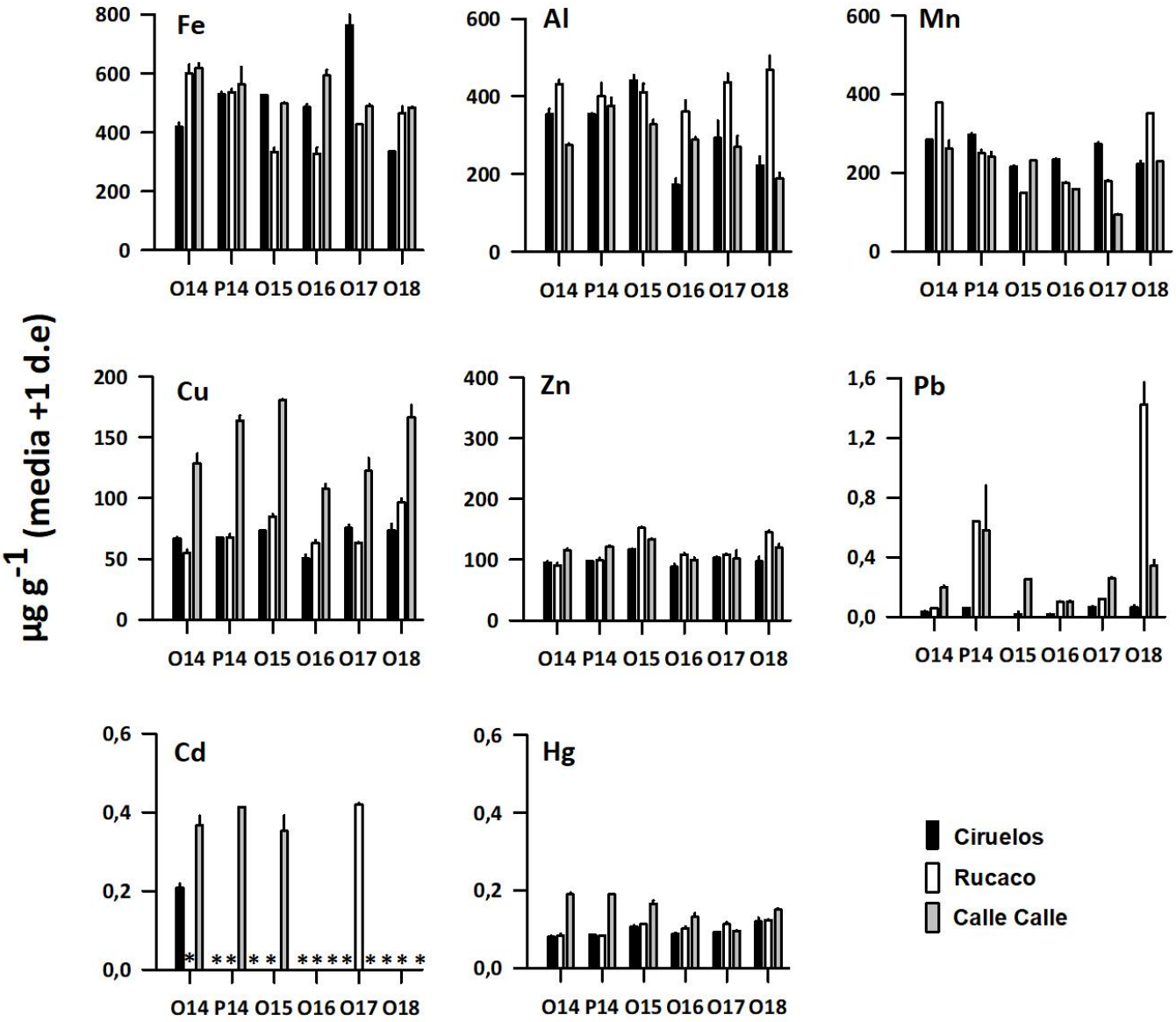


Figura 4.2.4.11. Concentración de metales pesados en especímenes de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores son promedios con una desviación estándar. * = No detectado, *i.e*., bajo el 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 en la mayoría de las muestras este metal no fue 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 en los años 2014 y 2017 en comparación con los demás sectores estudiados durante los años 2015, 2016 y 2018 (Tabla 4.2.4.8). Por otra parte, las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en camarones recolectados en Calle Calle y Ciruelos que en los 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 2016 (Tabla 4.2.4.8). Las concentraciones de este metal detectadas en camarones de Rucaco, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las detectadas en los camarones de Ciruelos y Calle Calle (Tabla 4.2.4.8).

Las concentraciones de Manganeso, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en camarones analizados durante el año 2014 que, en camarones estudiados durante los años 2018, 2015, 2017 y 2016 (Tabla 4.2.4.8). Por otra parte, este metal en el sector de Rucaco presentó concentraciones significativamente más altas ($p<0,05$) en relación a los camarones recolectados en Calle Calle y no presentando diferencias significativas ($p>0,05$) comparándolos con el sector de Ciruelos (Tabla 4.2.4.8).

Las concentraciones de Cobre, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en camarones analizados durante los años 2015 y 2018, que, en camarones recolectados durante los años 2014, 2016 y 2017 (Tabla 4.2.4.8). Las concentraciones de este metal

fueron significativamente más altas (p<0,05) en camarones recolectados en Calle Calle que en los *Samastacus spinifrons*, capturados en Ciruelos y Rucaco. Estos últimos sectores no presentaron diferencias significativas (p>0,05) entre si (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 el año 2015, que en camarones recolectados durante los otros años de muestreo (Tabla 4.2.4.8). En relación a las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas (p<0,05) en camarones recolectados en los sectores de Rucaco y Calle Calle que en los camarones capturados en Ciruelos (Tabla 4.2.4.8).

Las concentraciones de Plomo, fueron significativamente más altas (p<0,05) durante el año 2018 en comparación con los demás años de estudio. Las concentraciones de Pb, fueron significativamente más altas (p<0,05) en el sector de Rucaco versus los sectores de Ciruelos y Calle Calle (Tabla 4.2.4.8).

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 de muestreo 2014, 2016 y 2017 (Tabla 4.2.4.8). Las concentraciones de este metal, fueron significativamente más altas (p<0,05) en los camarones recolectados en el río Calle Calle, sector Chumpullo que en los sitios de Ciruelos y Rucaco (Tabla 4.2.4.8).

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 y 2018) 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)	4	81936,9	20484,2	61,2	**<0,001**	2017 = 2014 > 2016 >2018 = 2015
	Sector (S)	2	59425,3	29712,7	88,8	**<0,001**	CC > Ci > Ru
	A × S	8	259741,1	32467,6	97,1	**<0,001**	
	Error	15	5017,4	334,5			
	Total	29	406120,7	14004,2			
Al (**)	Año (A)	4	54571,9	13643,0	27,0	**<0,001**	2015 = 2014 = 2017 >2018 = 2016
	Sector (S)	2	131303,5	65651,8	129,8	**<0,001**	Ru > Ci > CC
	A × S	8	69263,8	8658,0	17,1	**<0,001**	
	Error	15	7587,4	505,8			
	Total	29	262726,5	9059,5			
Mn (***)	Año (A)	4	74414,7	18603,7	514,8	**<0,001**	2014 >2018 >2015 >2017=2016
	Sector (S)	2	17615,0	8807,5	243,7	**<0,001**	Ru= Ci > CC
	A × S	8	64961,7	8120,2	224,7	**<0,001**	
	Error	15	542,1	36,1			
	Total	29	157533,4	5432,2			
Cu (*)(**)	Año (A)	4	0,149	0,0373	88,72	**<0,001**	2018 = 2015 > 2017=2014 > 2016
	Sector (S)	2	0,614	0,3070	729,96	**<0,001**	CC > Ru = Ci
	A × S	8	0,048	0,0060	14,23	**<0,001**	
	Error	15	0,006	0,0004			
	Total	29	0,818	0,0282			
Zn (*)(**)	Año (A)	4	0,0760	0,0190	43,22	**<0,001**	2015 > 2018 >2017 = 2014 = 2016
	Sector (S)	2	0,0311	0,0155	35,32	**<0,001**	Ru = CC > Ci
	A × S	8	0,0338	0,0042	9,61	**<0,001**	
	Error	15	0,0066	0,0004			
	Total	29	0,1480	0,0051			
Pb (***)	Año (A)	4	1,2570	0,3140	186,89	**<0,001**	2018 >2017 = 2014 = 2015 =2016
	Sector (S)	2	0,4750	0,2380	141,34	**<0,001**	Ru > CC > Ci
	A × S	8	1,7280	0,2160	128,49	**<0,001**	
	Error	15	0,0252	0,0017			

	Total	29	3,4850	0,1200			

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Hg (**)	Año (A)	4	0,0041	0,0010	37,76	**<0,001**	2018 =2015 > 2014 > 2016 = 2017
	Sector (S)	2	0,0133	0,0067	247,11	**<0,001**	CC > Ru > Ci
	A × S	8	0,0098	0,0012	45,24	**<0,001**	
	Error	15	0,0004	0,0000			
	Total	29	0,0276	0,0010			

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 y 2017 en los sectores Ciruelos, Rucaco y Chumpullo (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 Y 2018 (Programa de Monitoreo Ambiental del HRC). No se detectaron concentraciones de Ácidos resínicos en los camarones recolectados en todos los sectores y fechas de muestreo (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 Y 2018. 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 (área límnica)				
sector Ciruelos	otoño 2014	1393,3 (171,1)	*	170,1 (16,8)
	otoño 2015	2140,9 (150,6)	*	139,0 (21,7)
	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)
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)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	1035,8 (67,2)	*	234,0 (23,7)
	otoño 2015	2220,5 (74,8)	*	123,6 (10,5)
	otoño 2016	1398,6 (190,5)	*	215,8 (1,2)
	otoño 2017	1359,9 (60,2)	*	142,4 (12,1)
	otoño 2018	692,2 (64,3)	*	168,2 (21,9)

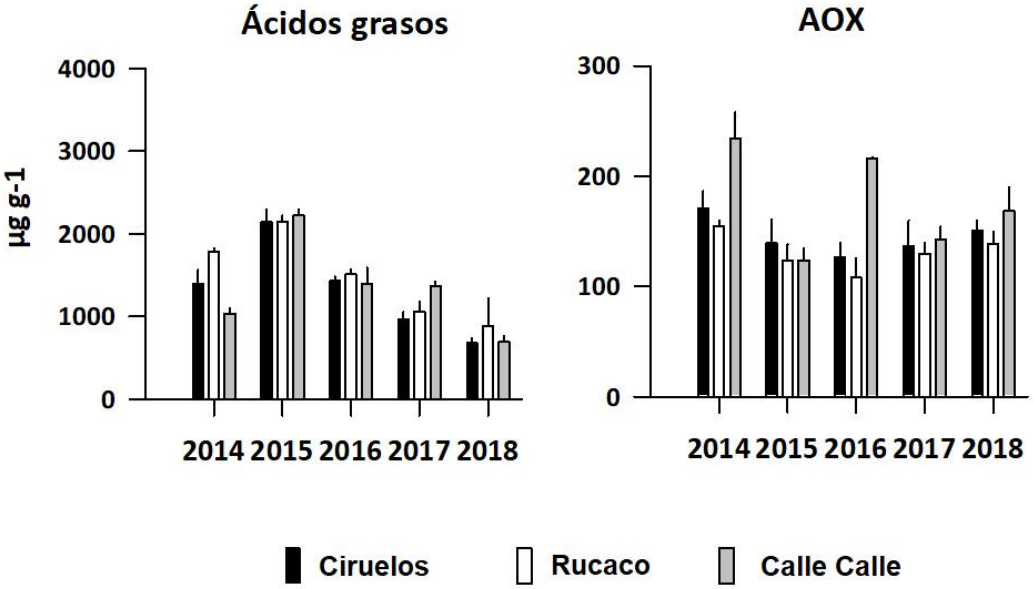


Figura 4.2.4.13. Concentración de Ácidos grasos y compuestos halogenados adsorbibles (AOX) en especímenes de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores son promedios con una desviación estándar.

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 y más bajas ($p<0,05$) durante los años 2015 y 2018, respectivamente (Tabla 4.2.4.14). Los análisis detectaron una diferencia significativamente más alta ($p<0,05$) en el sector de Rucaco en comparación con el sector de Ciruelos y este último sector, no presentó diferencias significativas ($p>0,05$) versus el sector de Calle Calle (Tabla 4.2.4.14 y Fig. 4.2.4.13).

Los resultados de los análisis en relación a las concentraciones de AOX, muestran que estas fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2014 en comparación con aquellas de los años 2015, 2016, 2017 y 2018, por lo que estos cuatros años anteriormente mencionados, no difirieron significativamente entre sí ($p>0,05$) (Tabla 4.2.4.14 y Fig. 4.2.4.13). Se determinó que las concentraciones de AOX en *Samastacus spinifrons* del río Calle Calle fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las de los camarones recolectados en los sectores de Ciruelos y Rucaco, cuyas concentraciones de estos últimos sitios no difirieron significativamente entre sí ($p>0,05$) similitud encontrada en los análisis efectuados en el año 2017 (Tabla 4.2.4.14).

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 y 2018) 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)	4	6550589,4	1637647,3	92,869	**<0,001**	2015 >2016 =2014 >2017>2018
	Sector (S)	2	142001,9	71001,0	4,026	0,04	Ru > Ci = CC
	A x S	8	663841,9	82980,2	4,706	0,005	
	Error	15	264510,1	17634,0			
	Total	29	7620943,4	262791,2			
AOX (**)	Año (A)	4	11787,8	2946,9	12,298	**<0,001**	2014 >2018 =2016 =2017=2015
	Sector (S)	2	11173,2	5586,6	23,314	**<0,001**	CC > Ci = Ru
	A x S	8	10597,5	1324,7	5,528	0,002	
	Error	15	3594,4	239,6			
	Total	29	37152,9	1281,1			

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 y 2018 en los sectores Ciruelos, Rucaco y Chumpullo (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 y 2018.

En el año 2018 comparado con el año 2017, se observa que las Dioxinas y los Furanos en los sectores de Ciruelos y Rucaco aumentaron en pequeña proporción al igual que los EQTs en los sectores de Ciruelos y Calle Calle.

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 y 2018. 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)
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)
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)

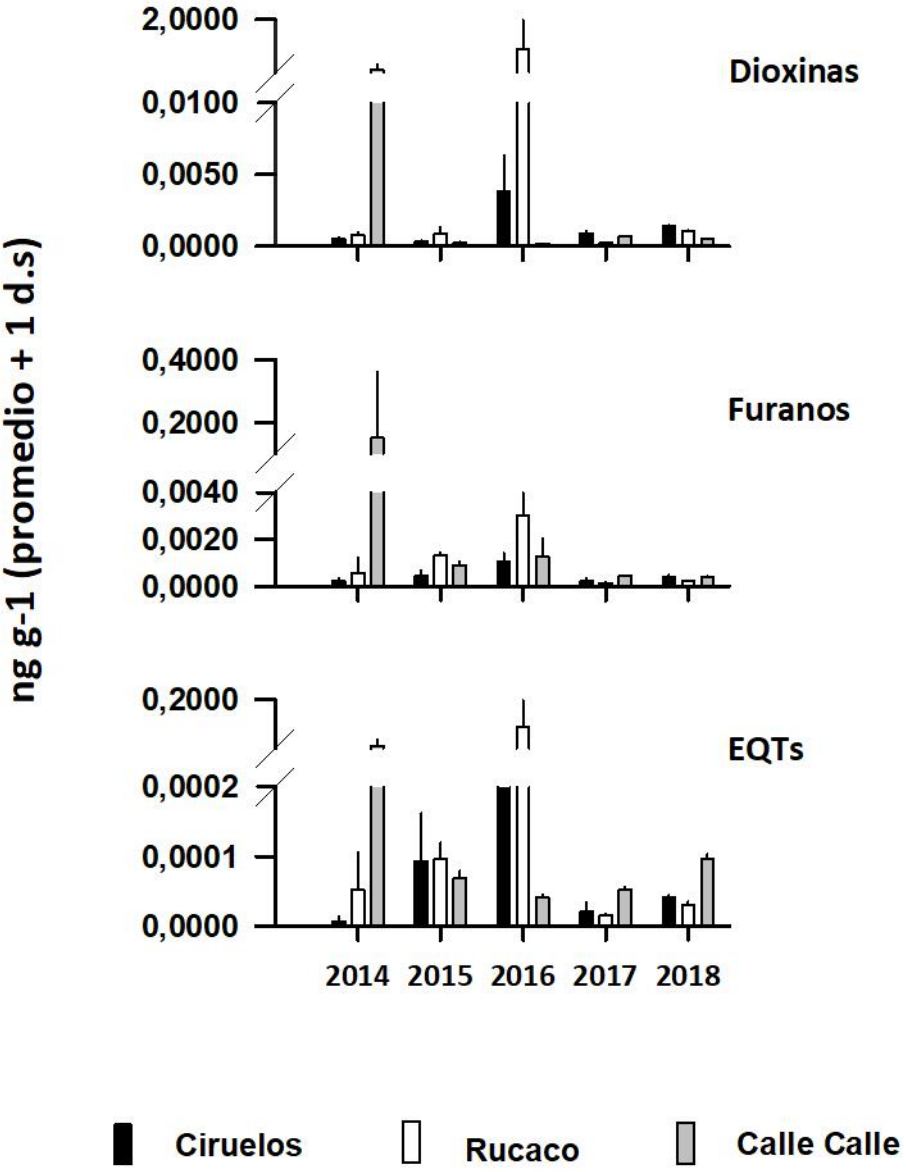


Figura 4.2.4.15. Concentración de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos (ETQs) en especímnes de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores son promedios con una desviación estándar.

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 y 2018) 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)	4	0,4150	0,1040	0,9240	0,476
	Sector (S)	2	0,1870	0,0936	0,8350	0,453
	A × S	8	0,9300	0,1160	1,0370	0,452
	Error	15	1,6820	0,1120		
	Total	29	3,2130	0,1110		
Furanos (***)	Año (A)	4	0,0118	0,0029	0,9820	0,447
	Sector (S)	2	0,0060	0,0030	0,9940	0,393
	A × S	8	0,0240	0,0030	1,0000	0,474
	Error	15	0,0449	0,0030		
	Total	29	0,0866	0,0030		
EQTs (***)	Año (A)	4	0,0041	0,0010	0,9050	0,486
	Sector (S)	2	0,0018	0,0009	0,7970	0,469
	A x S	8	0,0095	0,0012	1,0470	0,446
	Error	15	0,0170	0,0011		
	Total	29	0,0324	0,0011		

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 y 2018 en los sectores Ciruelos, Rucaco y Chumpullo (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 el año 2018 se observa la primera concentración de 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 y 2018. 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	*	*
sector Rucaco	otoño 2014	*	*
	otoño 2015	*	*
	otoño 2016	0,00005 (0,0)	0,00010 (0,0)
	otoño 2017	*	*
	otoño 2018	*	*
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)	*

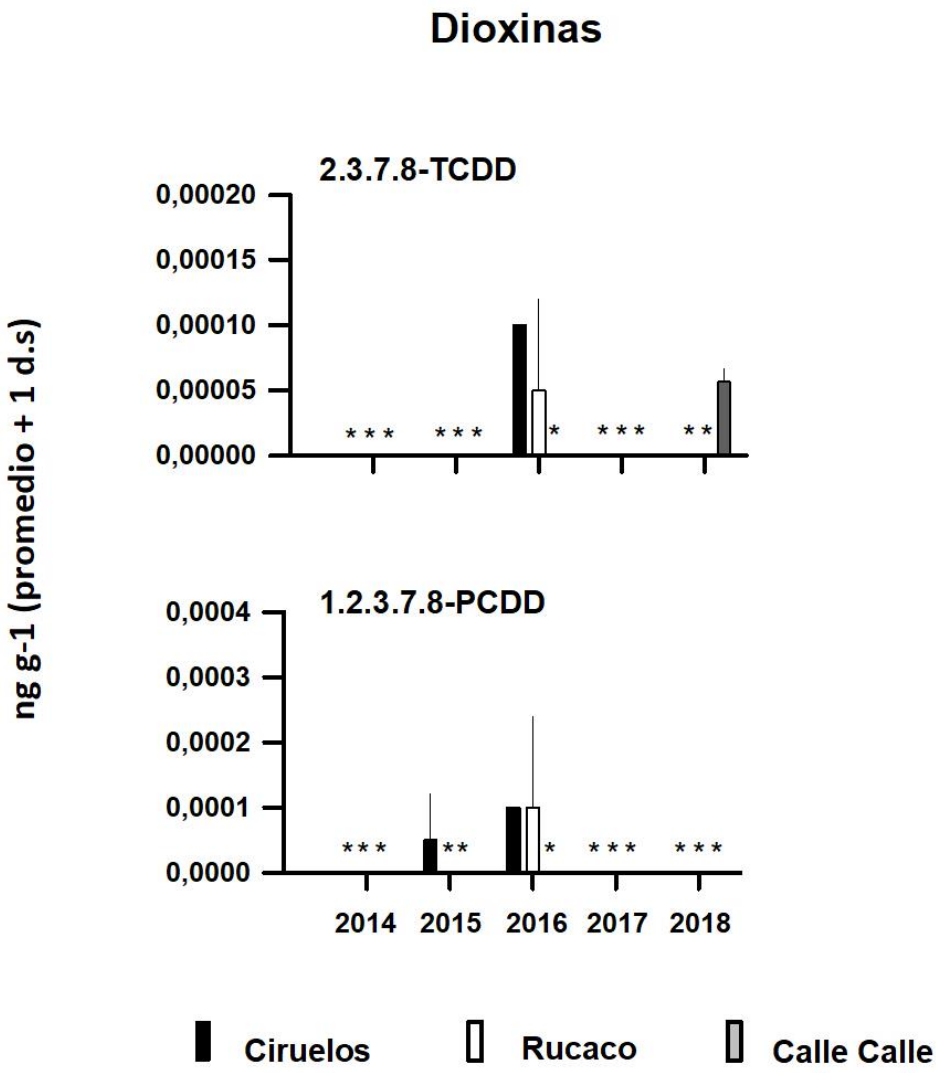


Figura 4.2.4.17. Concentración de Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PCDD en especímenes de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores son promedios con una desviación estándar. ***** = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

4.2.4.5. Conclusiones

- La comparación de los datos interanuales (2014-2018), muestran que la abundancia de *Samastacus spinifrons* ha disminuido en los sectores de Rucaco y Pichoy, tendencia probablemente debido a modificaciones de las riberas para construcción de caminos. El sector de río Calle Calle muestra abundancias variables, tanto entre campañas (otoño y primavera) del año 2018 y en comparación con las mismas del año anterior.
- La abundancia de *Parastacus nicoleti*, no muestra mayor variabilidad interanual (2015-2018) 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.
- Los metales pesados más abundantes detectados 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 el año 2014 en comparación con los demás años estudiados. Los años 2015, 2016, 2017 y 2018, no difirieron significativamente entre sí ($p>0,05$). Respecto a los sectores los camarones del río Calle Calle, las concentraciones de AOX fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que los recolectados en los sectores de Ciruelos y Rucaco.

- 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 y 2018 ni entre los sectores de 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 se observó la primera concentración de 2.3.7.8-TCDD en el río Calle Calle.

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 2018; este Informe corresponde al cuarto año del Programa de Monitoreo Ambiental HRC (abril 2018 - marzo 2019). Esta información se comparó con los resultados de estudios realizados durante el primer, segundo y tercer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2015 - marzo 2016, abril 2016 - marzo 2017 y abril 2017- marzo 2018, 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, 2016, 2017 y 2018), 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 2018, a la vez que durante noviembre y diciembre del mismo año se reaqlizó la campaña de primavera. Durante el otoño se muestreó para estudiar la ictiofauna presente en sectores ribereños de los siguientes 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 la primavera 2018, no se logró obtener muestras en los sectores de Punucapa y río Cayumapu debido a diversas dificultades del equipo de pesca eléctrica. Este es un equipo EFKO-Elektrofischfanggeräte GMBH, Typ FEG 1500 el que se utilizó 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).

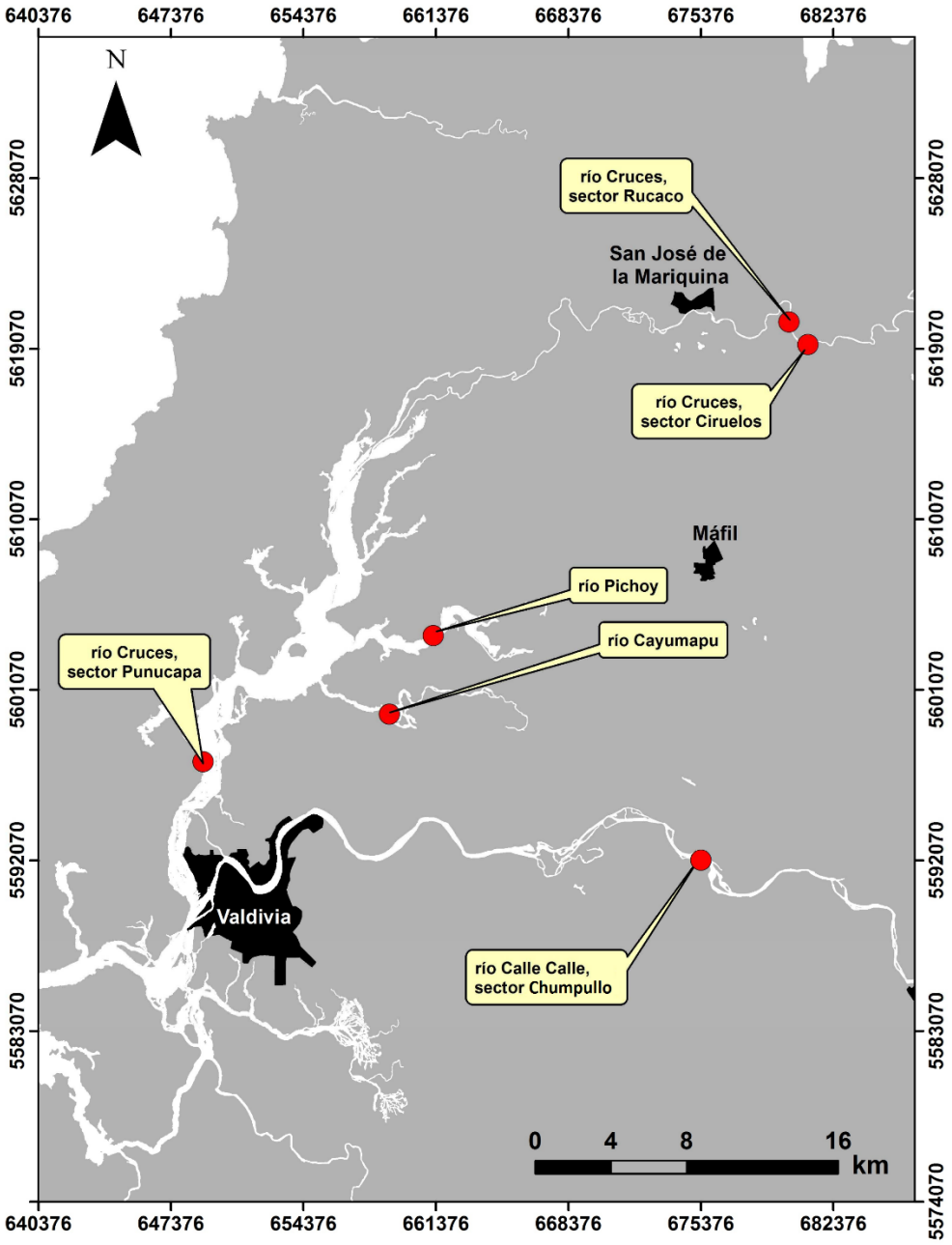


Figura 4.2.5.1. Ubicación de los sitios de muestreo seleccionados para los estudios de la ictiofauna ribereña del área de estudio.

Abundancias e índices comunitarios de la ictiofauna

Los datos de abundancia de las secciones estudiadas en las riberas de los sitios de estudio, fueron promediados para los 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).

Los datos de abundancia de los peces recolectados se utilizaron para 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 midieron especímenes de la especie numéricamente dominante *Galaxias maculatus*, en los muestreos realizados con pesca eléctrica en las riberas de los sitios de

estudio anteriormente mencionados. Se midió la longitud total (distancia entre el extremo del hocico y el extremo distal de la aleta caudal) ver Fig. 4.2.5.2.

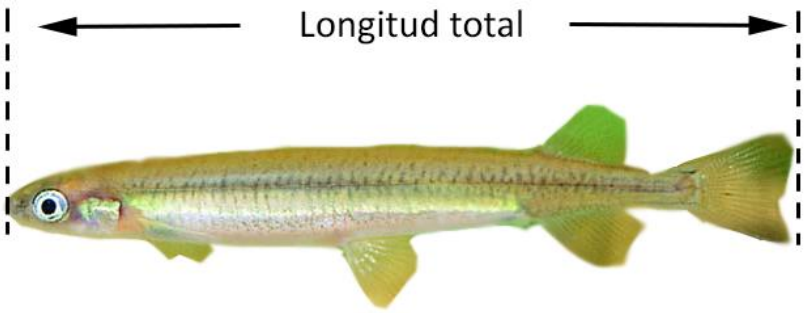


Figura 4.2.5.2. Mediciones de longitud realizadas en los especímenes de peces recolectados en este estudio. Estas se indican sobre el esquema del Puye (*Galaxias maculatus*).

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, durante las campañas de otoño (7, 10, 10, 9 y 8 especies durante los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018, respectivamente) y primavera de cada año (5, 7, 8, 10 y 7 especies durante los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018, respectivamente) realizadas durante 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).

La Tabla 4.2.5.1 muestra también que, durante los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018, la fauna de peces de las riberas del área de estudio ha estado primariamente representada por especies nativas (*ca*. 63-80 % de las abundancias totales estimadas para el período de estudio).

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 de los años 2014 (O14 y P14, respectivamente), 2015 (O15 y P15, respectivamente), 2016 (O16 y P16, respectivamente), 2017 (O17 y P17, respectivamente) y 2018 (O18 y P18). X = presencia.

nombre científico	**nombre común**	**origen**	**campañas**									
			O14	**P14**	**O15**	**P15**	**O16**	**P16**	**O17**	**P17**	**O18**	**P18**
Galaxias maculatus (Jenyns, 1842)	Puye, Puye chico	**N**	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
Percichthys trucha (Valenciennes, 1833)	Perca trucha	**N**		X	X		X	X	X	X		X
Percilia gillissi (Girard, 1855)	Carmelita, Carmelia común, Coloradita	**N**		X	X	X	X	X	X	X	X	
Cheirodon sp.	Pocha, Pocha del sur	**N**	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
Trichomycterus areolatus (Valenciennes, 1833)	Bagre de agua dulce	**N**	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Oncorhynchus mykiss (Walbaum, 1792)	Trucha arcoíris	**I**	X		X		X			X	X	X
Basilichthys australis (Eigenmann, 1928)	Pejerrey, Pejerrey Chileno	**N**	X		X		X		X	X		
Tinca sp	Tenca	**I**			X							
Salmo trutta	Trucha café	**I**				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 las 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, 2015, 2016, 2017 y 2018. Se muestra también 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 (Fig. 4.2.5.3).

Año 2014

Durante la campaña de otoño del año 2014, los valores promedios más altos de abundancia total de la ictiofauna, se presentó en los ríos tributarios del HRC, Pichoy y Cayumapu (promedios = 31,0 y 44,3, respectivamente), mientras que los más bajos se detectaron en el sector Rucaco y río Calle Calle (promedios = 18,0 y 7,0, respectivamente) (Tabla 4.2.5.2 y Fig. 4.2.5.3).

En la campaña primaveral del año 2014, las mayores abundancias se observaron en el sector Ciruelos y río Calle Calle (promedios= 71,0 y 22,0, respectivamente), a la vez que, las menores se encontraron en los sectores Rucaco, ríos Pichoy y Cayumapu (promedios = 10,0; 10,0 y 4,3, respectivamente) (Tabla 4.2.5.2 y Fig. 4.2.5.3).

Año 2015

Durante la campaña de otoño del año 2015, los valores promedios más altos de abundancia total de la ictiofauna, se evidenció en el sector Ciruelos y río Pichoy (promedios = 55,5 y 28,3, respectivamente), mientras que los más bajos se detectaron en el sector

Punucapa y río Cayumapu (promedios= 4,0 y 9,3, respectivamente) (Tabla 4.2.5.2 y Fig. 4.2.5.3).

En la campaña primaveral del año 2015, las mayores abundancias se detectaron en las riberas del río Cruces en los sectores Ciruelos y Rucaco (promedios= 28,3 y 28,0, respectivamente), a la vez que, las menores se observaron en el sector Punucapa y río Calle Calle (sector Chumpullo) (promedios = 8,5 y 8,3, respectivamente) (Tabla 4.2.5.2 y Fig. 4.2.5.3).

Año 2016

Durante la campaña de otoño del año 2016, los valores promedios más altos de abundancia total de la ictiofauna, se presentó en las riberas del río Cruces en los sectores Ciruelos y Rucaco (promedio = 75,8 y 45,5, respectivamente), mientras que los valores más bajos se detectaron en el sector Punucapa y río Calle Calle (promedios=13,5 y 19,0, respectivamente) (Tabla 4.2.5.2 y Fig. 4.2.5.3).

En la campaña primaveral del año 2016, las mayores abundancias se mostraron en los sectores Ciruelos y Punucapa (promedios= 29,8 y 35,3, respectivamente), a la vez que, las menores se detectaron en los ríos Pichoy y Calle Calle (promedios= 13,8 y 15,8, respectivamente) (Tabla 4.2.5.2 y Fig. 4.2.5.3).

Año 2017

Durante la campaña de otoño del año 2017, los valores promedios más altos de abundancia total de la ictiofauna, se presentó en los ríos tributarios del humedal Pichoy y Cayumapu (promedios = 43,5 y 53,3, respectivamente), mientras que los más bajos se detectaron en el sector Punucapa y río Calle Calle (promedios=3,3 y 3,3, respectivamente) (Tabla 4.2.5.2 y Fig. 4.2.5.3).

En la campaña primaveral del año 2017, las mayores abundancias se encontraron en el sector Rucaco y río Cayumapu (promedios=21,5 y 19,8, respectivamente), y las menores abundancias se observaron en el sector Punucapa y río Calle Calle (promedios=11,8 y 6,5, respectivamente) (Tabla 4.2.5.2 y Fig. 4.2.5.3)**.**

Año 2018

Durante la campaña de otoño del año 2018, los valores promedios más altos de abundancia total de la ictiofauna, se presentaron en los sectores Ciruelos y Rucaco (promedios =67,0 y 77,8, respectivamente), mientras que los más bajos se detectaron en los ríos Pichoy y Calle Calle (promedios=22,3 y 13,0, respectivamente) (Tabla 4.2.5.2 y Fig. 4.2.5.3).

En la campaña primaveral del año 2018, las mayores abundancias se encontraron en las riberas del río Cruces en los sectores Ciruelos y Rucaco (promedios= 29,3 y 33,3, respectivamente), a la vez que las abundancias más bajas se observaron en los ríos Pichoy y Calle Calle (promedios =18,8 y 2,5, respectivamente) (Tabla 4.2.5.2 y Fig. 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, 2015, 2016, 2017 y 2018.

Año 2014

Durante la campaña de otoño del año 2014, los valores más altos de la abundancia de *Galaxias maculatus*, se presentaron en los sectores de Rucaco y Punucapa (promedios = 14,3 y 20,7, respectivamente), mientras que los más bajos se detectaron en el sector Ciruelos y río Calle Calle (promedios =9,7 y 4,7, respectivamente) (Tabla 4.2.5.2 y Fig. 4.2.5.4).

Durante la campaña de primavera del año 2014, las mayores abundancias se observaron en el sector Ciruelos y río Calle Calle (promedios= 61,3 y 22,0, respectivamente), a la vez que las menores abundancias se observaron en el sector Rucaco y río Cayumapu (promedios = 9,0 y 1,7, respectivamente) (Tabla 4.2.5.2 y Fig. 4.2.5.4).

Año 2015

Durante la campaña de otoño del año 2015, los valores más altos de la abundancia de *Galaxias maculatus*, se presentaron en los sectores de Ciruelos y Rucaco (promedios = 48,5 y 17,3, respectivamente), mientras que los valores más bajos se observaron en el sector Punucapa y río Cayumapu (promedios =3,0 y 1,8, respectivamente) (Tabla 4.2.5.2 y Fig. 4.2.5.4).

Durante la campaña de primavera del año 2015, las mayores abundancias se registraron en los sectores Ciruelos y Rucaco (promedios= 22,0 y 19,3, respectivamente), a

la vez que las menores abundancias se observaron en el sector Punucapa y río Pichoy (promedios = 4,8 y 2,5, respectivamente) (Tabla 4.2.5.2 y Fig. 4.2.5.4).

Año 2016

Durante la campaña de otoño del año 2016, los valores más altos de la abundancia de *Galaxias maculatus*, se presentaron en los sectores Ciruelos y Rucaco (promedios = 63,8 y 32,5, respectivamente), mientras que los más bajos se registraron en el sector Punucapa y río Pichoy (promedios =5,5 y 3,5 respectivamente) (Tabla 4.2.5.2 y Fig. 4.2.5.4).

Durante la campaña de primavera del año 2016, las mayores abundancias se observaron en los sectores Ciruelos y Rucaco (promedios= 21,3 y 16,5, respectivamente), a la vez que las menores abundancias se observaron en los ríos Pichoy, Cayumapu, Calle Calle y (promedios = 0,0; 4,5 y 9,5, respectivamente) (Tabla 4.2.5.2 y Fig. 4.2.5.4).

Año 2017

Durante la campaña de otoño del año 2017, los valores más altos de las abundancias de *Galaxias maculatus*, se presentaron en las riberas de los sectores Ciruelos y Rucaco (promedios = 30,3 y 16,0, respectivamente), y los valores más bajos en el sector Punucapa y río Cayumapu (promedios =0,5 y 0,3, respectivamente) (Tabla 4.2.5.2 y Fig. 4.2.5.4).

Durante la campaña de primavera del año 2017, las mayores abundancias se evidenciaron en el sector Rucaco y río Cayumapu (promedios= 13,3 y 15,0, respectivamente), a la vez que las menores abundancias se observaron en los ríos Pichoy y Calle Calle (promedios = 4,0 y 2,8, respectivamente) (Tabla 4.2.5.2 y Fig. 4.2.5.4).

Año 2018

Durante la campaña de otoño del año 2018, las abundancias más altas de *Galaxias maculatus*, se presentaron en las riberas de los sectores Ciruelos y Rucaco (promedios = 55,3 y 62,3, respectivamente), y los valores más bajos en los ríos Pichoy y Calle Calle (promedios =4,0 y 10,0, respectivamente) (Tabla 4.2.5.2 y Fig. 4.2.5.4).

Durante la campaña de primavera del año 2018, las mayores abundancias se estimaron en los sectores de Ciruelos y Rucaco (promedios= 14,5 y 16,5, respectivamente), a la vez que las menores abundancias se observaron en los ríos Pichoy y Calle Calle (promedios = 7,5 y 0,0, respectivamente) (Tabla 4.2.5.2 y Fig. 4.2.5.4).

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 la 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 (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 de otoño y primavera de los años 2014, 2015 2016, 2017 y 2018. 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 (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	22,3 (12,7)	9,7 (4,9)	7,7 (0,6)
	primavera 2014	71,0 (56,2)	61,3 (50,5)	0,0 (0,0)
	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)
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)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Punucapa	otoño 2014	21,7 (2,5)	20,7 (2,3)	0,3 (0,6)
	primavera 2014	21,7 (6,4)	17,0 (10,5)	2,0 (3,5)
	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

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)
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
Fuera del humedal del río y sus ríos tributarios	otoño 2014	7,0 (7,9)	4,7 (4,7)	0,3 (0,6)
río Calle Calle, sector Chumpuyo	primavera 2014	22,0 (9,2)	22,0 (6,1)	0,0 (0,0)
	otoño 2015	17,0 (9,8)	12,5 (7,6)	2,0 (3,4)
	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)

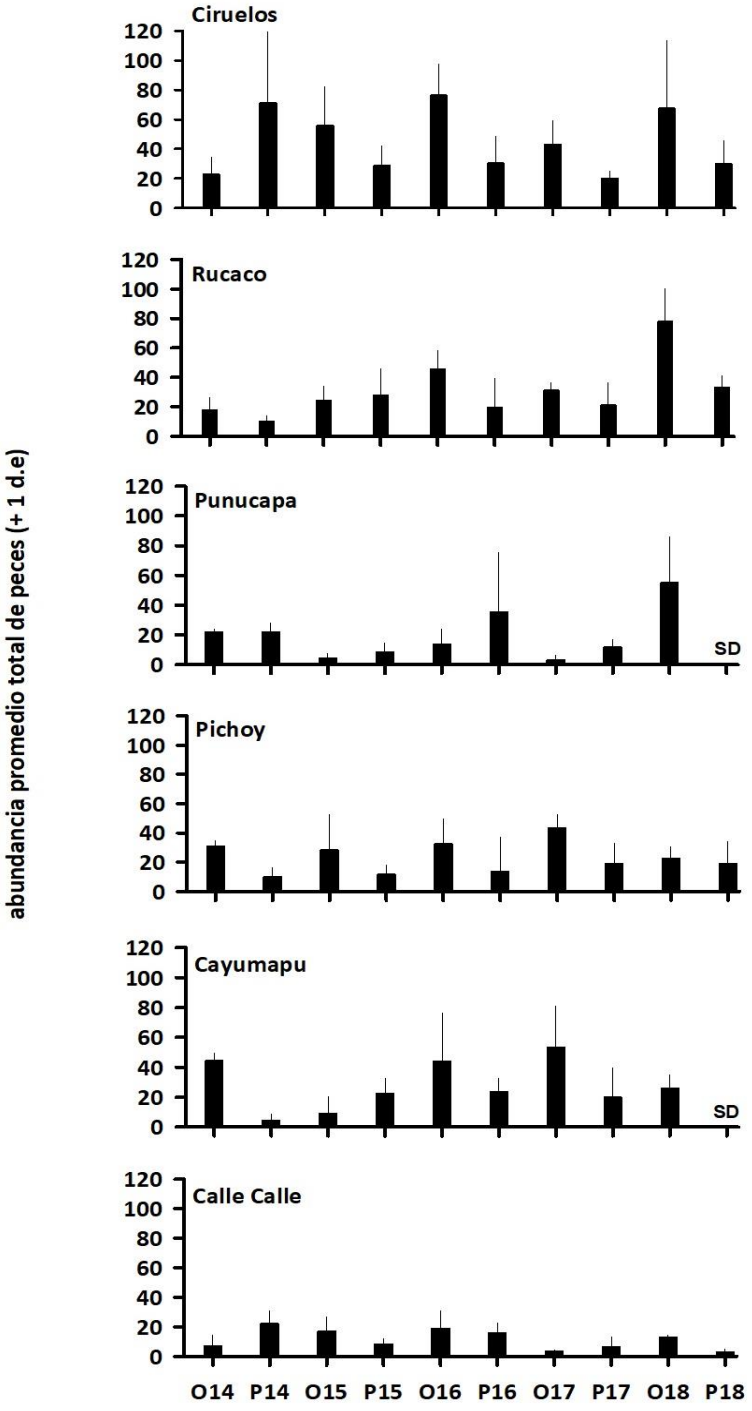


Figura 4.2.5.3. Abundancia promedio total de la ictiofauna en cada sitio durante las campañas de otoño (O) y primavera (P) de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Las barras que acompañan al promedio corresponden a una desviación estándar. SD=sin datos.

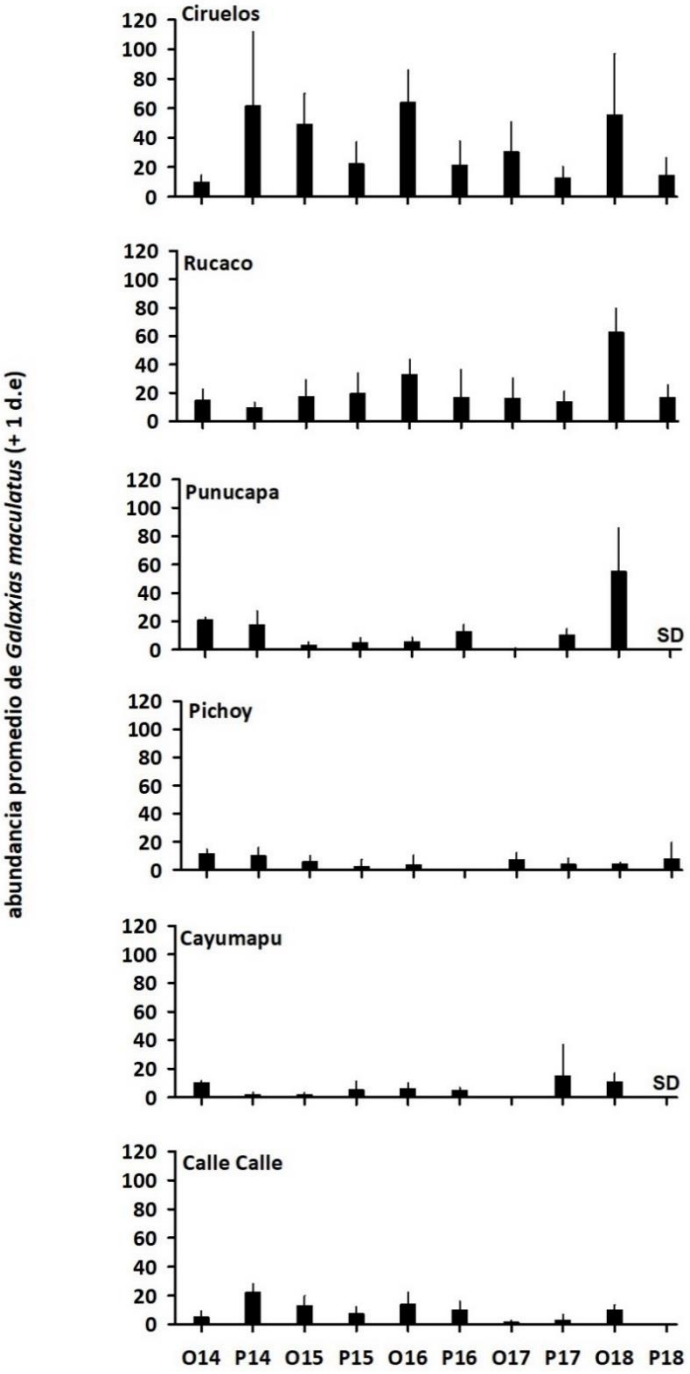


Figura 4.2.5.4. Abundancia promedio total del Puye en cada sitio durante las campañas de otoño (O) y primavera (P) de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Las barras que acompañan al promedio corresponden a una desviación estándar. SD= sin datos.

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, 2015, 2016, 2017 y 2018.

Año 2014

Durante la campaña otoñal, los valores promedios más altos de especies ocurrieron en los sectores de Ciruelos y Rucaco (n= 5,0 y 4,0, respectivamente), mientras que los más bajos se observaron en el sector Punucapa y en los ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle (n=3,0; 3,0; 2,0 y 3,0, respectivamente) (Tabla 4.2.5.3 y Fig. 4.2.5.5).

Para la campaña primaveral, los números promedios de especies más altos se evidenció en los sectores Ciruelos, Punucapa y río Cayumapu (n=3,0; 3,0 y 3,0, respectivamente) y los más bajos en el sector Rucaco y ríos Pichoy y Calle Calle (n=2,0; 1,0 y 1,0, respectivamente) (Tabla 4.2.5.3 y Fig. 4.2.5.5).

Año 2015

Durante la campaña otoñal, los valores promedios más altos de especies se observaron en el sector Rucaco y río Pichoy (n= 4,0 y 3,3, respectivamente), mientras los más bajos se presentaron en el sector Punucapa y río Cayumapu (n=2,0 y 2,0, respectivamente) (Tabla 4.2.5.3 y Fig. 4.2.5.5).

Para la campaña primaveral, los números promedios de especies más altos se evidenció en los sectores Ciruelos, Rucaco (n=2,5 y 3,5, respectivamente), y los más bajos en el sector

Punucapa y los ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle (n= 2,0; 2,0; 2,0 y 1,5, respectivamente) (Tabla 4.2.5.3 y Fig. 4.2.5.5)

Año 2016

Durante la campaña otoñal, los valores promedios más altos de especies ocurrieron en los sectores de Ciruelos y Rucaco (n= 3,8 y 4,3, respectivamente), mientras los más bajos se presentaron en el sector Punucapa y en los ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle (n=2,3; 2,5; 2,3 y 2,5, respectivamente) (Tabla 4.2.5.3 y Fig. 4.2.5.5).

Para la campaña primaveral, los números promedios de especies más altos se evidenció en los sectores Ciruelos, Rucaco y río Cayumapu (n=3,0; 2,8 y 3,0, respectivamente), y los más bajos en el sector Punucapa y río Pichoy (n=1,8 y 1,5, respectivamente) (Tabla 4.2.5.3 y Fig. 4.2.5.5).

Año 2017

Durante la campaña otoñal, los valores promedios más altos de especies se observaron en los sectores Ciruelos, Rucaco y río Pichoy (n= 3,3; 3,3 y 3,0, respectivamente), mientras que los más bajos se evidenciaron en el sector Punucapa y en los ríos Cayumapu y Calle Calle (n=1,5; 1,5 y 2,5, respectivamente) (Tabla 4.2.5.3 y Fig. 4.2.5.5).

Para la campaña primaveral, los números promedios de especies más altos se presentó en los sectores Ciruelos y Rucaco (n=3,0 y 4,0, respectivamente), y los más bajos en el sector Punucapa y río Cayumapu (n=1,8 y 1,3, respectivamente) (Tabla 4.2.5.3 y Fig. 4.2.5.5).

Año 2018

Durante la campaña otoñal, los valores promedios más altos de especies se observaron en los sectores Ciruelos, Rucaco y río Cayumapu (n= 3,8; 4,3 y 3,0, respectivamente), mientras que los más bajos se evidenciaron en el sector Punucapa y río Calle Calle (n=1,3 y 1,8, respectivamente) (Tabla 4.2.5.3 y Fig. 4.2.5.5).

Para la campaña primaveral, los números promedios más altos de especies se presentó en los sectores Ciruelos y Rucaco (n=3,3 y 3,5, respectivamente), y los más bajos en los ríos Pichoy y Calle Calle (n=2,8 y 1,3, respectivamente) (Tabla 4.2.5.3 y Fig. 4.2.5.5).

Tabla 4.2.5.3. Valores promedio del número de especies (n), Índice de Shannon & Wiener y Uniformidad estimados para la ictiofauna de las riberas del área de estudio (*cf*. Fig. 4.2.5.1 para ubicación de los sectores). Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. n= número de especie. SD= sin datos.

río Cruces	fecha	n	Shannon & Wiener	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)
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)
Eje central del río Cruces				
(sector estuarial)				
sector Punucapa	otoño 2014	3,0 (1,0)	0,09 (0,1)	0,20 (0,0)
	primavera 2014	3,0 (1,0)	0,23 (0,2)	0,58 (0,5)
	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

Continuación **Tabla 4.2.5.3.**

río Cruces	fecha	n	Shannon & Wiener	uniformidad
Río tributario del humedal (sector estuarial)				
río Pichoy, interior sector interior	otoño 2014	3,0 (0,6)	0,32 (0,0)	0,68 (0,2)
	primavera 2014	1,0 (0,0)	0,00 (0,0)	0,00 (0,0)
	otoño 2015	3,3 (0,5)	0,50 (0,2)	0,67 (0,2)
	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)
río Cayumapu, sector interior	otoño 2014	2,0 (1,5)	0,23 (0,0)	0,77 (0,1)
	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
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios	otoño 2014	3,0 (0,6)	0,34 (0,2)	0,70 (0,1)
	primavera 2014	1,0 (0,0)	0,00 (0,0)	0,00 (0,0)
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2015	2,8 (1,0)	0,43 (0,1)	0,70 (0,1)
	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)

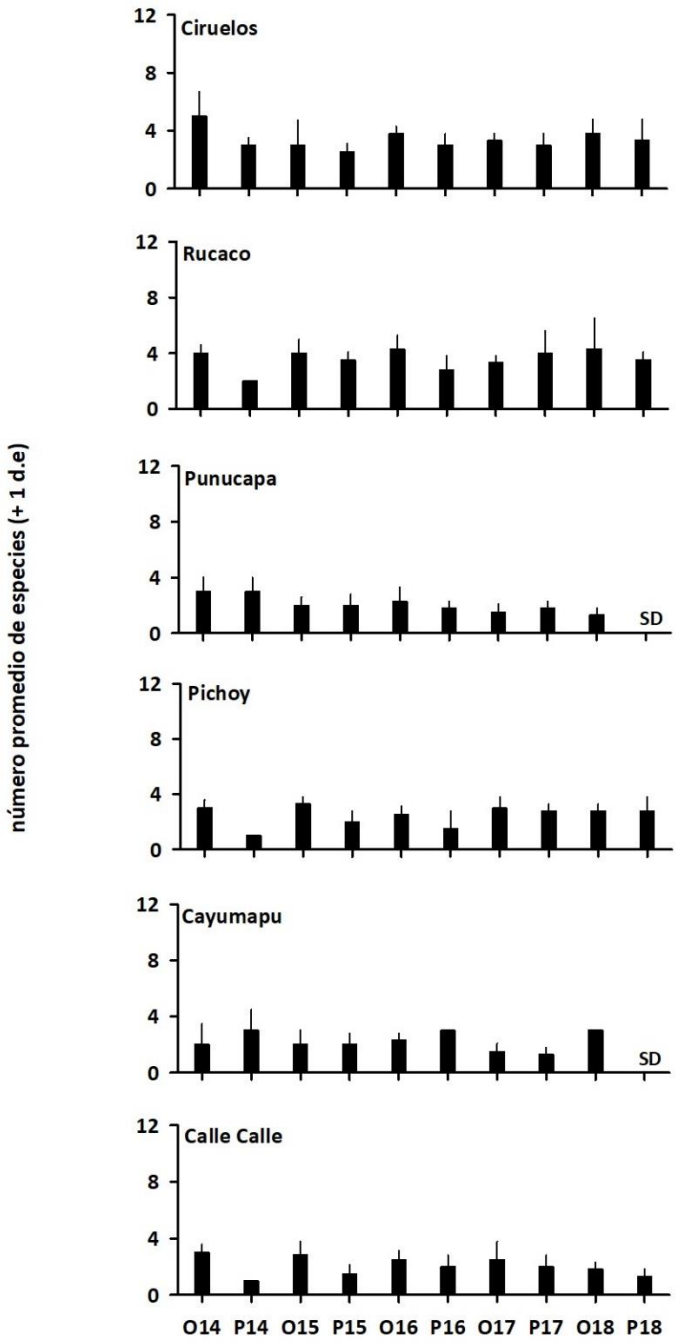


Figura 4.2.5.5. Valores promedio del número de especies en cada sitio durante las campañas de otoño (O) y primavera (P) de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Las barras que acompañan al promedio corresponden a una desviación estándar. SD= sin datos.

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, 2015, 2016, 2017 y 2018.

Año 2014

Durante la campaña de otoño del año 2014, el tamaño corporal de *Galaxia maculatus* varió entre 2,4 y 7,8 cm (Rucaco y Calle Calle, respectivamente); los especímenes con mayor longitud (> 5 cm, considerando la media, moda y rangos de tamaños) se recolectaron en el río Calle Calle (media=5,0 cm) (Tabla 4.2.5.4)

Durante la campaña primaveral del año 2014, el tamaño corporal del puye, varió entre 2,4 y 12,5 cm (Calle Calle y Pichoy, respectivamente); al igual que durante la campaña de otoño del 2014, los puyes más grandes se recolectaron en el río Calle Calle, (media=6,3 cm) (Tabla 4.2.5.4).

Año 2015

Durante la campaña de otoño del año 2015, el tamaño corporal de *Galaxia maculatus* varió entre 2,9 y 8,6 cm (Ciruelos, Rucaco y Pichoy, respectivamente); los especímenes más grandes (considerando la media, moda y rango de tamaños) se recolectaron en el río Cayumapu (media=5,9 cm) (Tabla 4.2.5.4 y Fig. 4.2.5.10). Los sectores Ciruelos y Rucaco fueron los que presentaron el mayor porcentaje de individuos pequeños (tamaño corporal < 5 cm) (Tabla 4.2.5.4 y Fig. 4.2.5.6 y 4.2.5.7).

Durante la campaña primaveral del año 2015, el tamaño corporal del Puye fluctuó entre 2,2 y 7,8 cm (Ciruelos y Pichoy, respectivamente); los individuos de mayor tamaño se recolectaron en el río Pichoy (media=6,7 cm) (Tabla 4.2.5.4 y Fig. 4.2.5.9), mientras que los

más pequeños se recolectaron en el sector Ciruelos (media=5,3 cm) (Tabla 4.2.5.4 y Fig. 4.2.5.6).

Año 2016

Durante la campaña de otoño del año 2016, el tamaño corporal de *Galaxia maculatus* varió entre 2,6 y 9,4 cm (Calle Calle y Cayumapu, respectivamente); los especímenes más grandes (considerando la media, moda y rango de tamaños) se recolectaron en el sector Punucapa y río Calle Calle (media=6,0 cm) (Tabla 4.2.5.4; Fig. 4.2.5.8 y 4.2.5.11).

Durante la campaña primaveral del año 2016, el tamaño corporal del Puye fluctuó entre 1,6 y 8,1 cm (Punucapa y Calle Calle, respectivamente); los individuos de mayor tamaño se recolectaron en los ríos Cayumapu y Calle Calle (media=6,4 y 6,2, cm, respectivamente) (Tabla 4.2.5.4; Fig. 4.2.5.10 y 4.2.5.11).

Año 2017

Durante la campaña de otoño del año 2017, el tamaño corporal de *Galaxia maculatus* varió entre 1,6 y 9,3 cm (Punucapa y Cayumapu, respectivamente); los especímenes más grandes (considerando la media, moda y rango de tamaños) se recolectaron en el río Calle Calle (media=5,6 cm) (Tabla 4.2.5.4 y Fig. 4.2.5.11).

Durante la campaña primaveral del año 2017, el tamaño corporal del Puye fluctuó entre 1,4 y 9,7 cm (Pichoy y Calle Calle, respectivamente); los individuos de mayor tamaño se recolectaron en el río Calle Calle (media=7,2, cm) (Tabla 4.2.5.4 y Fig.4.2.5. 11).

Año 2018

Durante la campaña de otoño del año 2018, el tamaño corporal de *Galaxia maculatus* varió entre 1,6 y 8,4 cm (Cayumapu y Rucaco, respectivamente); los especímenes más grandes (considerando la media, moda y rango de tamaños) se recolectaron en el río Calle Calle (media=4,9 cm) (Tabla 4.2.5.4 y Fig. 4.2.5.11).

Durante la campaña primaveral del año 2018, el tamaño corporal del Puye fluctuó entre 3,0 y 8,3 cm (Ciruelos y Pichoy, respectivamente); los individuos de mayor tamaño se recolectaron en el río Pichoy (media=5,7 cm) (Tabla 4.2.5.4 y Fig.4.2.5.9).

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 los ríos Calle Calle y Pichoy (Figs. 4.2.5.11 y 4.2.5.9, respectivamente), lo que evidencia un ciclo de vida diadrómo en donde los Puye adultos son más abundantes y desovan en otoño, por lo que el retorno al estuario desde el mar siendo juveniles, se efectúa en primavera (Vega *et al.,* 2013):.

En el río Calle Calle, no se obtuvo presencia de especímenes *Galaxias maculatus* durante la toma muestras en el mes de diciembre del año 2018 (Tabla 4.2.5.4 y Fig. 4.2.5.11)

Tabla 4.2.5.4. Fecha de captura**,** Campaña, número de peces recolectados, media, moda y rangos de tallas corporales (valores en cm) de *Galaxias maculatus* durante el período 2014 – 2018. n= número de especímenes recolectados. SD =sin datos.

sectores	campañas	n	media	moda	rango
Eje central río Cruces (sector límnico)					
sector Ciruelos	otoño 2014	543	4,6	5,0	2,8 - 7,6
	primavera 2014	184	5,4	4,5	3,8 - 8,1
	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
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
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
sector Punucapa	otoño 2014	66	4,8	5,0	3,5 - 6,5
	primavera 2014	218	5,7	6,0	3,9 - 8,3
	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

Continuación **Tabla 4.2.5.4**

sectores	campañas	n	media	moda	rango
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)					
río Pichoy, sector interior	otoño 2014	46	4,1	4,0	3,4 - 6,4
	primavera 2014	154	5,8	5,5	4,0 - 12,5
	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
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
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

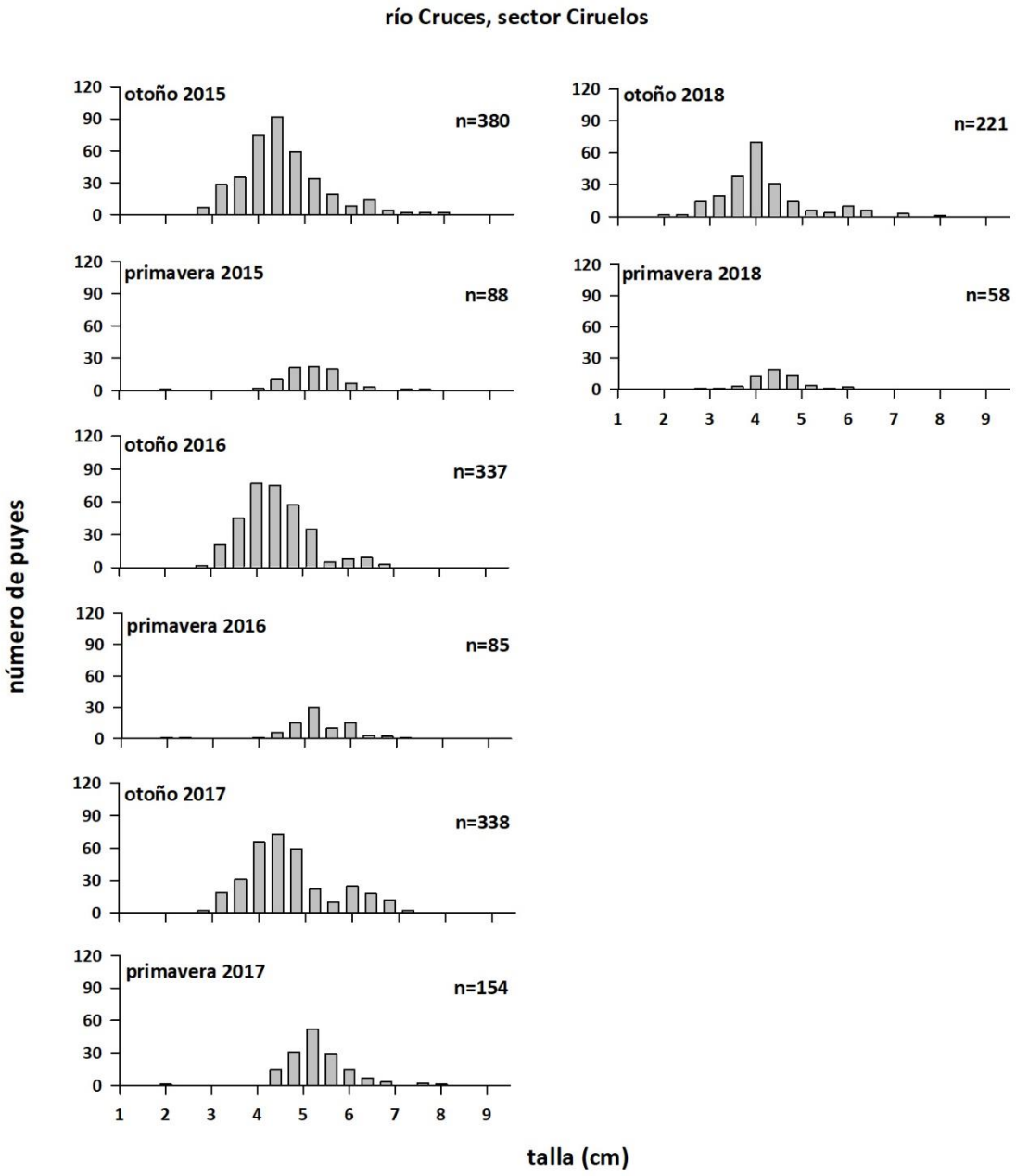


Figura 4.2.5.6. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Cruces, sector Ciruelos, durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018.

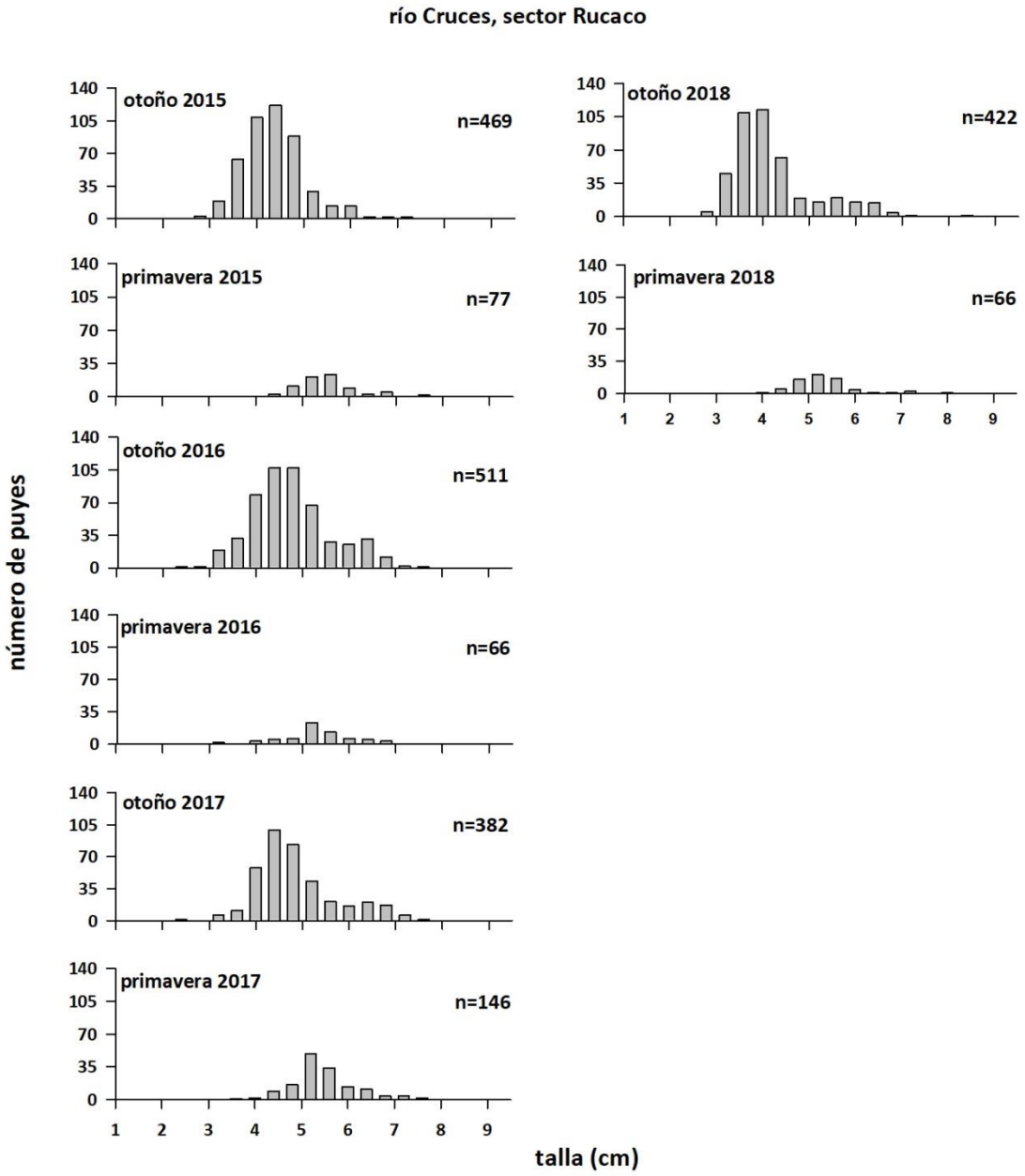


Figura 4.2.5.7. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Cruces, sector Rucaco, durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018.

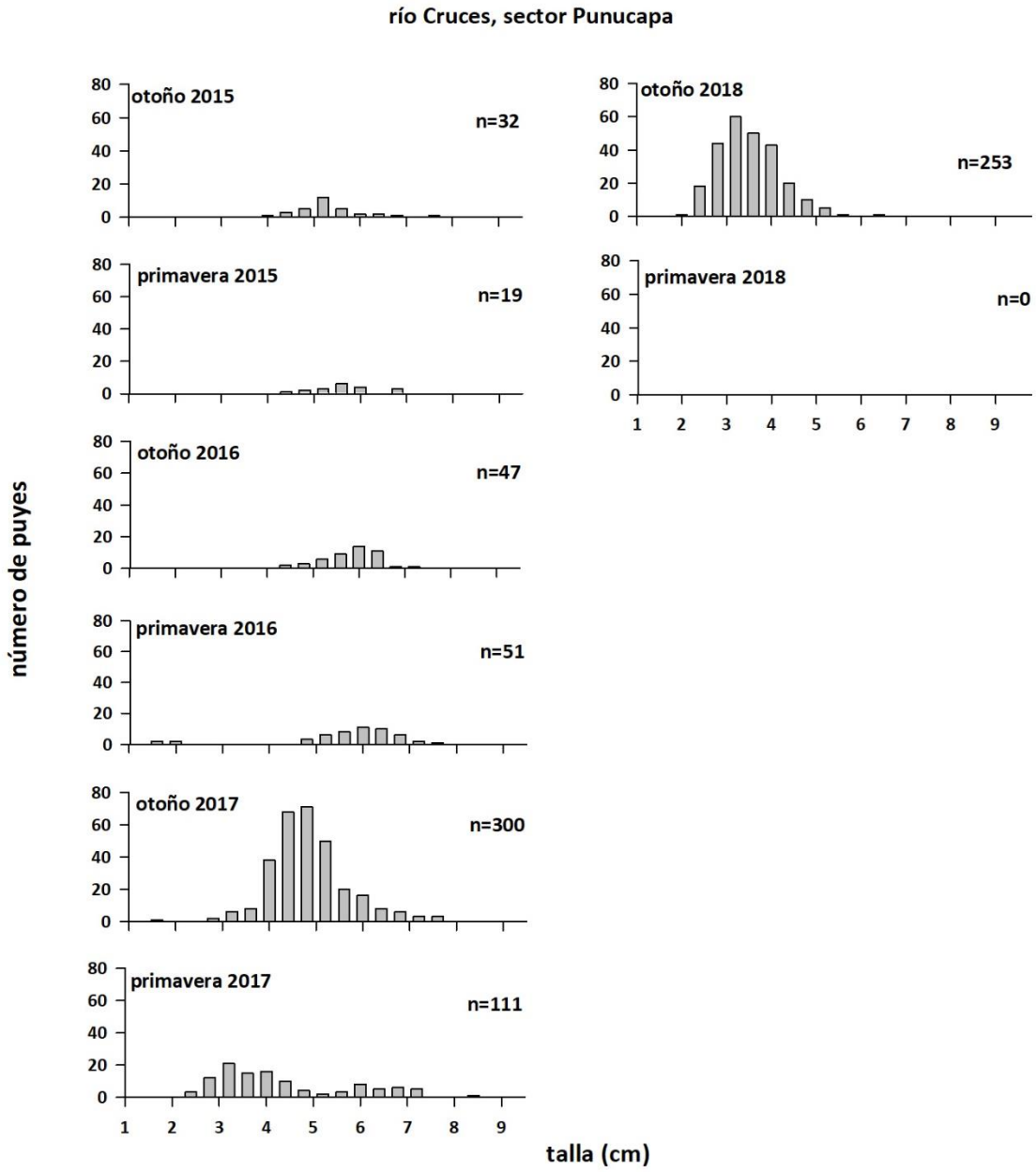


Figura 4.2.5.8. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Cruces, sector Punucapa, durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018.

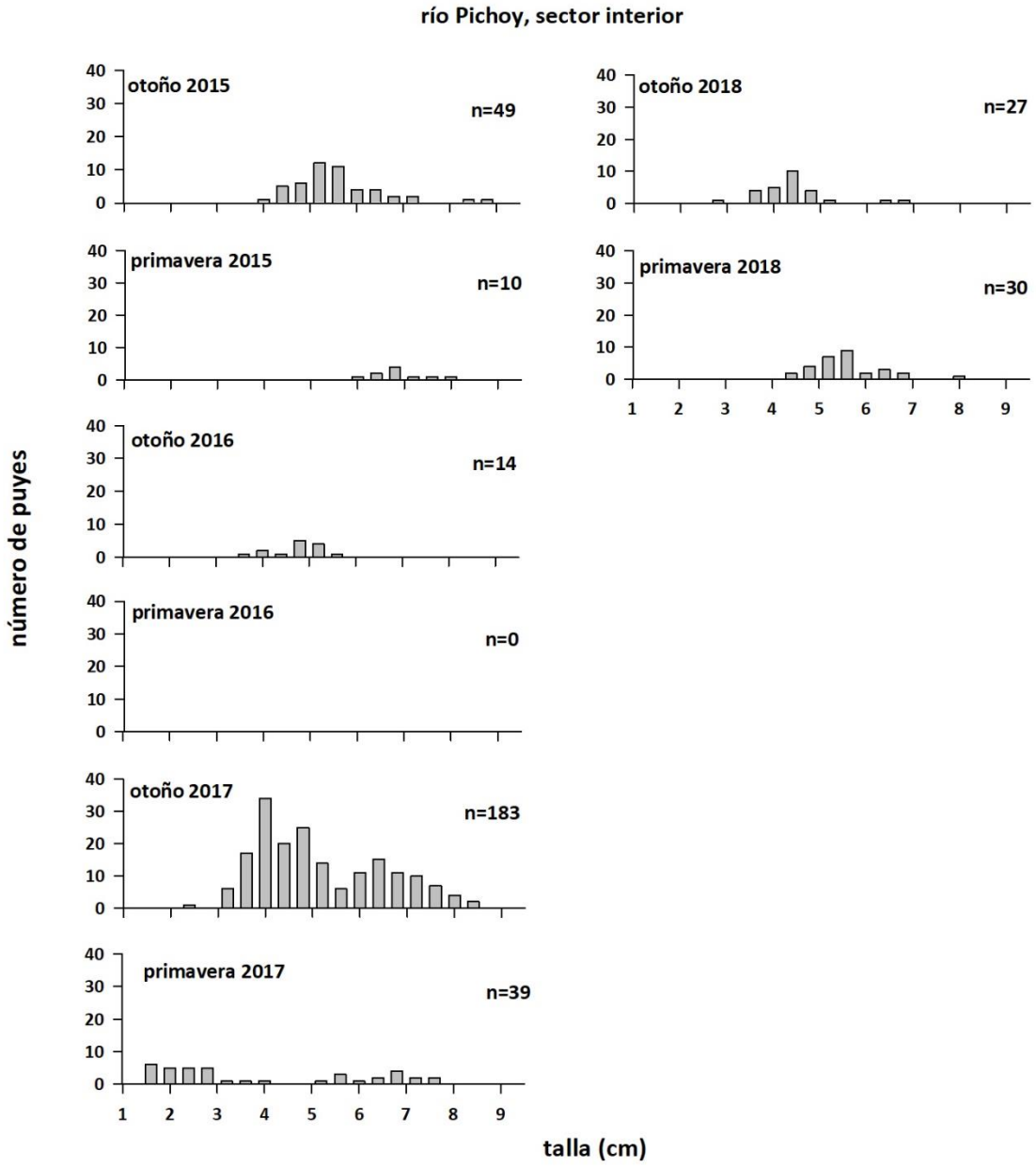


Figura 4.2.5.9. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Pichoy, durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018.

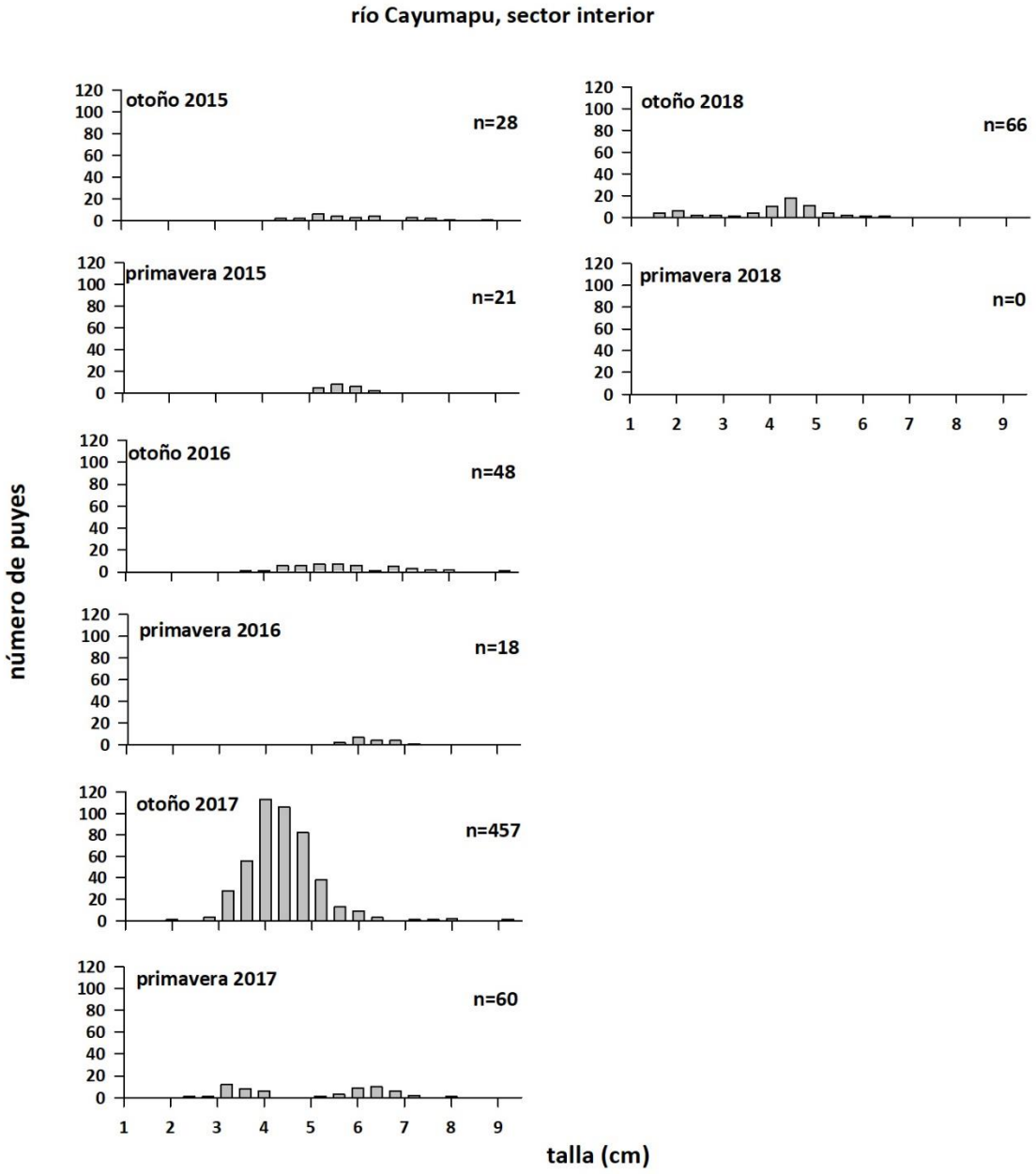


Figura 4.2.5.10. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Cayumapu, durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018.

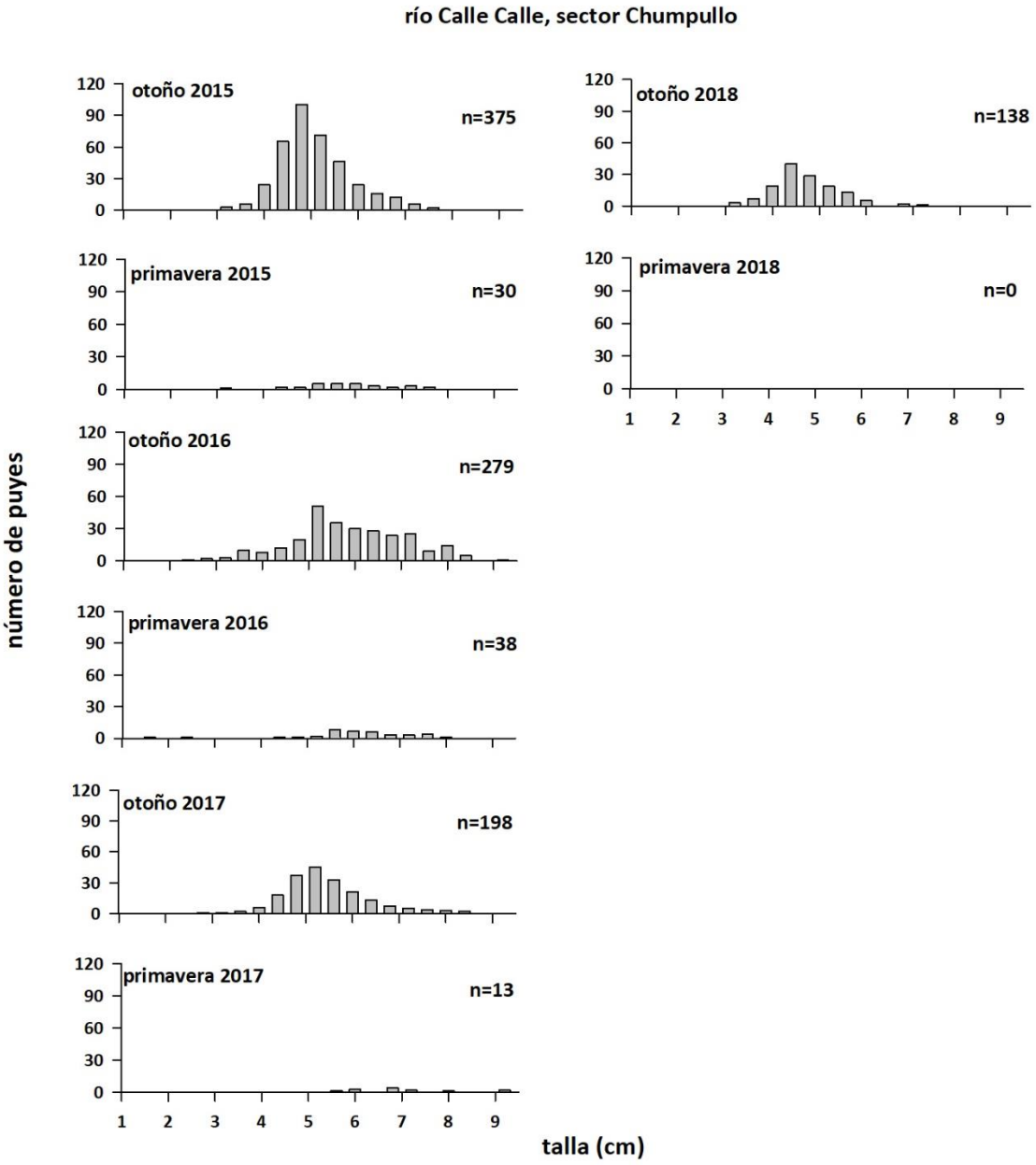


Figura 4.2.5.11. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Calle Calle, sector Chumpullo durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016, 2017 y 2018.

4.2.5.4.2. Elementos y compuestos químicos en *Galaxias maculatus*

Metales pesados

Comparaciones en base a muestreos otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018 en los sectores Ciruelos, Rucaco y Chumpullo (río Calle Calle).

Las Tablas 4.2.5.5 - 4.2.5.7 y la Figura 4.2.5.12, muestran la concentración de metales pesados en ejemplares completos de *Galaxias maculatus* recolectados en los sectores de Ciruelos, Rucaco y Cumpullo (Calle Calle), durante las campañas otoñales de los años 2014 (Programa de Diagnostico Ambiental del HRC), 2015, 2016, 2017 y 2018 (Programa de Monitoreo Ambiental de HRC).

Durante todas las campañas, los metales pesados más representados (*i.e.*, mayores concentraciones) en los puyes estudiados fueron Hierro, Aluminio y Zinc (Tablas 4.2.5.5 y 4.2.5.6 y Fig. 4.2.5.12).

El Cobre fue detectado durante la campaña del año 2016 en los tres sectores. En los puyes del sector Ciruelos se detectó este metal durante los años 2016 y 2018, en los de Rucaco sólo durante el año 2016, a la vez que los puyes examinados del sector Chumpullo (río Calle Calle) dieron positivo al Cobre durante todas las campañas, salvo durante el otoño 2015 (Tabla 4.2.5.6 y Fig. 4.2.5.12).

El Plomo fue detectado en todas las campañas entre los años 2014 a 2018 y en los tres sectores (Ciruelos, Rucaco y Calle Calle), en donde en el sector Chumpullo se observó un aumento de su concentración en los años 2017 y 2018 (Tabla 4.2.5.7 y Fig. 4.2.5.12).

El Mercurio fue detectado en los puyes analizados durante todas las campañas, a diferencia del Cadmio y Arsénico que han estado ausentes permanentemente desde la primera campaña (Tabla 4.2.5.7 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 las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. 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 (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	266,1 (1,5)	186,8 (10,3)	89,9 (1,3)
	primavera 2014	270,6 (5,6)	218,1 (7,5)	42,2 (0,4)
	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)
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)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	254,0 (20,5)	209,9 (6,1)	21,1 (0,5)
	primavera 2014	523,1 (9,7)	458,6 (0,3)	27,7 (0,2)
	otoño 2015	305,2 (30,7)	535,4 (10,6)	23,7 (0,8)
	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)

Tabla 4.2.5.6. Concentraciones de Cobre, Zinc y Plomo en tejidos de *Galaxias maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. 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 (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	*	254,16 (5,3)	0,05 (0,0)
	otoño 2015	*	203,46 (0,4)	0,01 (0,0)
	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)
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)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	3,54 (0,0)	140,69 (4,7)	0,11 (0,0)
	otoño 2015	*	168,35 (0,8)	0,17 (0,0)
	otoño 2016	2,77 (0,2)	270,94 (3,9)	0,06 (0,0)
	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)

Tabla 4.2.5.7. Concentraciones de Cadmio, Arsénico y Mercurio en tejidos de *Galaxias maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. 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 (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	*	*	0,27 (0,0)
	otoño 2015	*	*	0,09 (0,0)
	otoño 2016	*	*	0,43 (0,0)
	otoño 2017	*	*	0,38 (0,0)
	otoño 2018	*	*	0,11 (0,0)
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)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector chumpullo	otoño 2014	*	*	0,20 (0,0)
	otoño 2015	*	*	0,22 (0,0)
	otoño 2016	*	*	0,39 (0,0)
	otoño 2017	*	*	0,15 (0,0)
	otoño 2018	*	*	0,12 (0,0)

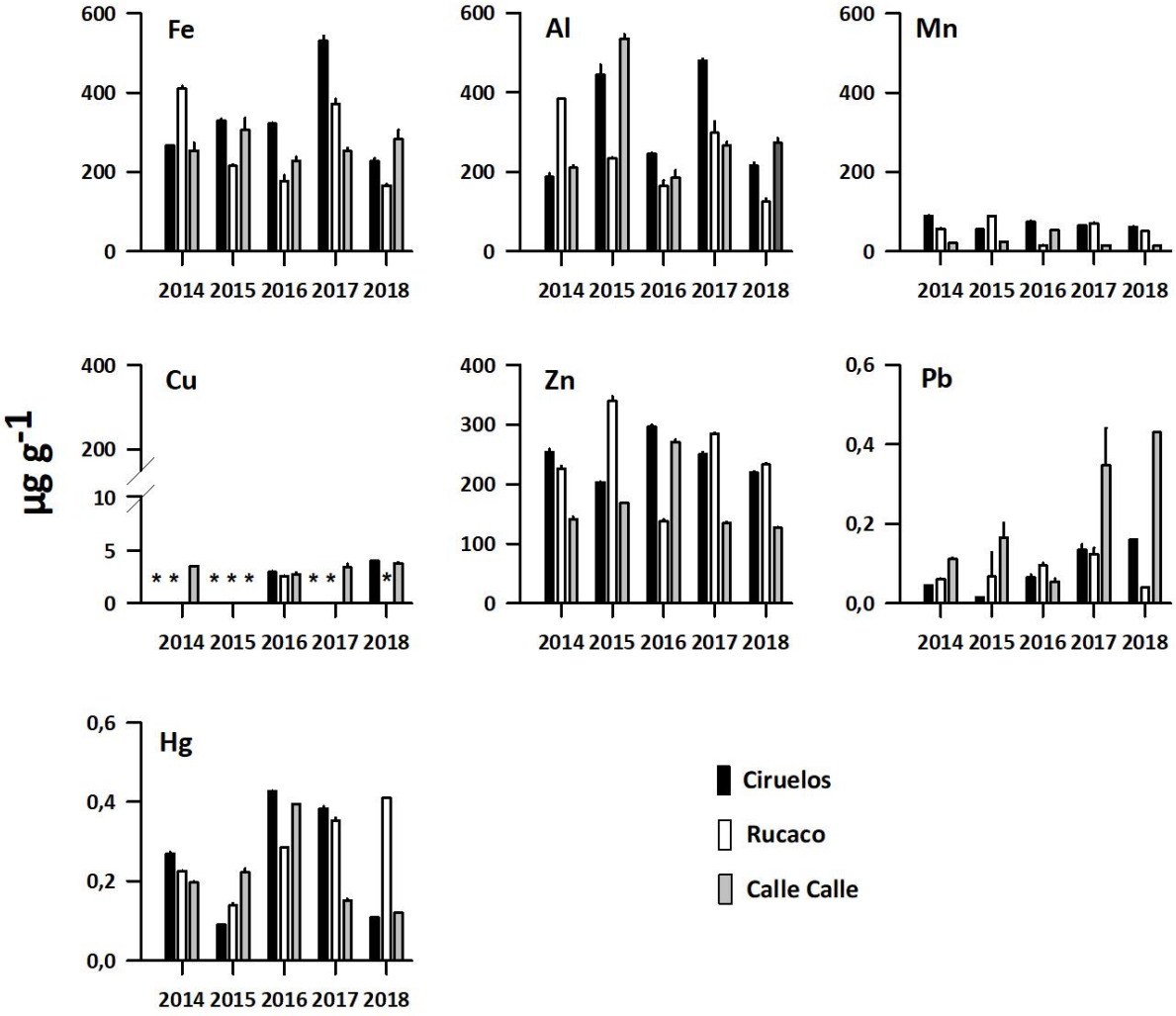


Figura 4.2.5.12. Concentración de metales pesados en especimenes de *Galaxias maculatus*, recolectados durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores son promedios con una desviación estándar. * = no detectado*, i.e.* bajo el límite de detección del método utilizado.

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 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 el año 2017 y mas bajas durante el año 2018 (Tabla 4.2.5.8). Por otra parte, las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes recolectados en el sector Ciruelos que en los capturados en Rucaco y río Calle Calle (Tabla 4.2.5.8 y Fig. 4.2.5.12).

Las concentraciones de Aluminio fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes analizados durante el año 2015, que en puyes recolectados durante los otros años de muestreo. Por otra parte, las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes recolectados en Ciruelos que en los capturados en el río Calle Calle y sector 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 2014 y 2015, principalmente en los especímenes correspondientes al sector Ciruelos (Tabla 4.2.5.8 y Fig. 4.2.5.12).

Las concentraciones de Zinc fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante los años 2015 y 2016 en puyes analizados de los sectores de Ciruelos y Rucaco (Tabla 4.2.5.8 y Fig. 4.2.5.12).

Las concentraciones de Plomo fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes analizados especialmente río Calle Calle durante los años 2017 y 2018 (Tabla 4.2.5.8 y Fig. 4.2.5.12).

Las concentraciones de Mercurio fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes analizados durante los años 2016 y 2017, en puyes capturados en el sector Rucaco, (Tablas 4.2.5.7 y 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, 2015, 2016, 2017 y 2018) 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)	4	95416,5	23854,1	129,3	**< 0,001**	2017 >2014 >2015 >2016 =2018
	Sector (S)	2	31267,4	15633,7	84,7	**< 0,001**	Ci > Ru = CC
	A × S	8	126918,0	15864,7	86,0	**< 0,001**	
	Error	15	2766,4	184,4			
	Total	29	256368,5	8840,2			
Al (**)	Año (A)	4	197131,1	49282,7	274,3	**< 0,001**	2015 >2017 >2014 >2018 =2016
	Sector (S)	2	28733,1	14366,5	79,9	**< 0,001**	Ci >CC > Ru
	A × S	8	195873,1	24484,1	136,3	**< 0,001**	
	Error	15	2694,1	179,6			
	Total	29	424431,5	14635,5			
Mn (**)	Año (A)	4	815,9	203,9	182,3	**< 0,001**	2014 =2015 >2017 >2016 >2018
	Sector (S)	2	10090,7	5045,3	4509,5	**< 0,001**	Ci > Ru > CC
	A × S	8	8585,0	1073,1	959,1	**< 0,001**	
	Error	15	16,7	1,1			
	Total	29	19508,5	672,7			
Zn (**)	Año (A)	4	8612,2	2153,0	155,7	**< 0,001**	2015 =2016 >2017 >2014 >2018
	Sector (S)	2	38697,6	19348,8	1399,8	**< 0,001**	Ci= Ru > CC
	A × S	8	74982,7	9372,8	678,0	**< 0,001**	
	Error	15	207,3	13,8			
	Total	29	122499,9	4224,1			
Pb (**)	Año (A)	4	0,125	0,031	31,6	**< 0,001**	2018 =2017 >2015 =2016=2014
	Sector (S)	2	0,132	0,066	67,0	**< 0,001**	CC > Ci= Ru
	A × S	8	0,120	0,014	15,1	**< 0,001**	
	Error	15	0,014	0,001			
	Total	29	0,391	0,013			
Hg (**)	Año (A)	4	0,16	0,041	1990,0	**< 0,001**	2016 >2017 >2014 >2018 >2015
	Sector (S)	2	0,02	0,010	515,0	**< 0,001**	Ru > Ci > CC
	A × S	8	0,20	0,025	1194,6	**< 0,001**	
	Error	15	0,00	0,000			
	Total	29	0,38	0,013			

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 y 2018, en los sectores Ciruelos, Rucaco y Chumpullo (río Calle Calle).

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 de los años 2014 (Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC), 2015, 2016, 2017 y 2018 (Programa de Monitoreo Ambiental del HRC). No se detectaron Ácidos resínicos en puyes recolectados en todos los sectores y fechas de muestreos (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 las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. 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 (área límnica)				
sector Ciruelos	otoño 2014	2685,6 (347,3)	*	19,9 (2,6)
	otoño 2015	2330,9 (161,9)	*	12,1 (1,8)
	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)
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)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	6692,6 (188,9)	*	22,7 (3,4)
	otoño 2015	2682,6 (18,7)	*	17,7 (3,6)
	otoño 2016	1757,5 (14,9)	*	13,5 (0,3)
	otoño 2017	2999,4 (113,7)	*	20,1 (0,1)
	otoño 2018	1181,4 (153,4)	*	34,7 (2,7)

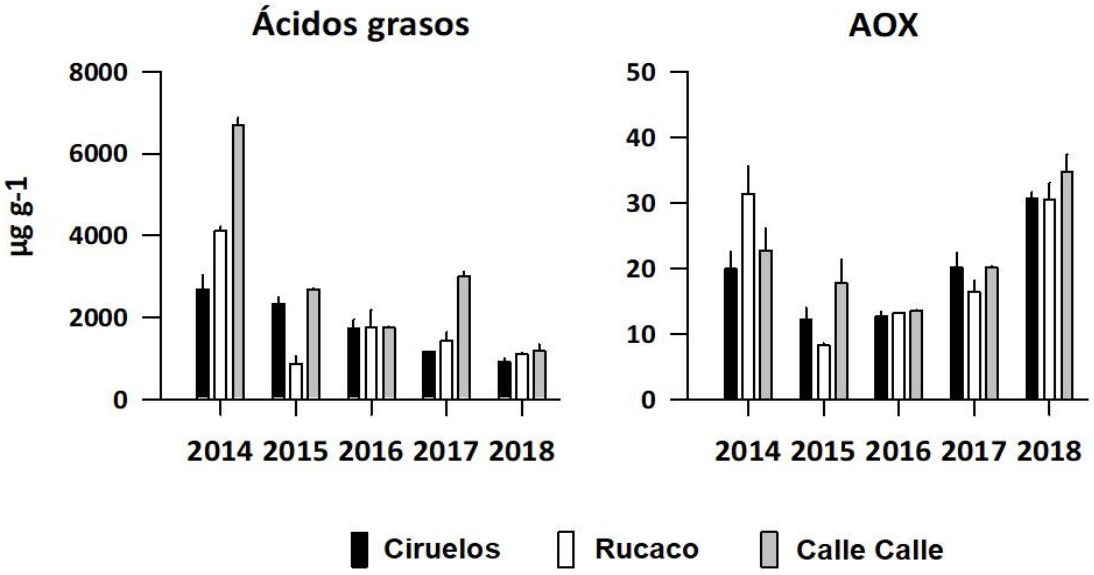


Figura 4.2.5.14. Concentración de Ácidos grasos y compuestos halogenados adsorbibles (AOX) en especímenes de *Galaxias maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores son promedios con una desviación estándar.

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, mientras que las concentraciones más bajas se obervaron en el año 2018 (Tabla 4.2.5.14).

Los análisis efectuados a las concentraciones de AOX, indican que estas, fueron significativamente más altas (p<0,05) durante el año 2018 y más bajas durante el año 2015 (Tabla 4.2.5.14). Los mismos análisis no detectaron diferencias significativas entre los sectores Ciruelos, Rucaco 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, 2015, 2016, 2017 y 2018) 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)	4	1,125	0,281	116,03	**<0,001**	2014>2015=2016=2017>2018
(*)(**)	Sector (S)	2	0,276	0,138	56,92	**<0,001**	CC > Ci =Ru
	A x S	8	0,352	0,044	18,14	**<0,001**	
	Error	15	0,033	0,002			
	Total	29	1,766	0,063			
AOX	Año (A)	4	1606,3	401,585	78,140	**<0,001**	2018>2014>2017>2016=2015
(**)	Sector (S)	2	39,23	19,617	3,817	0,046	CC= Ru=Ci
	A x S	8	236,90	29,614	5,762	**0,002**	
	Error	15	77,09	5,139			
	Total	29	1959,57	67,571			

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; (***) No cumple supuestos de ANDEVA.

Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos

Comparaciones en base a muestreos otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018, en los sectores Ciruelos, Rucaco y Chumpullo (río Calle Calle).

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 de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018.

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 las campañas de otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. 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 (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	0,00055 (0,00007)	0,00080 (0,00014)	0,00010 (0,00008)
	otoño 2015	0,00080 (0,00000)	0,00240 (0,00014)	0,00010 (0,00001)
	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)
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)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos Tributarios				
Río Calle Calle				
Sector Chumpullo	otoño 2014	0,00155 (0,00035)	0,00165 (0,00007)	0,00016 (0,00013)
	otoño 2015	0,00055 (0,00007)	0,00070 (0,00000)	0,00004 (0,00000)
	otoño 2016	0,00035 (0,00007)	0,00055 (0,00021)	0,00004 (0,00003)
	otoño 2017	0,00948 (0,00018)	0,00218 (0,00001)	0,00094 (0,00002)
	otoño 2018	0,00428 (0,00132)	0,00369 (0,00224)	0,00077 (0,00006)

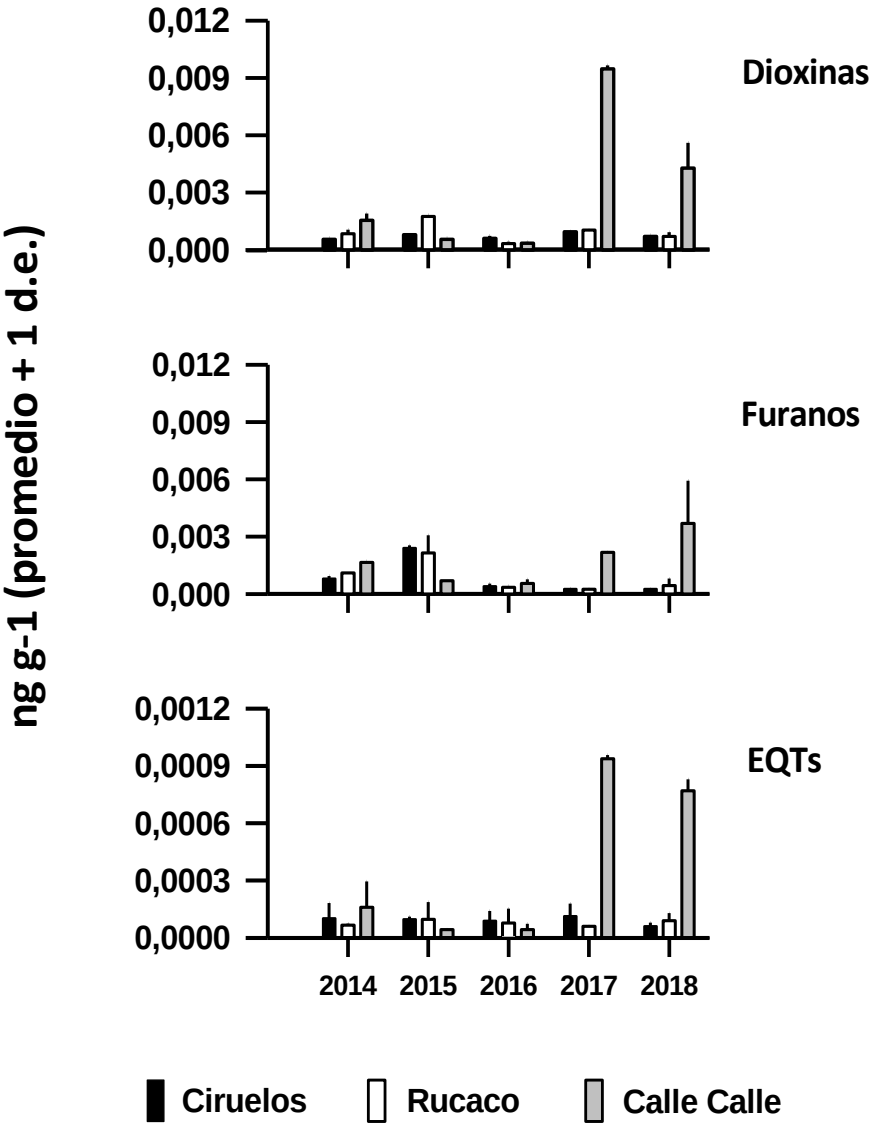


Figura 4.2.5.16. Concentración de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos (ETQs) en especímenes de *G. maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores son promedios con una desviación estándar.

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, indicando que las concentraciones de Dioxinas presentes en los tejidos de *Galaxias maculatus* fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante los años 2017 y 2018, en puyes del río Calle Calle en comparación con los sectores de Ciruelo y Rucaco (Fig. 4.2.5.16).

Las concentraciones de Furanos fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante los años 2015 y 2018, en ejemplares del río Calle Calle (Tabla 4.2.5.18 y Fig. 4.2.5.16).

Las concentraciones de Equivalentes tóxicos (EQTs) presentes en tejidos de puyes, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en *G. maculatus* capturados durante las campañas de los años 2017 y 2018, particularmente 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, 2015, 2016, 2017 y 2018) 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)	4	1,634	0,408	60,51	**<0,001**	2017 >2018 =2015 =2014>2016
(*)(**)	Sector (S)	2	0,760	0,380	56,26	**<0,001**	CC >Ru=Ci
	A × S	8	1,864	0,233	34,51	**<0,001**	
	Error	15	0,101	0,00675			
	Total	29	4,359	0,150			
Furanos	Año (A)	4	1,317	0,329	13,63	**< 0,001**	2015>2018 =2014>2017=2016
(**)	Sector (S)	2	0,956	0,478	19,79	**< 0,001**	CC> Ru= Ci
	A × S	8	2,169	0,271	11,23	**< 0,001**	
	Error	15	0,362	0,0241			
	Total	29	4,804	0,166			
EQTs	Año (A)	4	0,000346	0,0000864	10,36	**<0,001**	2017=2018 >2015=2014=2016
(*)(**)	Sector (S)	2	0,000400	0,000200	23,99	**<0,001**	CC > Ci = Ru
	A × S	8	0,000757	0,0000947	11,35	**< 0,001**	
	Error	15	0,000125	0,0000083			
	Total	29	0,00163	0,0000562			

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; (***) 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 y 2018 en los sectores Ciruelos, Rucaco y Chumpullo (río Calle Calle).

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 1.2.3.7.8-PCDD en los especímenes de *Galaxias maculatus,* recolectados durante las campañas otoñales de los años 2014 (Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC), 2015, 2016, 2017 y 2018 (4º Año Programa de Monitoreo Ambiental del HRC).

La Dioxina 2.3.7.8-TCDD, no fue detectada en los puyes capturados en los sectores de Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, entre los años 2014 al 2016. A diferencia de los especímenes recolectados en los años 2017 y 2018 en los tres sectores (Tabla 4.2.5.21 y Fig. 4.2.5.18).

La Dioxina 1.2.3.7.8-PCDD, fue detectada en general en puyes de todos los sectores, pero sin mostrar tendencias anuales marcadas (Tabla 4.2.5.21 y Fig. 4.2.5.18). No se realizaron análisis estadísticos debido a que ambas Dioxinas (2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PCDD) no se encontraron en la totalidad de 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 de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. 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 (sector límnico)			
sector Ciruelos	otoño 2014	*	0,00010
	otoño 2015	*	*
	otoño 2016	*	0,00010
	otoño 2017	0,00003 (0,00000)	0,00008
	otoño 2018	0,00002 (0,00002)	*
sector Rucaco	otoño 2014	*	*
	otoño 2015	*	*
	otoño 2016	*	0,00005 (0,00007)
	otoño 2017	0,00003 (0,00000)	*
	otoño 2018	0,00005 (0,00001)	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios			
río Calle Calle sector Chumpullo	otoño 2014	*	0,0001
	otoño 2015	*	*
	otoño 2016	*	*
	otoño 2017	0,00016 (0,00001)	0,00039 (0,00002)
	otoño 2018	0,00025 (0,00000)	0,00017 (0,00003)

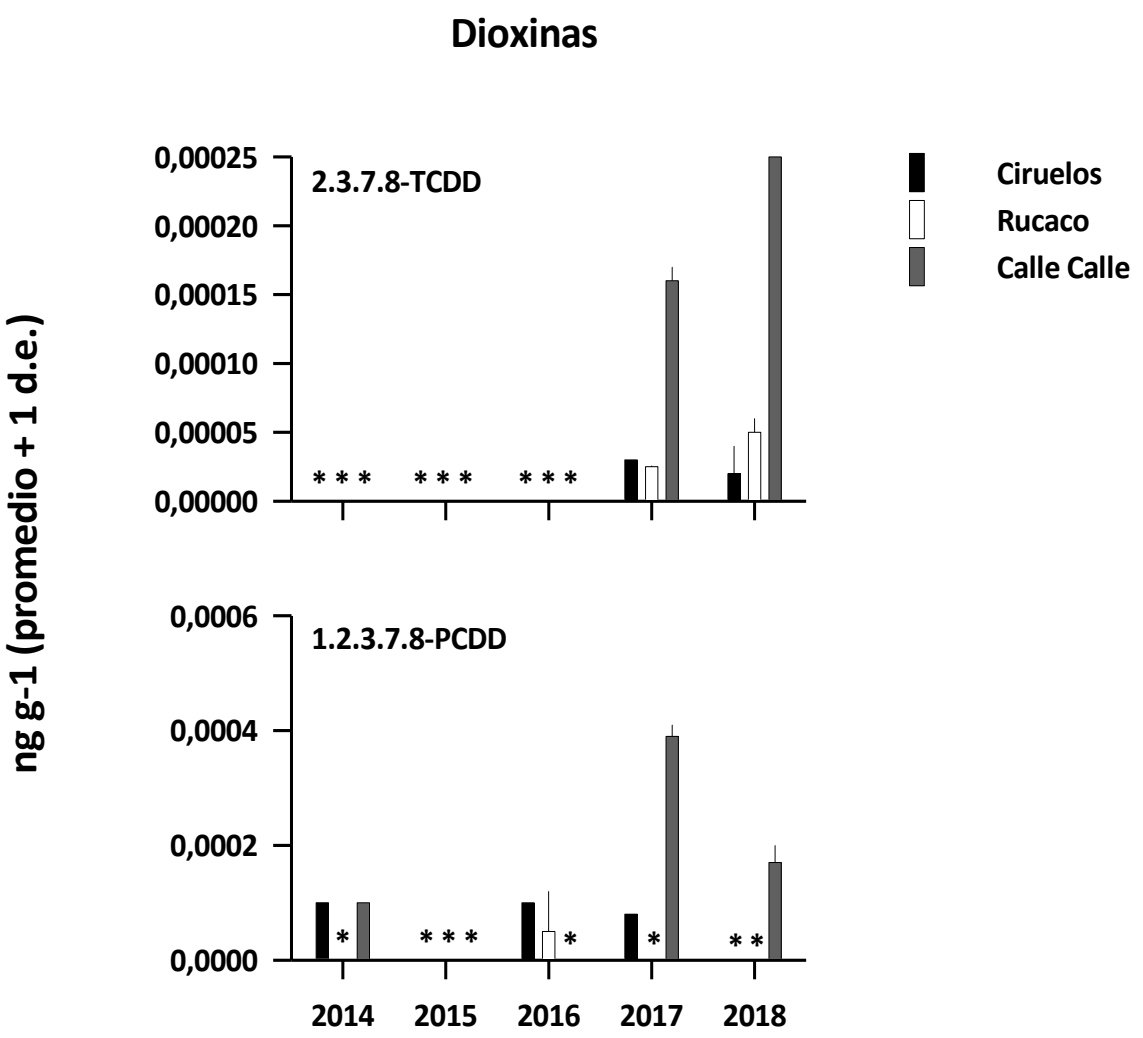


Figura 4.2.5.18. Concentracion de Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PCDD en especímenes de *Galaxias maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Los valores son promedio con una desviación estándar. * = No detectado, *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 los meses de abril a junio del año 2018; 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 abril-junio de 2018. 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	04	26-abril-2018	*G. maculatus*	21
sector Rucaco	06	02-mayo-2018	*G. maculatus*	17
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Punucapa	08	07-mayo-2018	*G. maculatus*	18
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)				
río Pichoy interior	07	03-mayo-2018	*G. maculatus*	20
río Cayumapu interior	09	05-junio-2018	*G. maculatus*	20
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle	05	27-abril-2018	*G. maculatus*	23

Tabla 2. Resumen de resultados de análisis sanitarios de *Galaxias maculatus* durante la campaña otoñal del año 2018, 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	04	26-abril-18	*G. maculatus*	21	TSA: Riñón (4) TYES: Riñón (4)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: Corazón, riñón, Bazo (5)	negativo 1/1
Rucaco	06	02-mayo-18	*G. maculatus*	17	TSA: Riñón (3)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: Corazón, hígado, bazo(5)	negativo 1/1
Punucapa	08	07-mayo-18	*G. maculatus*	18	TSA: Riñón (2)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: Corazón, hígado, bazo (5)	negativo 1/1
río Pichoy	07	03-mayo-18	*G. maculatus*	20	TSA: Riñón (3) TYES: Riñón (3)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: Corazón, hígado, bazo (5)	negativo 1/1
río Cayumapu	09	05-junio-18	*G. maculatus*	20	TSA: hígado (4) TYES: hígado (4)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: Corazón hígado, bazo (5)	negativo 1/1
río Calle Calle	05	27-abril-18	*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.

Por otra parte, la identificación de parásitos a través de análisis en fresco desde **branquias** de los Puyes recolectados durante la campaña otoñal de 2018, según estación y número de caso, se presenta a continuación:

sector Ciruelos Caso 04.18

Branquias (5): presencia de *Trichodina* moderada 1/5, *Epistilus* escaso 1/5 y *Dactilogyrus* escaso 2/5.

sector Calle - Calle Caso 05.18

Branquias (5): abundante presencia de *Dactylogyrus* 1/5, escasa presencia de *Trichodina* 1/5 y abundante 2/5.

sector Rucaco Caso 06.18

Branquias (5): escasa presencia de *Epistilus* y *Costia* 5/5, abundante *Tricodina* 5/5 y escaso *Dactylogyrus* 1/5

sector río Pichoy Caso 07.18

Branquias (5): escasa presencia de *Ichthyophthirius*, *Dactylogyrus, Tricodina y Quillodonella* 5/5.

sector Punucapa Caso 08.18

Branquias (5): escasa presencia de *Trichodina* 2/5 y *Costia* 3/5*, Ich* moderada presencia 3/5, *Dactylogyrus* escasos 1/5.

sector río Cayumapu Caso 09.18

Branquias (5): escasa presencia de *Tricodina* y *Costia* 2/5, *Dactylogyrus* abundante 3/5.

Se destaca que los parásitos externos *Dactylogyrus* y *Tricodina*, están presentes en las branquias de los Puyes muestreados en todos los sectores, y de los Géneros detectados

los importantes por el impacto de la parasitosis son *Ich* y *Dactylogyrus,* en casos de estrés ambiental, especialmente aumentos bruscos de temperatura y bajas de oxígeno en el agua.

La identificación parasitológica de las nodulaciones encontradas en **hígado** de Puyes (*Galaxias maculatus*) muestreados en abril-junio de 2018, identificadas en el Laboratorio de Parasitología del Instituto de Patología Animal de la UACh, corresponden a Metacercarias del trematodo perteneciente a la familia Echinostomatidae y estructuras quísticas compatibles con Cistocanto del phylum Acantocephala, cabe destacar que estos parásitos no se relacionan con los encontrados en las branquias. En los sectores de Ciruelos, Rucaco, río Pichoy y río Calle-Calle se detectaron 3/5 Puyes, y en río Cayumapu 1/5 con estas nodulaciones hepáticas. No se encontraron estas nodulaciones en los Puyes del sector Punucapa.

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 y nódulos parasitarios en hígado, asociadas 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 juveniles y adultos del Puye (*Galaxias maculatus*), tanto en abundancia como número de especies de parásitos. Se destacó la presencia del trematodo *Dactylogyrus* sp. y de los protozoos I*chthyophthirius* sp., *Trichodina* sp., en branquias. En hígado se encontraron nódulos parasitarios con Metacercarias del Trematodo perteneciente a la familia Echinostomatidae. Ninguno de los

parásitos encontrados en la ictiofauna analizada representa riesgo de salud para las personas.

No se detectó en las muestras de peces analizadas - tanto macroscópica como microscópicamente - presencia de hongos externos e internos.

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 2018. 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.

Tabla 3. Resumen con el detalle de los hallazgos histopatológicos en los Puyes (*Galaxias maculatus*) recolectados durante la campaña de otoño 2018. 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	26-abr-18					S/A (2) OND (3)	OND (4)	hiperplasia epitelial (5) *Trichodina* (4) *Ichthyophthirium* (1)	S/A (3) OND (2)			S/A (5)	testículo (4) OND (1)
		S/A (5)	Trematodos (4) S/A (1)	S/A (4)	nefritis (1)					enteritis (2) *Trichodina* (1) OND (2)	S/A (1)		
Rucaco	02-may-18	S/A (5)	Trematodos (2) S/A (3)	OND (1) Trematodos (2) S/A (3)	S/A (4) nefritis (1) parásitos calcificados (1) S/A (3)	S/A (5))	S/A (1) OND (4)	branquitis (4) hiperplasia epitelial (1) *Trichodina* (1) Trematodos (3) *Ichthyothphthirium* (3)	S/A (5)	S/A (5)	OND (4) S/A (2) OND (3)	S/A (5)	testículo (3) ovario (2)
Punucapa	07-may-18	parásito no identificable (1) S/A (4)	Nematodos Anisakidae (4) (Trematodos (3)	S/A (5)	nefrits (2) nefrocalcinosis (1) S/A (2)	Trematodos (1) S/A (2) OND (2)	S/A (3) OND (2)	branquitis (3) hiperplasia epitelial (2) *Trichodina* (2) Trematodos (2)	S/A (5)	S/A (5)	S/A (1) OND (4)	S/A (5)	testículo (4) ovario (1)
Pichoy	03-may-18	Trematodos (1) S/A (4	Trematodos (3) S/A (2)	Trematodos (1) S/A (4)	nefritis (1) nódulos sideróticos (2) S/A (1) OND (1)	Nematodos Anisakidae (1) S/A (3) OND (1)	S/A (3) OND (2)	branquitis (4) hiperplasia epitelial (1) *Trichodina* (4) Trematodos (2)	S/A (5)	S/A (4) OND (1)	Nódulos sideróticos (2) OND (3)	S/A (5)	testículo (5)
Cayumapu	05-jun-18	parásito no identificable (1) S/A (4)	Nematodos Anisakidae (5) Trematodos (1)	S/A (5)	nefritis (4) S/A (1)	Trematodos (1) S/A (3) OND (1)	S/A (1) OND (4)	branquitis (2) hiperplasia epitelial (3) Trematodos (2)	S/A (5)	S/A (5)	S/A (1) OND (4)	S/A (5)	testículo (4) ovario (1)
Calle Calle	27-abr-18	S/A (5)	Inflamación (1) S/A (4)	Degeneración leve (2) S/A (1) OND (2)	Nefritis (2) S/A (3)	S/A (1) OND (4)	S/A (2) OND (3)	branquitis (3) hiperplasia epitelial (2) *Trichodina* (2) Trematodos (2)	S/A (4) OND (1)	parásito no identificable (1) S/A (4)	S/A (1) OND (4)	S/A (5)	testículo (3) ovario (2)

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, 2015, 2016 y 2017, 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 2018:

Sistema nervioso central

El único hallazgo de importancia, lo constituyó la presencia de parásitos en las meninges. Los sectores en el cuales los peces presentaron este parasitismo fue Pichoy, Punucapa y Calle Calle. El parasitismo estuvo presente solo en 3 ejemplares. La identificación parasitológica permitió reconocer en un caso a Trematoda de la Familia Diplostomidae en un pez del sector Pichoy. Esta parasitosis también se presenta en peces de cultivo, como truchas y salmones. Además, en otros dos peces se encontraron estructuras no identificables.

Cavidad abdominal

El hallazgo de mayor importancia, lo constituyó la presencia de parásitos en la cavidad abdominal en peces de los sectores Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy y Cayumapu. Al igual que en el año 2017, ninguno de los peces del sector Calle Calle presentó parásitos a nivel de cavidad abdominal. El parasitismo estuvo presente en 19 ejemplares del total de 30 analizados. La identificación parasitológica permitió reconocer a Trematoda de la Clase Digenea en 12 ejemplares (sectores Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy y Cayumapu) y de la Clase Monogenea en un ejemplar (sector Punucapa), así como Nematoda

de la Familia Anisakidae en nueve peces (sectores Punucapa y Cayumapu). Un ejemplar del sector Calle Calle presentó inflamación crónica moderada.

Hígado

En 27 de los 30 peces examinados microscópicamente, se logró observar el hígado. En dos ejemplares del sector Calle Calle se presentó degeneración leve de hepatocitos. En tres peces se encontraron parásitos y en 22 peces no se encontró ninguna alteración. Al respecto, los parásitos encontrados en el hígado de tres peces de los sectores Rucaco (dos peces) y Pichoy se identificaron como metacercarias de Trematodo Clase Digenea. Dos peces del sector Calle Calle evidenciaron 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. Por otra parte, en tres peces no salió incluido tejido hepático en los cortes realizados.

Riñón

De los 30 peces examinados microscópicamente, 14 no presentaron alteraciones. De los 16 peces restantes, en once se encontró nefritis, en dos de ellos se observaron nódulos sideróticos, uno evidenció parásitos calcificados y en un ejemplar se observó leve mineralización dentro de lúmenes tubulares (nefrocalcinosis). Por otra parte, en un solo pez no salió incluido tejido renal en los cortes realizados.

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 obedece a la acción de algún irritante, habiéndose encontrado restos calcificados de un parásito no identificable en uno de los peces. En dos peces del sector Pichoy se observaron nódulos sideróticos lo que puede asociarse a una activación del sistema inmune. La leve nefrocalcinosis encontrada en un pez del sector Punucapa es un hallazgo individual, dentro de las causas está la exposición a niveles

elevados de CO_2 en el agua, siendo frecuente en peces de cultivo. Ninguna muestra de riñón presentó hallazgos compatibles con la acción de elementos o compuestos tóxicos.

Páncreas

De los 30 peces examinados microscópicamente, 16 no presentaron alteraciones pancreáticas, un pez evidenció Nematoda de la Familia Anisakidae (sector sector Pichoy), dos ejemplares evidenciaron metacercarias de Trematoda de la Clase Digenea (sectores Punucapa y Cayumapu) y en once peces no se obtuvo tejido pancreático en los cortes realizados

Corazón

De los 30 peces examinados microscópicamente, 10 no presentaron alteraciones cardíacas. Por otra parte, en 20 peces no salió incluido tejido cardíaco en los cortes realizados.

Branquias

De los 30 peces examinados microscópicamente, en 16 de ellos se encontró inflamación (branquitis) en grado leve a moderado y en 14 ejemplares se observó hiperplasia de lamelas secundarias. En 20 peces se encontró presencia de parásitos, de los cuales siete 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 trece peces de los sectores Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy y Calle Calle. El protozoo *Ichthyophthirius multifilis* se encontró en cuatro peces de los sectores Ciruelos y Rucaco. El Trematodo de la Clase Monogenea fue observado en los sectores Rucaco (dos peces, uno de ellos también con *Trichodina* sp. e *Ichthyophthirius multifilis*), Punucapa (dos peces, uno de ellos también con *Trichodina* sp.) y Cayumapu (un pez, uno de ellos también con *Trichodina* sp.). El Trematodo de la Clase Digenea fue observado en los sectores Calle Calle (dos peces, uno de

ellos también con *Trichodina* sp. e *Ichthyophthirius multifilis*), Rucaco (un pez), Pichoy (dos peces, también con *Trichodina* sp.) y Cayumapu (un pez). 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. En tres peces no salió incluido tejido gástrico en los cortes realizados.

Ciegos pilóricos/intestino

En 23 de los 30 peces examinados microscópicamente, no se encontraron lesiones histopatológicas a nivel intestinal; un ejemplar presentó un parásito no identificable (sector Calle Calle), un pez presentó *Trichodina* sp. en intestino, (sector Ciruelos) dos ejemplares evidenciaron leve inflamación intestinal de tipo mononuclear (sector Ciruelos). En tres peces no salió incluido tejido intestinal en los cortes histológicos.

Bazo

De los 30 peces examinados microscópicamente, seis ejemplares no evidenciaron lesiones en el bazo, dos peces presentaron nódulos sideróticos (sector Pichoy) y en 22 Puyes no se encontró tejido esplénico en los cortes histológicos realizados. Al igual que lo observado en riñón, la presencia de nódulos sideróticos 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, ninguno evidenció lesiones musculares tales como hemorragia, degeneración, inflamación o necrosis.

Gónadas

En 29 de los 30 peces examinados microscópicamente, se logró observar gónadas, encontrándose 23 testículos y 6 ovarios; en un pez no se encontró tejido gonadal en las láminas histológicas. En cuatro peces se encontraron testículos activos, con espermatozoides (sectores Pichoy, Punucapa y Cayumapu).

Tabla 4. Identificación parasitaria histopatológica en Puyes durante la campaña del otoño 2018, 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 *Trichodina* sp.
Ciruelos	Branquia	Protozoo ciliado *Ichthyophthirius multifilis*
Ciruelos	Cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, familia Diplostomidae
Ciruelos	Intestino	Protozoo ciliado Trichodínico
Ciruelos	Branquia	Protozoo ciliado *Trichodina* sp.
Ciruelos	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, familia Diplostomidae
Calle Calle	Estómago	Estructura no identificable
Calle Calle	Branquia	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Calle Calle	branquia	Protozoo ciliado *Trichodina* sp.
Calle Calle	branquia	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Calle Calle	Branquia	Protozoo ciliado *Ichthyophthirius multifilis*
Calle Calle	Branquia	Protozoo ciliado *Trichodina* sp.
Rucaco	Branquia	Trematodo, Clase Monogenea, Familia Ancyrocephalidae
Rucaco	hígado	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Rucaco	riñón	Estructura no identificable
Rucaco	branquia	Trematodo, Clase Monogenea, Familia Ancyrocephalidae
Rucaco	branquia	Protozoo ciliado *Trichodina* sp.
Rucaco	branquia	Protozoo ciliado *Ichthyophthirius multifilis*
Rucaco	cavidad abdominal	Estructura no identificable
Rucaco	branquia	Protozoo ciliado *Ichthyophthirius multifilis*
Rucaco	branquia	Protozoo ciliado *Ichthyophthirius multifilis*
Rucaco	Branquia	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Pichoy	branquia	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Pichoy	branquia	Protozoo ciliado *Trichodina* sp.

Pichoy	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Pichoy	hígado	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Pichoy	meninges	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Pichoy	branquia	Protozoo ciliado *Trichodina* sp.
Pichoy	branquia	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Pichoy	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Pichoy	páncreas	Nematodo, Familia Anisakidae, estadios larvarios enquistados
Pichoy	piel	Estructura no identificable
Pichoy	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Pichoy	cavidad abdominal	Estructura no identificable
Pichoy	piel	Estructura no identificable
Punucapa	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Punucapa	cavidad abdominal	Nematodo, Familia Anisakidae, estadios larvarios enquistados
Punucapa	branquia	Protozoo ciliado *Trichodina* sp.
Punucapa	páncreas	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Punucapa	branquia	Protozoo ciliado *Trichodina* sp.
Punucapa	branquia	Trematodo, Clase Monogenea, Familia Ancyrocephalidae
Punucapa	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Punucapa	cavidad abdominal	Nematodo, Familia Anisakidae, estadios larvarios enquistados
Punucapa	branquia	Trematodo, Clase Monogenea, Familia Ancyrocephalidae
Punucapa	cavidad abdominal	Nematodo, Familia Anisakidae, estadios larvarios enquistados
Punucapa	branquia	Trematodo, Clase Monogenea, Familia Ancyrocephalidae
Punucapa	cavidad abdominal	Nematodo, Familia Anisakidae, estadios larvarios enquistados
Punucapa	meninges	Estructura no identificable
Cayumapu	cavidad abdominal	Nematodo, Familia Anisakidae, estadios larvarios enquistados
Cayumapu	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria
Cayumapu	meninges	Estructura no identificable
Cayumapu	ojo	Estructura no identificable
Cayumapu	branquia	Trematodo, Clase Monogenea, Familia Ancyrocephalidae
Cayumapu	páncreas	Trematodo, Clase Digenea, metacercaria

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 cinco campañas otoñales hasta ahora realizadas durante los años 2014 a 2018. 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).

La Tabla 6 muestra que en las cinco 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, 2016, 2017 y 2018. Respecto de alteraciones histopatológicas en las cinco campañas otoñales no se detectó lesiones indicativas de cuadro infeccioso o tóxico en los tejidos analizados. El desarrollo gonadal observado durante el otoño 2018 corresponde, en parte, al de testículos activos, lo que 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 2017 fue más temprano que en los años anteriores (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, 2015, 2016, 2017 y 2018, 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**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**
Ciruelos	Si	Si	No	Si	No	No	Si	Si	Si	Si	No	No	No	Si	No
Rucaco	No	Si	Si	No	No	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	Si	Si	Si
Punucapa	No	No	Si	No	Si	No	Si	Si	Si	Si	No	No	No	No	No
Pichoy	Si	Si	No	No	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	No	Si
Cayumapu	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	No
Calle Calle	No	Si	Si	No	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	No	No	No

sectores	**riñón**					**Páncreas**					**corazón**				
	2014	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**
Ciruelos	Si	Si	No	Si	No	Si	No	No	No	No	No	No	Si	No	No
Rucaco	No	No	Si	No	Si	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Punucapa	No	No	No	No	No	No	Si	Si	No	Si	No	Si	No	No	No
Pichoy	Si	No	No	No	No	No	Si	No	No	Si	No	Si	No	No	No
Cayumapu	No	Si	No	No	No	No	Si	Si	No	Si	No	No	Si	No	No
Calle Calle	No	No	No	No	No	No	Si	No	No	No	No	Si	No	No	No

Continuación **Tabla 5.**

sectores	Branquia					estómago					ciegos pilóricos intestino				
	2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Ciruelos	No	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	No	No	Si	Si	No	No	Si
Rucaco	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	No	No	No	Si	No	Si	Si	No
Punucapa	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	No	No	No	Si	Si	No	No	No
Pichoy	No	Si	Si	Si	Si	No	No	No	Si	No	Si	Si	No	Si	No
Cayumapu	Si	Si	Si	No	Si	Si	No	No	No	No	Si	No	No	No	No
Calle Calle	No	Si	Si	Si	Si	No	No	No	No	No	No	Si	No	No	Si

sectores	musculatura				
	2014	2015	2016	2017	2018
Ciruelos	No	No	No	No	No
Rucaco	No	No	No	No	No
Punucapa	No	No	No	No	No
Pichoy	No	No	No	No	No
Cayumapu	No	Si	Si	No	No
Calle Calle	No	No	No	No	No

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 y 2018.

hallazgo de:	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**
virus IPN	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
Hongos (micosis)	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
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
desarrollo gonadal	actividad reproductiva normal	actividad reproductiva normal	actividad reproductiva normal	Testículos inactivos	Actividad reproductiva normal

4.2.5.5. Conclusiones

- Durante el período 2014-2018, la fauna de peces de las riberas del área de estudio ha estado principalmente representada por especies nativas (*ca*. 63-80%).
- Los valores más altos de abundancia total ocurrieron en el sector Ciruelos durante la campaña de primavera del año 2014 y en el sector de Rucaco en la campaña de otoño del año 2018. Por el contrario, el río Pichoy, presenta una tendencia donde la mayor abundancia de peces, se observa en las campañas otoñales diminuyendo en las campañas primaverales en los años 2014-2018.
- Las abundancias más altas de *Galaxias maculatus* (la especie más común en las riberas del área de estudio), se observaron en las riberas del río Cruces, específicamente en los sectores de Ciruelos en otoño del año 2016 y Rucaco en otoño del año 2018, mientras que las más bajas ocurrieron en los ríos Pichoy, Cayumapu y Calle Calle.
- Las abundancias más altas de *Gambusia affinis* (la segunda especie de mayor abundancia en el área), se estimaron en el río Pichoy durante las campañas de otoño y primavera del año 2018.
- En el año 2018, la talla corporal más alta de *G. maculatus* se observó en el sector Rucaco (campaña otoñal) y la menor en el sector Ciruelos (campaña primaveral). En el sector Rucaco y río Pichoy los tamaños corporales de los puyes aumentaron desde la campaña de otoño a primavera. En ese mismo sentido se evidenció una disminución del número de especímenes recolectados en los sectores de Ciruelos, Rucaco y río Calle Calle.
- Durante el año 2018, se mantuvo la tendencia observada en cuanto a concentraciones de metales pesados en los tejidos de los puyes: el Hierro, Aluminio y Zinc, fueron los metales más representativos.
- Cadmio y Arsénico no se han detectado en los tejidos de los puyes examinados.
- El Cobre fue detectado en los tres sectores durante el año 2016. En Ciruelos de igual forma se detectó en el año 2018; en Rucaco sólo durante el año 2016 y en el río Calle Calle, se presentó en todas las campañas, salvo durante el otoño 2015.

- El Plomo fue detectado en todas las campañas entre los años 2014 a 2018 y en los tres sectores (Ciruelos, Rucaco y Calle Calle), en donde en el sector Chumpullo se observó un aumento de su concentración en los años 2017 y 2018.
- El Mercurio fue detectado en los puyes analizados durante todas las campañas, a diferencia del Cadmio y Arsénico que han estado ausentes desde la primera campaña.
- No se han detectado Ácidos resínicos en puyes estudiados desde el año 2014.
- Las concentraciones de AOX en los puyes durante el año 2018, fueron mayores que el año 2017. En algunas comparaciones entre sectores en el último año, los puyes del río Calle Calle tuvieron más AOX que los sectores de Ciruelos y Rucaco.
- Las concentraciones de Dioxinas en los tejidos de puyes fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante la campaña otoñal del año 2017. En el año 2018, se observa una tendencia general en el aumento de estas en peces del río Calle Calle comparado con los sectores de Ciruelos y Rucaco, los que no difieren entre si.
- En el año 2018, las concentraciones de Furanos fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en especímenes recolectados en el río Calle Calle y las más bajas en los capturados en el sector Ciruelos.
- Las concentraciones de Equivalentes tóxicos (EQTs) presentes en tejidos de puyes, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en ejemplares capturados durante las campañas otoñales de los años 2017 y 2018, particularmente los provenientes del río Calle Calle en comparación con los otros años estudiados.
- La Dioxina 2.3.7.8-TCDD, se detectó en los tres sectores en los años 2017 y 2018. En el río Calle Calle presentaron las mayores concentraciones en comparación con los sectores de Ciruelos y Rucaco.
- La Dioxina 1.2.3.7.8 PCDD, a sido detectada en especímenes capturados en todos los años exceptuando el año 2015 pero no en la totalidad de los sectores estudiados. En el año 2018, sólo se evidenció en el río Calle Calle.
- Las comparaciones en los Puyes recolectados durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018, muestran leves variaciones en la presencia de diferentes géneros de parásitos en especímenes aparentemente sanos.

- En las cinco campañas otoñales hasta ahora realizadas, las parasitosis evidenciadas a nivel branquial por *Dactylogyrus* sp. (trematodo monogéneo), *Ichthyophthirius* sp. (protozoo ciliado) y *Trichodina* sp. (protozoo ciliado) son las de mayor presencia en los Puyes, tanto dentro como fuera del humedal.
- Es interesante destacar que al igual que en las campañas de los años 2016 y 2017, en el sector Cayumapu y ahora en el sector Punucapa, se encontraron ejemplares de Nematodo de la Familia Anisakidae, parásitos capaces de producir enfermedades en humanos (zoonosis), al consumirse peces parasitados no suficientemente cocidos.
- No se observaron lesiones macro ni microscópicas indicativas de un cuadro infeccioso bacteriano o viral específico en los peces examinados.
- No se detectaron micosis externas ni internas en los peces examinados.
- En dos Puyes del sector Calle Calle, respecto del total de 30 examinados, se observó leve degeneración hepática, sugerente de la acción de un irritante leve a moderado o de una mayor exigencia metabólica del hígado. En el resto de los peces analizados no se observaron lesiones microscópicas indicativas de trastornos degenerativos o carenciales.
- Los Puyes examinados se encuentran en un estado sanitario en equilibrio respecto de los parásitos detectados en branquias e hígado, dado la ausencia de manifestaciones clínicas de enfermedad en estos órganos. Además, no fueron detectados agentes bacterianos, fúngicos y virales indicadores.

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.

Bravo, S., C. Almonacid, C. Oyarzo, M.T. Silva. 2007. The parasite fauna of Galaxias maculatus in the estuary of Maullin River, Chile. Bulletin of the European Association of Fish Pathologists 27: 10-17.

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/

Coleman, R.A., A.A. Hoffmann. 2016. Digenean trematode cysts within the heads of threatened Galaxiella species (Teleostei: Galaxiidae) from south-eastern Australia. Australian Journal of Zoology 64: 285–291.

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., 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, 2018). 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).

Desde el punto de vista ecosistémico, los anfibios y reptiles son de especial interés debido a su gran sensibilidad a pequeños cambios ambientales. Esta 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 este grupo animal 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).

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 Cuarto Año del Programa de Monitoreo Ambiental de este humedal.

4.2.6.2. Objetivos

- Determinar, sobre la base de campañas de terreno realizados durante la primavera del año 2018, 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 la campaña primaveral del año 2018, con aquellos obtenidos durante el Programa de Diagnóstico Ambiental (año 2014) y durante el Primer, Segundo y Tercer Año (2015, 2016 y 2017, 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.

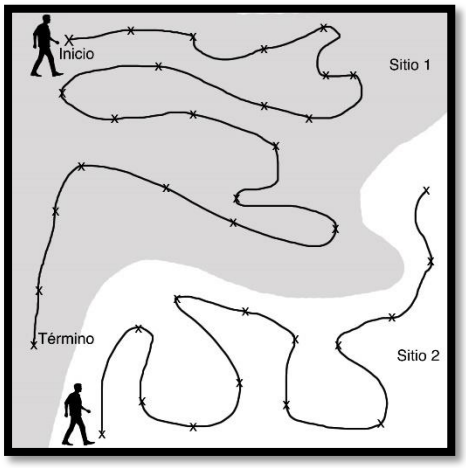


Figura 4.2.6.1. Esquema del método de búsqueda aleatoria para recolección de anfibios y reptiles, mediante transectos al azar en un área determinada (modificado de Heyer *et al.,* 2001).

Las campañas de terreno realizadas durante el el Cuarto Año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, se llevaron a cabo entre los días 18 y 24 de octubre del año 2018. 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.

Se utilizó el programa EstimateS 9.1 (Colwell, 2013) para los datos de riqueza y abundancia relativa de especies, y se calcularon los índices de Simpson, Pielou y Shannon-Weaver. Todas las mediciones fueron de acuerdo con lo descrito en el Informe Final del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 2015, sección 4.9.

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 diversidad más ampliamente utilizados son (1) el Índice de Shannon-Weaver (H') y (2) el Índice de Simpson (D).

El índice de Simpson (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.

Índices de Equidad

Si todas las especies en una muestra presentan la misma abundancia, el índice usado para medir la equidad debería ser máximo y, por lo tanto, debería decrecer tendiendo a cero a medida que las abundancias relativas se hagan menos equitativas. Para cuantificar

el componente de equidad de la diversidad de anfibios y reptiles se usó el Índice de Pielou (J'), uno de los índices más utilizados en donde:

$$J' = H'/H'max$$

Donde:

H' = índice de Shannon-Weaver

(H'max)= Ln (r), siendo r el número de especies observadas en la muestra.

4.2.6.4. Resultados

Riqueza y abundancia de anfibios y reptiles

En la Tabla 4.2.6.1 se muestran los resultados obtenidos sobre riqueza y abundancia de anfibios y reptiles encontrados en la zona de estudio durante la campaña de la primavera del año 2018. La riqueza fue de seis especies de anfibios, mientras que la de reptiles fue de dos especies, correspondiente ambas al 66% respectivamente del total esperado para la zona de estudio (nueve especies de anfibios, tres especies de reptiles).

La especie de anfibio más abundante fue *Batrachyla taeniata* (37,0% del total prospectado), a la vez que las especies menos abundantes fueron *Eupsophus vertebralis* y *Batrachyla leptopus*. Con respecto a los reptiles, se determinaron dos de las tres especies de reptiles conocidas para el área, siendo *L. cyanogaster* la especie más abundante (8,1%) (Tabla 4.2.6.1).

Tabla 4.2.6.1. Número total de especímenes de anfibios y reptiles en el área de estudio durante la primavera del año 2018. Se señala además la abundancia relativa (ARp) de cada especie.

Taxón	primavera 2018	ARp (%)
Anfibios		
Batrachyla leptopus	5	4,0
Batrachyla taeniata	46	37,0
Eupsophus vertebralis	4	3,2
Eupsophus roseus	17	13,7
Calyptocephalella gayi	26	20,9
Pleurodema thaul	7	5,6
Reptiles		
Liolaemus pictus	9	7,2
Liolaemus cyanogaster	10	8,1

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 2018 se muestra en la Tabla 4.2.6.2 y la de reptiles en la Tabla 4.2.6.3.

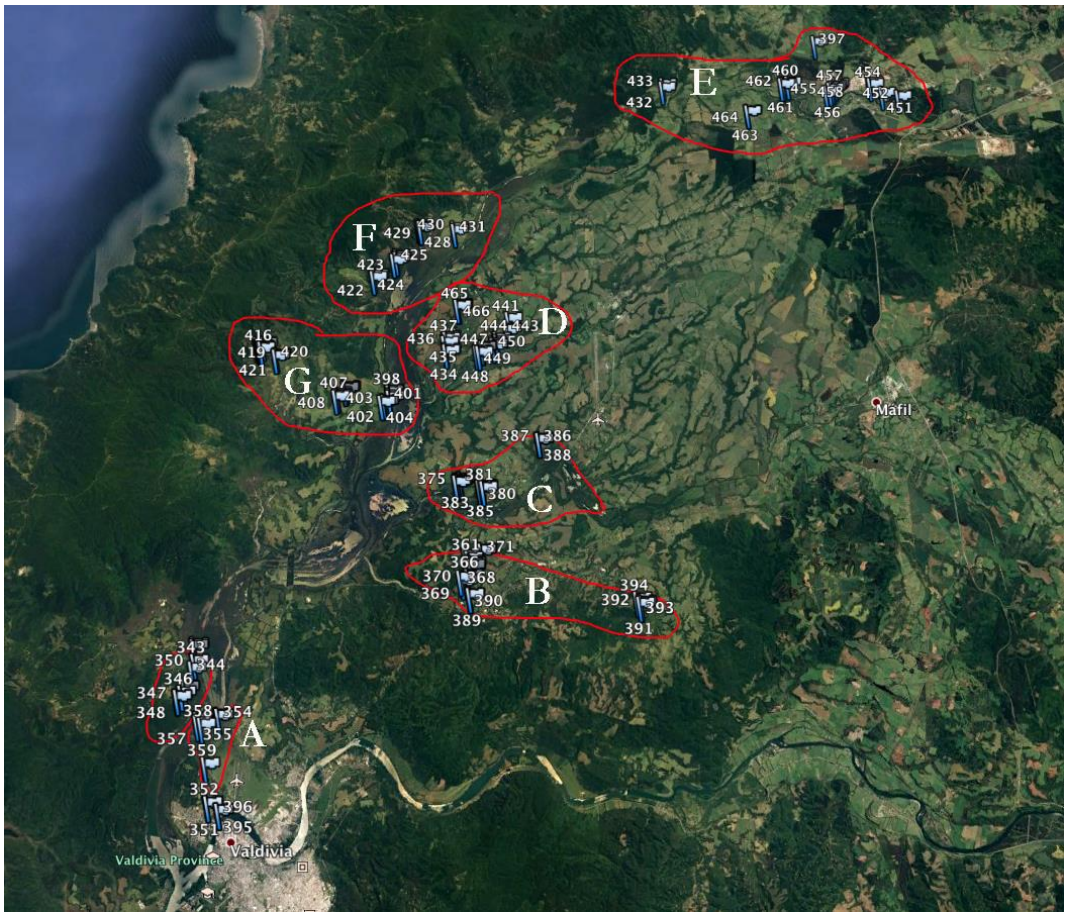


Figura 4.2.6.2. Ubicación de las ocho áreas de muestro (A-H) de anfibios y reptiles en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios. A: sector Las Marías B: sector río Cayumapu, C: sector río Pichoy, D: sector ríos Nanihie - Cudico, E: sector San José de la Mariquina, F: sector río San José, G: sector río Santa María, H: sector Punucapa.

La mayor abundancia de anfibios se presentó en la zona G (sector río Santa María) con 51 especímenes, mientras que en la zona F (sector río San José) no se recolectaron especímenes (Tabla 4.2.6.2). Los mayores avistamientos de reptiles ocurrieron en la zona G (sector río Santa María) al igual que en la primavera del año 2017; por otra parte, no se avistaron reptiles en las zonas C (sector río Pichoy), D (sector río Cudico-Nanihue), E (sector San José de la Mariquina) y F (sector río San José) (Tabla 4.2.6.3).

Tabla 4.2.6.2. Riqueza y abundancia de especies de anfibios registradas durante la primavera del año 2018 en el área de estudio.

Especie	A	B	C	D	E	F	G	H	Total
Batrachyla taeniata	16	0	1	1	9	0	19	0	46
Batrachyla leptopus	1	0	0	0	0	0	4	0	5
Eupsophus roseus	0	0	0	1	0	0	14	2	17
Eupsophus vertebralis	0	0	0	0	0	0	0	4	4
Pleurodema thaul	0	0	0	0	0	0	7	0	7
Calyptocephalella gayi	10	7	0	2	0	0	7	0	26
Total	27	7	1	4	9	0	51	6	105

Tabla 4.2.6.3. Riqueza y abundancia de especies de reptiles registradas durante la primavera del año 2018 en el área de estudio.

Especie	A	B	C	D	E	F	G	H	Total
Liolaemus pictus	1	2	0	0	0	0	5	1	9
Liolaemus cyanogaster	0	0	0	0	0	0	10	0	10
Total	1	2	0	0	0	0	15	1	19

Las Tablas 4.2.6.4 y 4.2.6.5 muestran los valores de los índices de diversidad de Shannon y de Simpson estimados. El valor del Indice de diversidad de Shannon para la primavera 2018 fue de H' = 1,763.

Tabla 4.2.6.4. Índice de diversidad específica de Shannon- Wiener (H'), para la campaña primaveral del año 2018.

Especie	n_i	P_i (n_i/N)	LnP_i	P_iLnP_i
Batrachyla taeniata	46	0,3710	-0,9916	-0,3679
Batrachyla leptopus	5	0,0403	-3,2108	-0,1295
Eupsophus roseus	17	0,1371	-1,9871	-0,2724
Eupsophus vertebralis	4	0,0323	-3,4340	-0,1108
Calyptocephalella gayi	26	0,2097	-1,5622	-0,3276
Pleurodema thaul	7	0,0565	-2,8744	-0,1623
Liolaemus pictus	9	0,0726	-2,6231	-0,1904
Liolaemus cyanogaster	10	0,0806	-2,5177	-0,2030
				H' = 1,763

Dado que conceptualmente el índice H' es una medida del grado de incertidumbre asociada a la selección aleatoria de un individuo en el muestreo (Pla, 2006), si una comunidad de S especies es muy homogénea, por ejemplo, porque existe una especie claramente dominante y las restantes S-1 especies apenas presentes, el índice será más bajo que si todas las S especies fueran igualmente abundantes. En este sentido, los resultados de primavera muestran claramente que la comunidad de anfibios y reptiles tiende a ser homogénea, dominado por la rana *Batrachyla taeniata* (Tabla 4.2.6.2), aunque con presencia significativa de otras especies como *Calyptocephalella gayi* y *Eupsophus roseus.*

Durante la campaña primaveral del año 2018, el valor del Indice de Simpson fue de D' = 0,218 (Tabla 4.2.6.5), lo que está claramente relacionado con la mayor abundancia relativa de *B. taeniata*, es decir, en un muestreo al azar hay una alta probabilidad de encontrar esta especie.

De este modo, el índice J' para la fauna de anfibios y reptiles recolectada durante la campaña de primavera del 2018 fue de 1,763/2,079= 0,8481. Este valor indica que el valor de H' fue menor al esperado de acuerdo con las especies presentes en el área de estudio, probablemente causado por dos especies no avistadas (*Tachymenis chilensis* y *Eupsophus altor*), durante la presente campaña.

Tabla 4.2.6.5. Parámetros utilizados en la estimación del Índice de diversidad específica de Simpson (D'), para la campaña primaveral del año 2018.

Especie	n_i	P_i (n_i/N)	P_i2
Batrachyla taeniata	46	0,3710	0,1376
Batrachyla leptopus	5	0,0403	0,0016
Eupsophus roseus	17	0,1371	0,0188
Eupsophus vertebralis	4	0,0323	0,0010
Calyptocephalella gayi	4	0,2097	0,0440
Pleurodema thaul	26	0,0565	0,0032
Liolaemus pictus	7	0,0726	0,0053
Liolaemus cyanogaster	9	0,0806	0,0065
			D' = 0,218

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 2018 con las campañas del Programa de Diagnóstico Ambiental (otoño y primavera del año 2014) y aquellos resultados del Primer, Segundo y Tercer Año del Programa de Monitoreo del HRC (primavera del año 2015; otoño y primavera de 2016 y 2017). Los resultados se muestran en la Tabla 4.2.6.6.

De la Tabla 4.2.6.6., puede inferirse que las especies más abundantes en el HRC son hasta ahora *Batrachyla taeniata* con 388 individuos y *Calyptocephalella gayi* con 193

individuos capturados. Ambas especies representan cerca del 81,03% del total de anfibios prospectados en el HRC. Por su parte, *Liolaemus cyanogaster* representa la especie más abundante en el caso de los reptiles, con 74 individuos (62,7% del total), a pesar de su baja abundancia durante la presente campaña.

Al comparar por estaciones, se evidencian diferencias en la abundancia total de especímenes encontrados, en las abundancias relativas de cada especie y en el índice de diversidad de Shannon-Weaver. En el caso de los reptiles, estas diferencias están claramente relacionadas con la menor o nula actividad de estos animales en otoño, dada principalmente por el descenso de la temperatura ambiental. Con respecto a los anfibios, las diferencias estacionales podrían estar dadas por sus épocas reproductivas. Ejemplo de esto, es *C. gayi*, cuya mayor actividad 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. 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. Tanto en primavera como en otoño, es la especie más abundante

Tabla 4.2.6.6. Comparaciones de la riqueza y abundancia de anfibios y reptiles entre la campaña de 2018 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, respectivamente). o = otoño; p = primavera.

Taxón	o2014	p2014	p2015	o2016	p2016	o2017	p2017	p2018	Total
Anfibios									
Batrachyla leptopus	2	10	1	1	0	2	8	5	**29**
Batrachyla taeniata	20	120	72	35	39	23	33	46	**388**
Calyptocephalella gayi	0	30	106	0	12	0	19	26	**193**
Eupsophus altor	0	5	1	1	0	1	0	0	**8**
Eupsophus roseus	7	7	2	3	16	2	4	17	**58**
Eupsophus vertebralis	0	1	0	0	2	0	0	4	**7**
Pleurodema thaul	3	5	0	2	16	0	1	7	**34**
Reptiles									
Liolaemus cyanogaster	3	31	18	0	11	0	1	10	**74**
Liolaemus pictus	7	2	12	0	1	0	9	9	**40**
Tachymenis chilensis	0	1	1	1	1	0	0	0	**4**
Total	**42**	**212**	**213**	**45**	**98**	**28**	**75**	**124**	**837**
Índice H'	**0,999**	**1,361**	**1,133**	**0,731**	**1,634**	**0,719**	**1,662**	**1,763**	

En la Tabla 4.2.6.7 se muestran los resultados de las comparaciones por sector de todas las campañas realizadas hasta ahora. Se observa que los sectores con mayor abundancia de anfibios y reptiles fueron el sector G (río Santa María) con 256 especímenes en total y el sector B (sector río Cayumapu) con 118 especímenes. El sector con menor abundancia corresponde al sector H (sector Punucapa) que presenta la menor riqueza y abundancia de anfibios y reptiles, debido probablemente a que es una zona altamente urbanizada a orillas del Río Cruces. El sector del río Santa María - aunque altamente intervenido por la ganadería - tiene varios parches de bosque nativo donde fue posible observar la mayoria de los especímenes de *Eupsophus roseus* y *Pleurodema thaul*.

Tabla 4.2.6.7. 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**
Total	**115**	**118**	**88**	**52**	**76**	**97**	**256**	**35**	**837**

Cambios en el uso del suelo

A lo largo de las campañas de los Programas de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC, se ha observado un progresivo cambio en el uso de suelo (Anexo 3). Este tipo de intervención antrópica, ha provocado en algunos casos (como en el sector Santa María), la desaparición de hábitats acuáticos, en particular para *Calyptocephalella gayi*. En otros casos, se advierte el aumento de microbasurales y la construcción de viviendas a orillas del humedal. 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 (Nuñez *et al*., 2019). Los datos registrados en el presente informe son evidencia empírica de cómo el cambio de cobertura terrestre afecta a este grupo de vertebrados.

4.2.6.5. Conclusiones

• La comunidad de anfibios del HRC está dominada por *Batrachyla taeniata* y *Calyptocephalella gayi*. 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. Tal es así, que individuos de esta especie fueron encontrados hasta en sectores de extracción y procesamiento de áridos como bajo neumáticos abandonados.

• *Eupsophus altor* y *Eupsophus vertebralis* (esta última especie encontrada en la prospección de la primavera del año 2014, del año 2016 y del 2018), fueron las especies menos abundantes seguidas de *Pleurodema thaul*. Para el caso de las especies del género *Eupsophus* esto es esperable, dado que estas son típicas de zonas boscosas o ecotonales, con baja intervención antrópica y ausencia de ganado.

• En reptiles, la abundancia de *L. pictus* fue mayor que en las prospecciones anteriores, aunque *L. cyanogaster* sigue representando la especie más abundante.

• No se detectó la presencia de la Tortuga de orejas rojas (*Trachemys scripta*) en el HRC.

• Las variaciones en el tiempo, desde las campañas del Programa de Diagnóstico hasta la presente campaña (2018), dan cuenta de una marcada diferencia 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 mas bien estacionales que relacionadas a un eventual 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

4.2.6.6. Referencias

Attademo, A.M., P.M. Peltzer, R.C. Lajmanovich, C. Junges, A. Basso, M. Cabagna-Zenklusen. 2012. Trombiculid mites (*Hannemania* sp.) in *Leptodactylus chaquensis* (Amphibia: Anura) inhabiting selected soybean and rice agroecosystems of Argentina. Journal of Zoo and Wildlife Medicine 43: 579-584.

Baillie, J.E.M., Hilton-Taylor, C. and Stuart, S.N. (Editors) 2004. 2004 IUCN Red List of Threatened Species. A Global Species Assessment. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. xxiv + 191 pp.

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. 2018. 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.

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.

Nuñez, J.J., Olivares. A.P., González, N.I., y Contreras-Carrillo, C. 2019. Anfibios de la Cordillera de la Costa Valdiviana: diversidad, vulnerabilidad y estrategias de conservación (Amphibians of the Valdivian coastal range: diversity, vulnerability and conservation strategies). Historia, Biodiversidad y Ecología de los Bosques Costeros de Chile. Editorial Universitaria, Santiago. 2º EDICIÓN

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.

Pla, L. 2006. Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. Interciencia 31 (8).

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.

ANEXO 1

Listado de los especímenes encontrados durante la campaña de primavera 2018 con sus respectivas coordenadas, fecha y abundancia de cada especie. Bl: *Batrachyla leptopus*, Bt: *Batrachyla taeniata*, Er: *Eupsophus roseus*, Cg: *Calyptocephalella gayi*, Pt: *Pleurodema thaul*, Lp: *Liolaemus pictus*, Lc: *Liolaemus cyanogaster*. Las zonas corresponden a aquellas indicadas en la Figura 4.2.6.2.

Fecha	Punto	Coordenadas		Bl	Bt	Cg		Er	Ev	Pt	Lc	Lp
22/10/2018	571	-73.270600	-39.777700	-	-	-		1	3	-	-	-
22/10/2018	572	-73.270600	-39.777800	-	-	-		-	-	-	-	1
22/10/2018	573	-73.270300	-39.777700	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	574	-73.269500	-39.777300	-	-	-		-	1	-	-	-
22/10/2018	575	-73.270400	-39.777000	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	576	-73.268700	-39.775600	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	577	-73.267400	-39.774900	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	578	-73.268700	-39.776100	-	-	-		1	-	-	-	-
22/10/2018	579	-73.266200	-39.774100	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	580	-73.265700	-39.773900	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	581	-73.265300	-39.773900	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	582	-73.262600	-39.770400	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	583	-73.262200	-39.768200	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	584	-73.261600	-39.767800	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	585	-73.260600	-39.761700	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	586	-73.261400	-39.757900	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	587	-73.261800	-39.757600	-	3	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	588	-73.248900	-39.781500	-	1	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	589	-73.248700	-39.781700	1	5	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	590	-73.249700	-39.781600	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	591	-73.250100	-39.781400	-	4	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	592	-73.257500	-39.782400	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	593	-73.258600	-39.783400	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	594	-73.259000	-39.783600	-	1	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	595	-73.259000	-39.783700	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	596	-73.258500	-39.783900	-	1	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	597	-73.256200	-39.785200	-	-	5		-	-	-	-	-
22/10/2018	598	-73.256000	-39.785800	-	-	4		-	-	-	-	-
22/10/2018	599	-73.255500	-39.784300	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	600	-73.252000	-39.794800	-	-	-		-	-	-	-	-

22/10/2018	601	-73.249500	-39.797100	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	602	-73.247900	-39.800000	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	603	-73.247900	-39.799900	-	-	1		-	-	-	-	-
22/10/2018	604	-73.249300	-39.800000	-	1	-		-	-	-	-	1
22/10/2018	605	-73.179300	-39.730000	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	606	-73.139700	-39.740700	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	607	-73.141100	-39.730000	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	608	-73.140800	-39.734000	-	-	-		-	-	-	-	1
22/10/2018	609	-73.141000	-39.733700	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	610	-73.141200	-39.733900	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	611	-73.143200	-39.734900	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	612	-73.142600	-39.735200	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	613	-73.140400	-39.729100	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	614	-73.139800	-39.729500	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	615	-73.139800	-39.730100	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	616	-73.140200	-39.729900	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	617	-73.142200	-39.726800	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	618	-73.142300	-39.726500	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	619	-73.135300	-39.725200	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	620	-73.135300	-39.725200	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	621	-73.135000	-39.724900	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	622	-73.137000	-39.722400	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	623	-73.141300	-39.728000	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	624	-73.140900	-39.728000	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	625	-73.140100	-39.742400	-	-	3		-	-	-	-	-
22/10/2018	626	-73.063300	-39.743300	-	-	4		-	-	-	-	-
22/10/2018	627	-73.063600	-39.743000	-	-	-		-	-	-	-	1
22/10/2018	628	-73.063900	-39.743500	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	629	-73.064000	-39.743800	-	-	-		-	-	-	-	-
22/10/2018	630	-73.065700	-39.741600	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	631	-73.238100	-39.649300	-	-	-		-	-	-	7	1
23/10/2018	632	-73.238100	-39.649900	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	633	-73.241400	-39.650000	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	634	-73.243200	-39.649500	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	635	-73.240800	-39.650500	-	-	-		-	-	-	-	1
23/10/2018	636	-73.240900	-39.650400	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	637	-73.239500	-39.650800	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	638	-73.239500	-39.651100	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	639	-73.232500	-39.654000	-	-	-		-	-	-	3	-

23/10/2018	640	-73.231800	-39.653400	-	2	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	641	-73.232400	-39.654800	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	642	-73.179600	-39.667400	-	1	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	643	-73.179500	-39.667000	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	644	-73.179400	-39.666800		1	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	645	-73.179200	-39.667500	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	646	-73.179400	-39.669100	-	-	4		-	-	-	-	-
23/10/2018	647	-73.179500	-39.669600	-	-	3		-	-	-	-	-
23/10/2018	648	-73.180500	-39.669700	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	649	-73.181200	-39.671000	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	650	-73.180800	-39.670800	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	651	-73.181300	-39.671200	-	1	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	652	-73.203000	-39.667900	-	-	-		-	-	-	-	1
23/10/2018	653	-73.203200	-39.668300	-	1	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	654	-73.203600	-39.668200	-	2	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	655	-73.203000	-39.668700	1	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	656	-73.203000	-39.668700	1	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	657	-73.203200	-39.669000	-	2	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	658	-73.199400	-39.665900	-	1	-		1	-	-	-	-
23/10/2018	659	-73.199300	-39.665700	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	660	-73.199500	-39.665800	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	661	-73.191500	-39.665000	-	-	-		2	-	-	-	-
23/10/2018	662	-73.191800	-39.665000	-	-	-		4	-	-	-	-
23/10/2018	663	-73.192200	-39.665300	-	1	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	664	-73.192500	-39.666000	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	665	-73.192400	-39.665800	-	-	-		2	-	-	-	-
23/10/2018	666	-73.192200	-39.665600	-	1	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	667	-73.191400	-39.665500	-	-	-		5	-	-	-	-
23/10/2018	668	-73.191000	-39.665600	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	669	-73.188600	-39.624200	1	1	-		-	-	4	-	-
23/10/2018	670	-73.188400	-39.623900	-	-	-		-	-	-	-	2
23/10/2018	671	-73.188400	-39.624000	-	-	-		-	-	2	-	-
23/10/2018	672	-73.188100	-39.624100	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	673	-73.187900	-39.624200	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	674	-73.188600	-39.623000	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	675	-73.182900	-39.619800	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	676	-73.180000	-39.617900	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	677	-73.180000	-39.617800	-	1	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	678	-73.179400	-39.617500	-	-	-		-	-	-	-	-

23/10/2018	679	-73.177900	-39.615900	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	680	-73.170600	-39.607100	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	681	-73.167800	-39.604400	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	682	-73.167800	-39.604400	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	683	-73.168200	-39.603800	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	684	-73.151100	-39.605300	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	685	-73.151600	-39.605700	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	686	-73.150600	-39.605200	1	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	687	-73.149600	-39.603800	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	688	-73.114500	-39.571500	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	689	-73.052100	-39.546500	-	1	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	690	-73.050700	-39.552000	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	691	-73.053300	-39.548100	-	1	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	692	-73.053500	-39.548200	-	2	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	693	-72.941200	-39.546500	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	694	-72.940800	-39.546500	-	-	-		-	-	1	-	-
23/10/2018	695	-72.940800	-39.546500	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	696	-72.941200	-39.546600	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	697	-72.951900	-39.547200	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	698	-72.951900	-39.545900	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	699	-72.951500	-39.546400	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	700	-72.973000	-39.549600	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	701	-72.973000	-39.549900	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	702	-72.971500	-39.548600	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	703	-72.970300	-39.548000	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	704	-72.969800	-39.547700	-	6	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	705	-72.969700	-39.546900	-	1	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	706	-72.969200	-39.546400	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	707	-72.994200	-39.546400	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	708	-72.994900	-39.546600	-	1	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	709	-72.995100	-39.546900	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	710	-72.991900	-39.545800	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	711	-73.011200	-39.557700	-	1	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	712	-73.011600	-39.557600	-	-	-		-	-	-	-	-
23/10/2018	713	-73.011500	-39.557700	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	714	-73.124900	-39.640100	-	-	1		-	-	-	-	-
24/10/2018	715	-73.125100	-39.640000	-	-	1		-	-	-	-	-
24/10/2018	716	-73.154300	-39.648700	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	717	-73.154100	-39.648300	-	-	-		-	-	-	-	-

24/10/2018	718	-73.154000	-39.647800	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	719	-73.153700	-39.647600	-	1	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	720	-73.153900	-39.646900	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	721	-73.152700	-39.651000	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	722	-73.153000	-39.651400	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	723	-73.125400	-39.643800	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	724	-73.125500	-39.643700	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	725	-73.130500	-39.647600	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	726	-73.130600	-39.648400	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	727	-73.131500	-39.648800	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	728	-73.130600	-39.648800	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	729	-73.131600	-39.650200	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	730	-73.138500	-39.652600	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	731	-73.138200	-39.652700	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	732	-73.139000	-39.652500	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	733	-73.139300	-39.652700	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	734	-73.132900	-39.651100	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	735	-73.131600	-39.650600	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	736	-73.148600	-39.635100	-	-	-		1	-	-	-	-
24/10/2018	737	-73.148800	-39.635200	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	738	-73.110100	-39.685100	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	739	-73.147300	-39.700800	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	740	-73.146600	-39.700400	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	741	-73.146400	-39.700300	-	1	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	742	-73.145700	-39.699700	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	743	-73.145500	-39.699800	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	744	-73.144800	-39.699400	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	745	-73.144400	-39.699100	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	746	-73.134900	-39.702700	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	747	-73.135700	-39.702800	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	748	-73.136500	-39.702300	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	749	-73.136700	-39.702500	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	750	-73.135200	-39.702100	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	751	-73.134900	-39.702000	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	752	-73.105700	-39.684500	-	-	-		-	-	-	-	-
24/10/2018	753	-73.139100	-39.740600	-	-	-		-	-	-	-	-

ANEXO 2

Fotografías representativas de anfibios y reptiles encontrados durante los muestreos del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC año 2018.



Liolaemus pictus



Batrachyla leptopus



Batrachyla taeniata



Pleurodema thaul



Eupsophus roseus

ANEXO 3

Ejemplos de cambios de uso de suelo advetidos durante los muestreos del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC año 2018.



Construcción de una vivienda a orillas del humedal, en el sector D (sector ríos Ninahue – Cudico), cercana a un remanente de bosque nativo. En años anteriores el lugar presentaba troncos en descomposición, con presencia de *Eupsophus roseus*. El sitio corresponde a una propiedad privada.



Relleno a orillas del HRC, sector E (sector San José de la Mariquina).



Cambio de uso de suelo. En años anteriores, en el lugar había un hualve con *Calyptocephalella gayi*. Propiedad privada en Sector Río Santa María.

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 cuarto año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2018 - marzo 2019). Esta información se comparó con resultados de análisis similares, realizados como parte del primer, segundo y tercer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2015 - marzo 2016, abril 2016 - marzo 2017 y abril 2017 - marzo 2018, respectivamente) 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 2018.
- 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 2018.
- Comparar los resultados de los análisis arriba mencionados, con aquellos obtenidos durante el primer, segundo y tercer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2015 - marzo 2016, abril 2016 - marzo 2017 y abril 2017 – marzo 2018, respectivamente) 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).

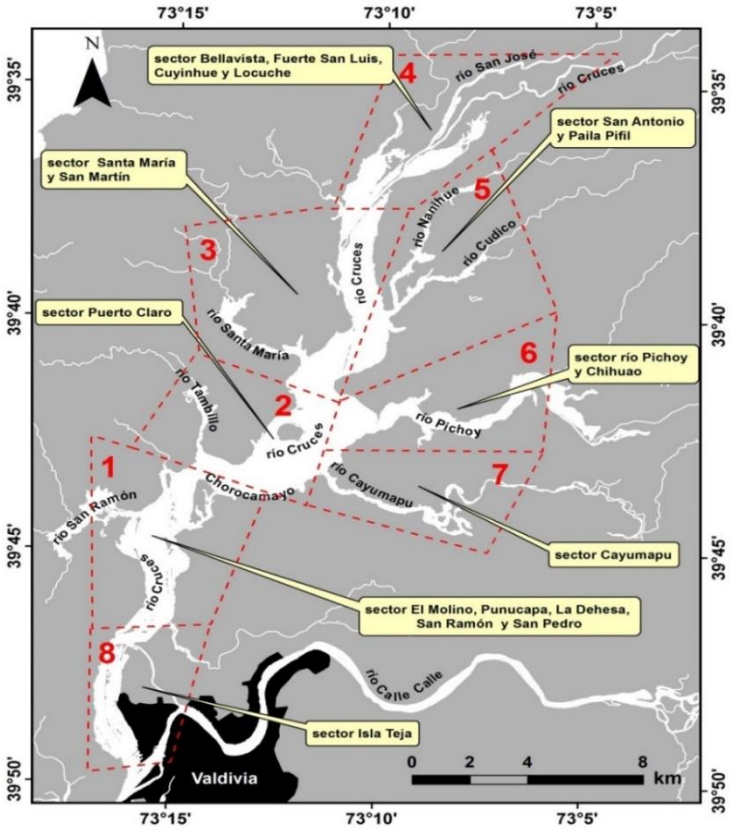


Figura 4.2.7.1.1. Ubicación de los ocho sectores delimitados en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC), para análisis de la variabilidad espacio temporal de la avifauna acuática del área de estudio (ver Material y métodos).

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 2018 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 2012-2018 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
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
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 en cada uno de esos sectores, aves que fueron observadas desde un bote Zodiac.

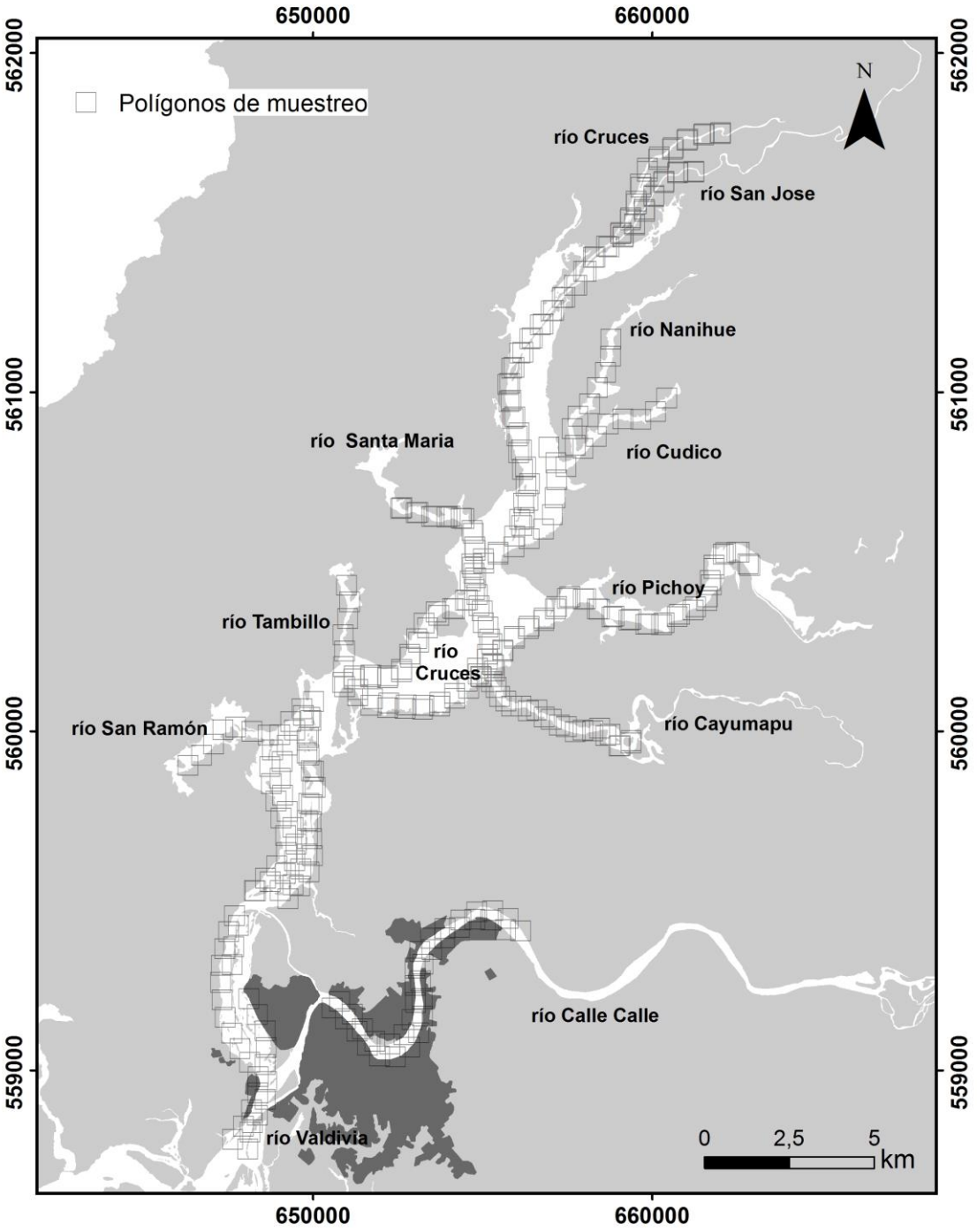


Figura 4.2.7.1.2. Distribución de polígonos de aproximadamente 500 m de longitud, destinados a evaluar la presencia y distribución espacial de avifauna acuática en las riberas del área de estudio (ver Material y métodos).

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 (*i.e*., sin experimentar notorias fluctuaciones) (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 en los sectores 1, 2 y 3 del eje central del HRC, incremento que se mantuvo durante el año 2018. Este aumento en las abundancias de la avifauna acuática, se debe en gran parte al notorio incremento en el número de ejemplares del Cisne de cuello negro y Taguas en el área de estudio.

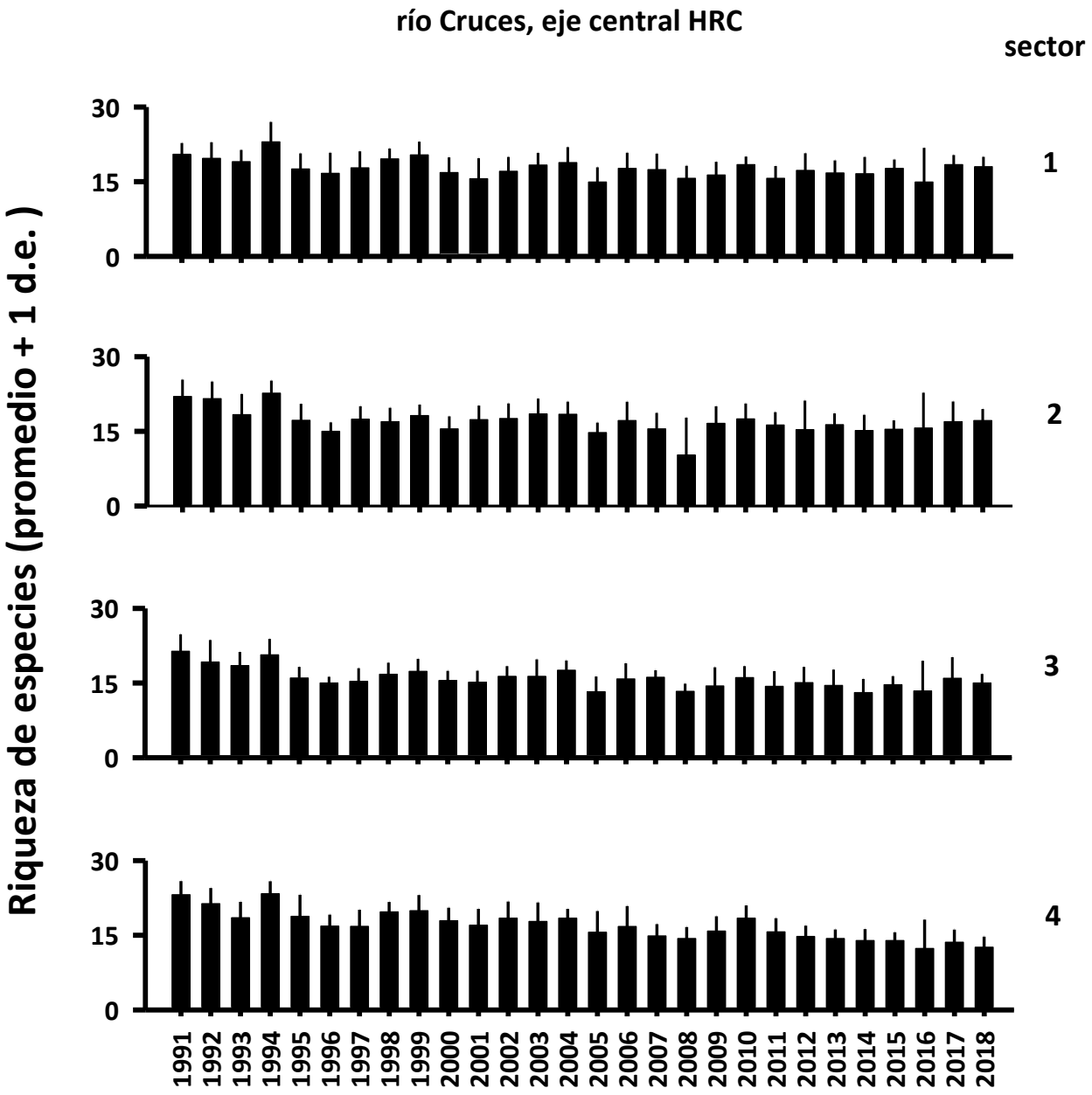


Figura 4.2.7.1.3. Variabilidad interanual de la riqueza de especies de la avifauna acuática en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2018. Se excluyen los sectores 5 a 8, debido que para estos solo existen datos de abundancia de cisnes de cuello negro. Fuente de datos: CONAF.

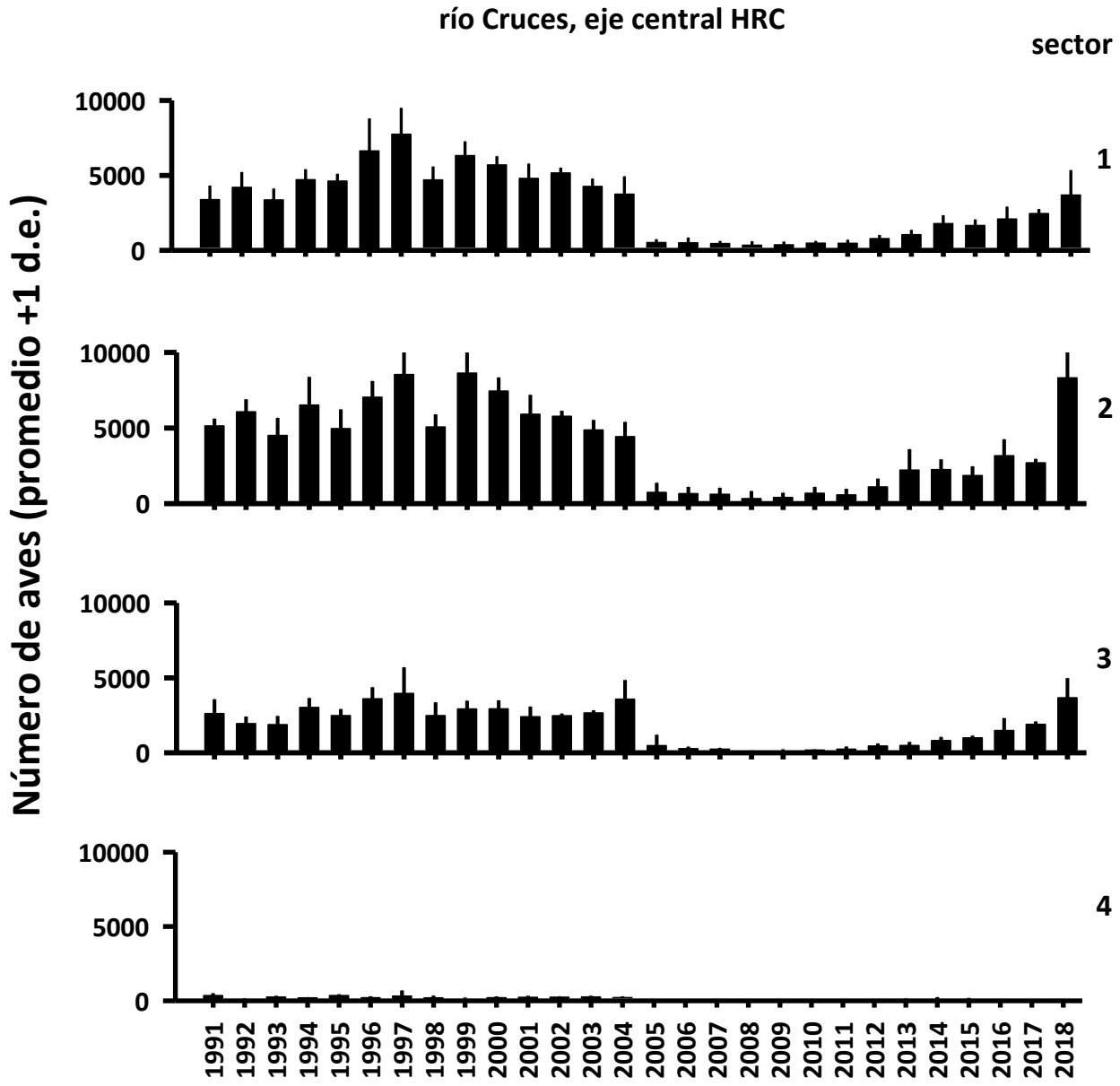


Figura 4.2.7.1.4. Variabilidad interanual de la abundancia total de la avifauna acuática en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2018. Se excluyen los sectores 5 a 8, debido que para estos sectores solo existen datos de abundancia de cisnes de cuello negro. Fuente de datos: CONAF.

Variabilidad de la abundancia anual e interanual de aves acuáticas herbívoras (datos provenientes de censos mensuales de CONAF: años 1998 a 2018)

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 2012-2018 se estimó un incremento notorio 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 de estos datos, indican que las abundancias registradas durante los años 2016-2018 (*ca*. 5600-10000 aves promedio) fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las observadas entre los años 2012-2015 (*ca*. 1300-3300 aves promedio) (Kruskal-Wallis: 68,59; gl=6; $p<0,05$; Test de Tukey: 2012-2015 *versus* 2016-2018, $p<0,05$).

Para el período 2012-2018, se estimó la abundancia poblacional más alta de taguas durante el año 2018 (*ca*. 17400 aves; Fig. 4.2.7.1.5). Los resultados del análisis temporal de los datos recopilados para ese período, muestran que las abundancias registradas durante ese año fueron significativamente mas altas ($p<0,05$) que las observadas entre los años 2012-2017 (*ca*. 627-1800 aves promedio) (Kruskal-Wallis: 25,671; gl=6; $p>0,05$; Test de Tukey: 2012-2017 *versus* 2018, $p<0,05$). Interesa destacar que durante el período 2012-2017, las abundancias de las taguas experimentaron incrementos y disminuciones abruptas sin mostrar diferencias significativas entre años) (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 (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.

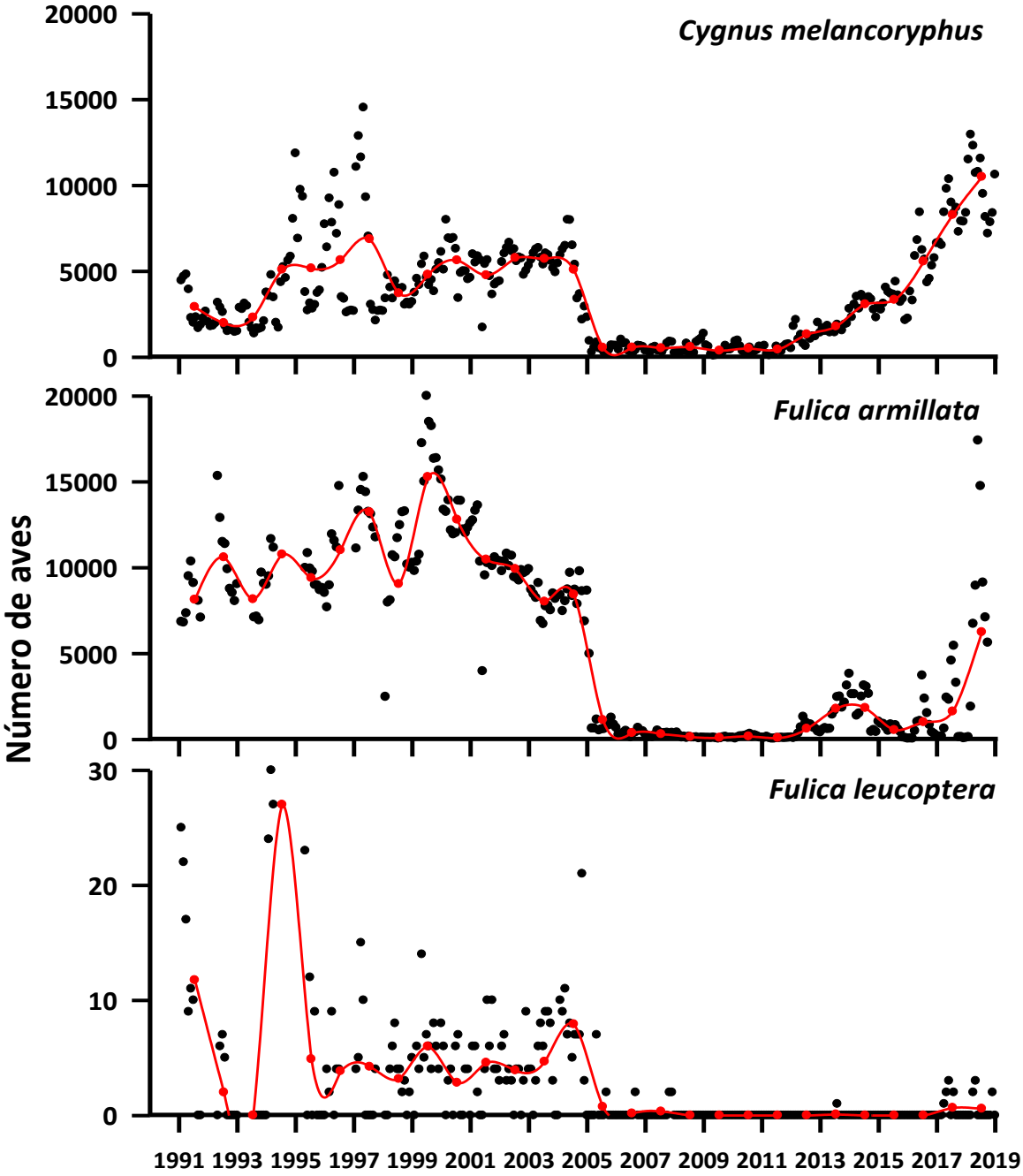


Figura 4.2.7.1.5. Variabilidad intra e inter anual (puntos negros y línea roja, respectivamente) en el número de ejemplares de *C. melancoryphus*, *F. armillata* y *F. leucoptera* entre enero del año 1991 y diciembre del año 2018. Fuente de datos: CONAF.

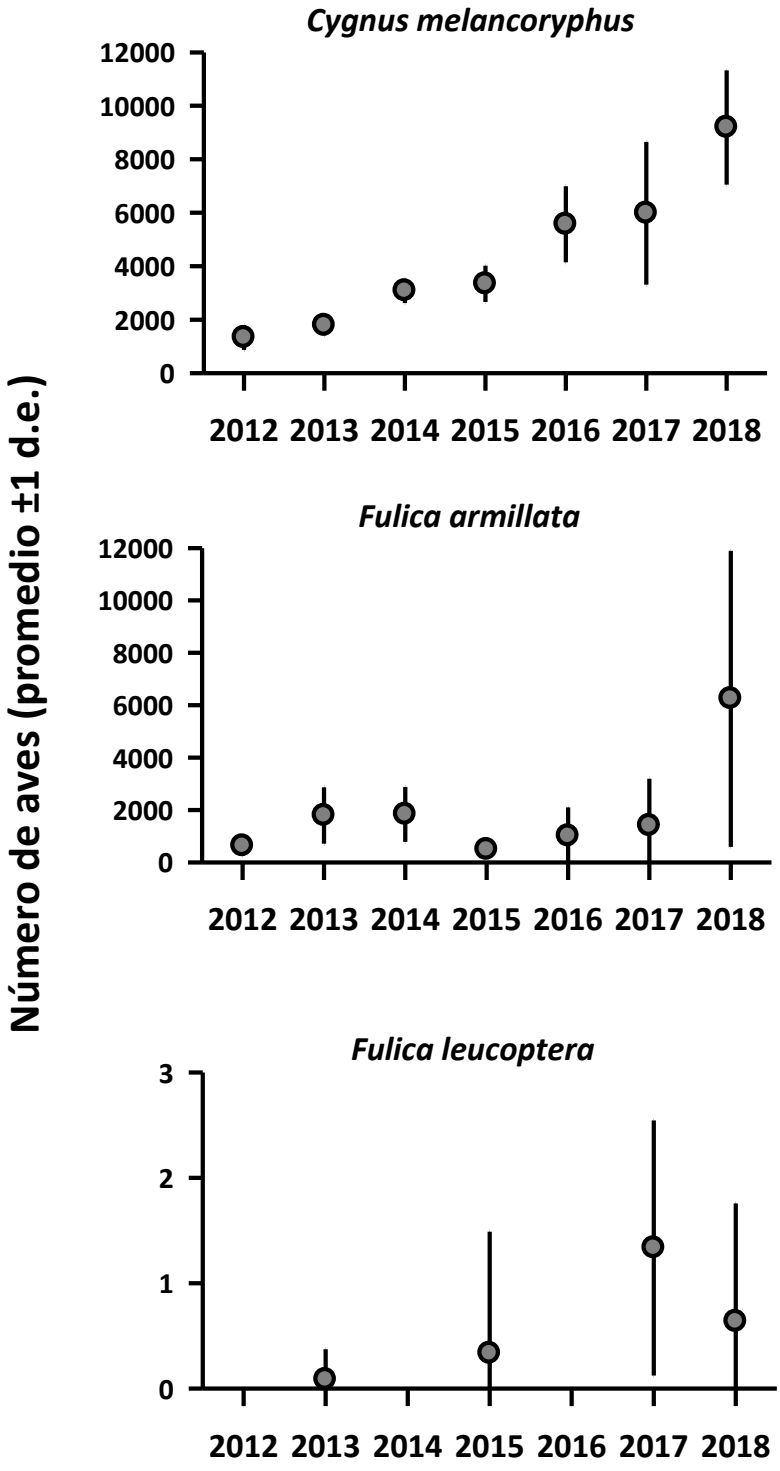


Figura 4.2.7.1.6. Variabilidad interanual en el número de ejemplares de *C. melancoryphus*, *F. armillata* y *F. leucoptera*, entre los años 2012 y 2018. Fuente de datos: CONAF.

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 general, la abundancia poblacional de la Garza cuca ha incrementado de manera significativa durante los últimos años (Kruskal-Wallis: 43,99, gl=6, p<0,05; Test de Tukey: 2012-2013 *versus* 2016-2018, p<0,05) (*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 han disminuído durante el último par de años. El análisis de los datos de abundancia de la primera de estas especies, muestra que las abundancias de los años 2017 y 2018 fueron significativamente más bajas que las registradas durante los años 2012 y 2013 (Kruskal-Wallis: 38,18, gl=6, p<0,05; Test de Tukey: 2012-2013 *versus* 2017-2018, p<0,05) (*cf.* Fig. 4.2.7.1.7 y 4.2.7.1.8).

Para la Garza blanca chica, se observó una disminución significativa en las abundancias durante el período 2012-2018 (ANOVA $F_{(6,77)}$ = 9,756; p= <0,001) (Fig. 4.2.7.1.8). Específicamente, las abundancias estimadas para el año 2018, difieren estadísticamente con las registradas el año 2012 (Test de Tukey: 2012 *versus* 2018; p>0,05) (*cf.* Fig. 4.2.7.1.7 y 4.2.7.1.8).

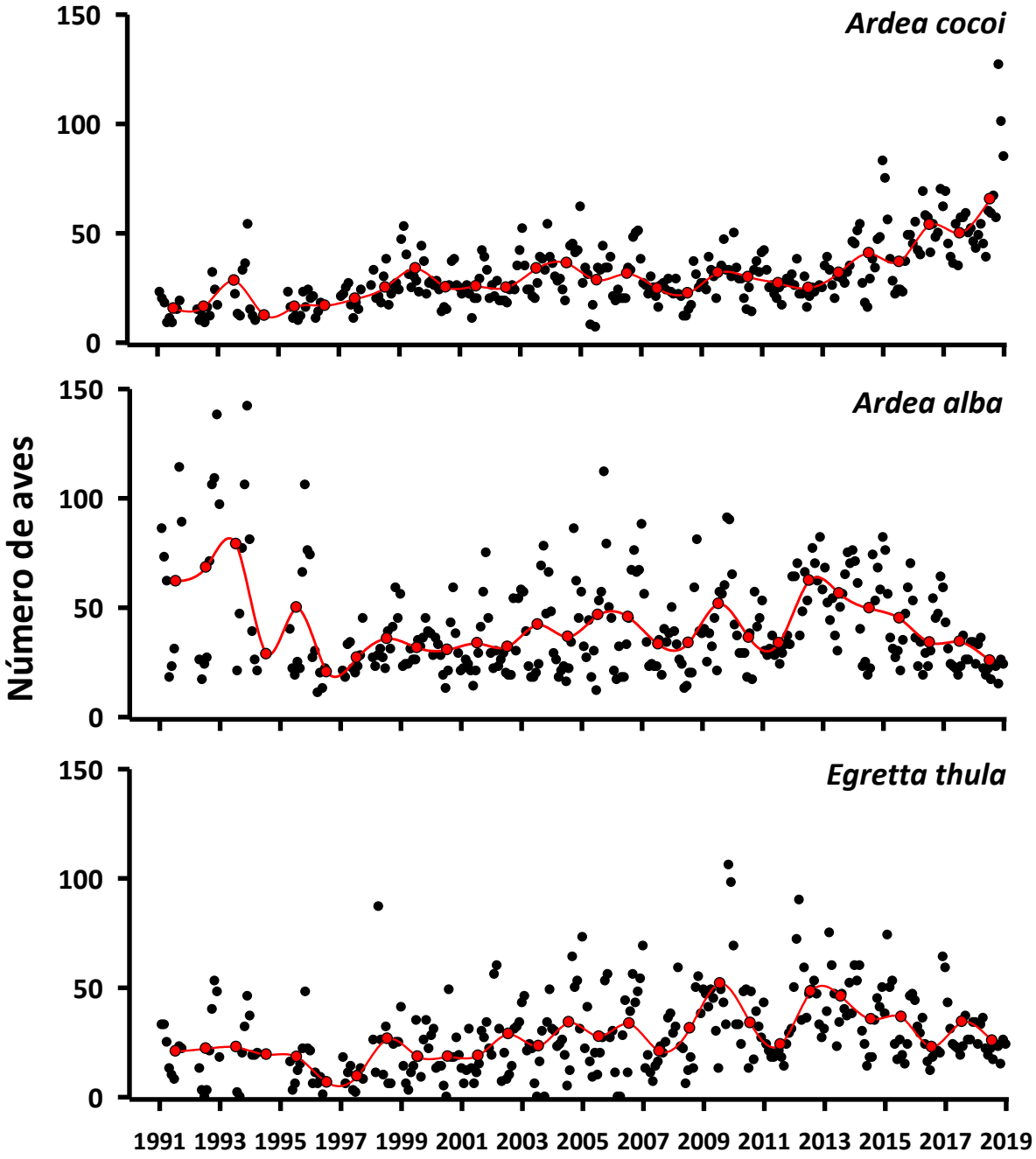


Figura 4.2.7.1.7. Variabilidad intra e inter anual (puntos negros y línea roja, respectivamente) en el número de individuos de *A. cocoi, A. alba y E. thula* entre enero del año 1991 y diciembre del año 2018. Fuente de datos: CONAF.

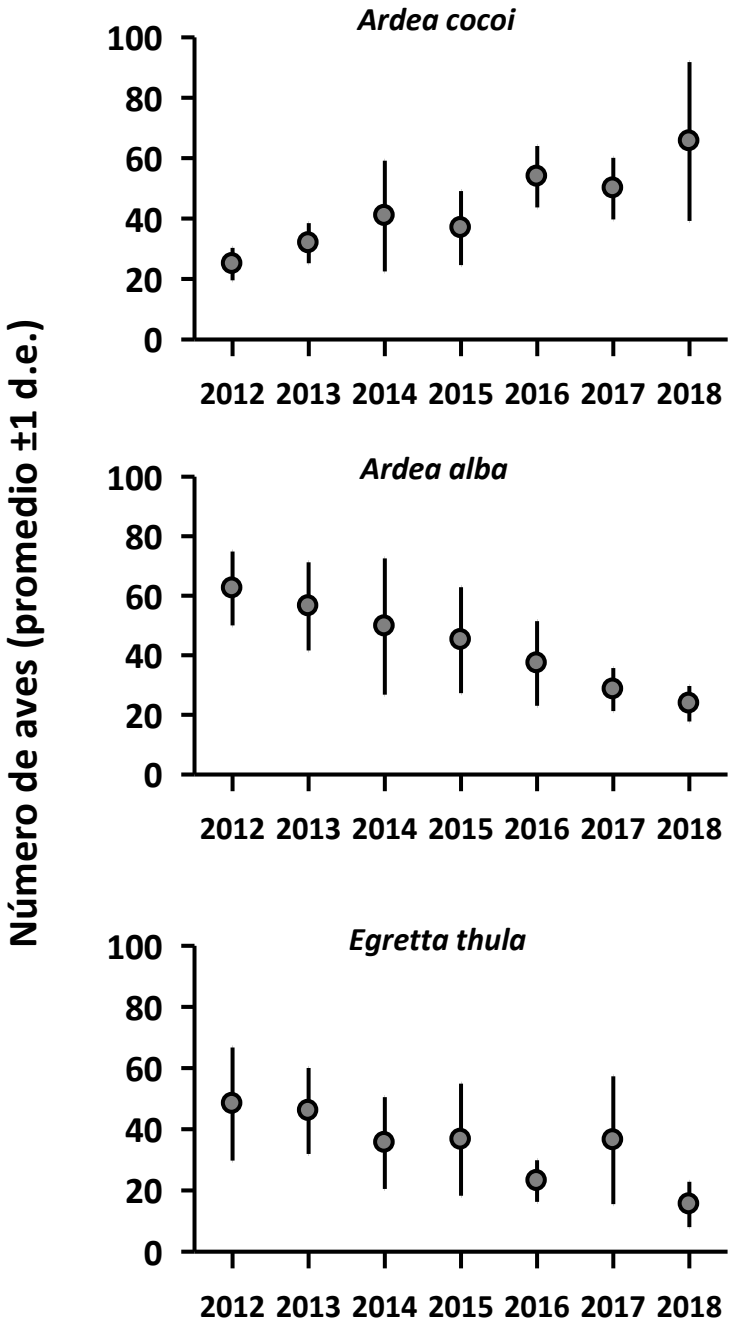


Figura 4.2.7.1.8. Variabilidad interanual en el número de ejemplares de *A. cocoi, A. alba y E. thula*, entre los años 2012 y 2018. Fuente de datos: CONAF.

Abundancia de aves acuáticas herbívoras en diferentes sectores del HRC (fuente de datos: CONAF) (todo lo verde falta)

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 y 2018, 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 (río Cayumapu) (*cf.*, Fig. 4.2.7.1.1 y 4.2.7.1.9). A partir de los años 2012-2013, la abundancia del Cisne de cuello negro comenzó a mostrar una recuperación en sus abundancias las que aumentaron exponencialmente hasta el año 2018, especialmente en los sectores 1, 2 y 3 del eje central del HRC (*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 del 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 el 2018 en relación a años anteriores (Test de Tukey: 2012-2017 *versus* 2018, $p<0,05$). El aumento en el número de taguas ha ocurrido principalmente en el sector 2 del eje central del HRC (Fig. 4.2.7.1.10).

Entre los años 1991 y 2004, la taguita ocurrió primariamente en los sectores 1 y 4 del eje central del HRC (Fig. 4.2.7.1.11). Posterior al año 2004, la taguita prácticamente ha desaparecido del humedal, aunque durante los años 2017 y 2018 se avistó un número muy

reducido de estas aves 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)

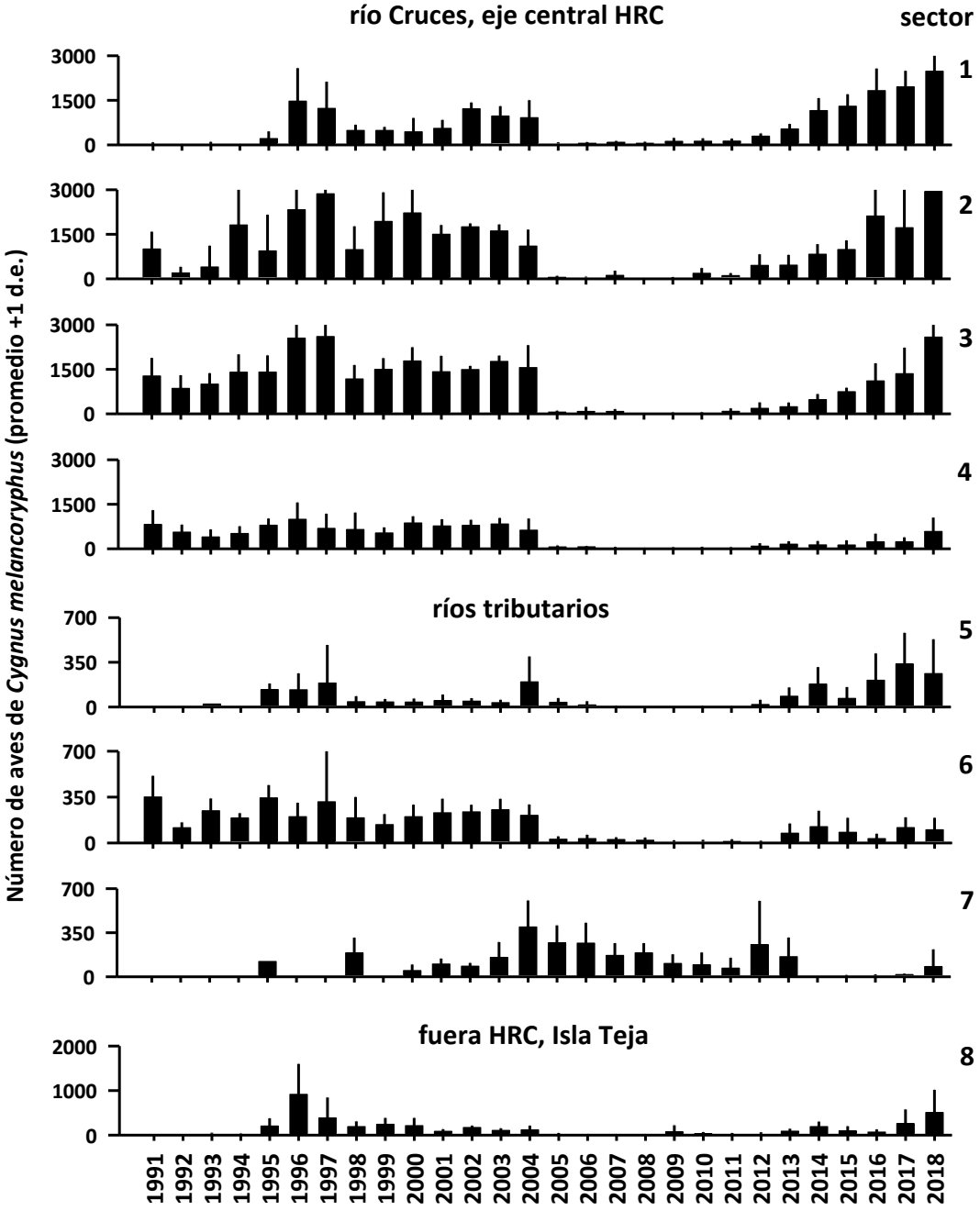


Figura 4.2.7.1.9. Variabilidad interanual de la abundancia de *Cygnus melancoryphus* en siete sectores ubicados dentro del HRC y un sector fuera del HRC, entre los años 1991 y 2018. Fuente de datos: CONAF.

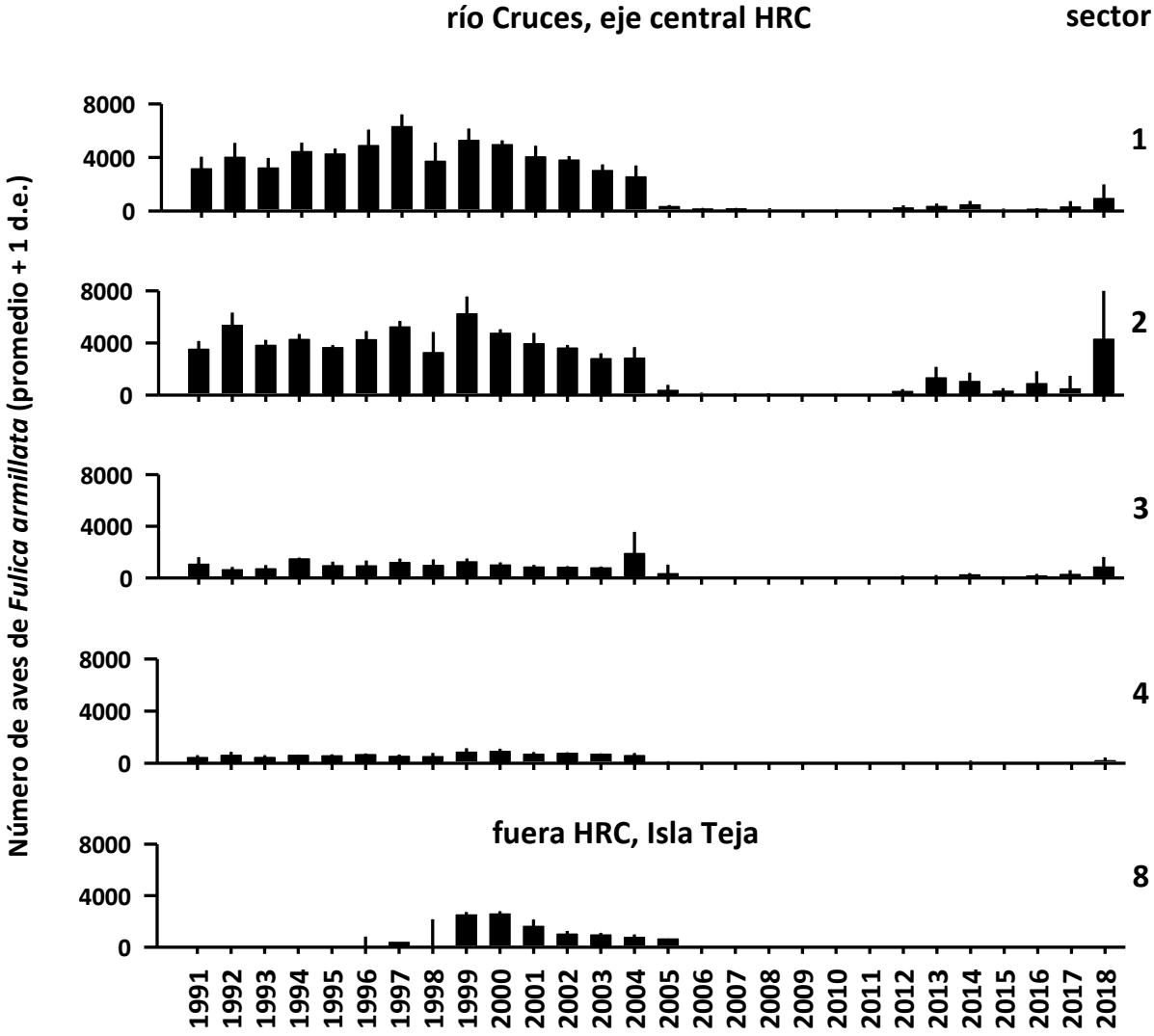


Figura 4.2.7.1.10. Variabilidad interanual de la abundancia de *Fulica armillata* en cuatro sectores del eje central del HRC y un sector fuera del HRC, entre los años 1991 y 2018. Fuente de datos: CONAF.

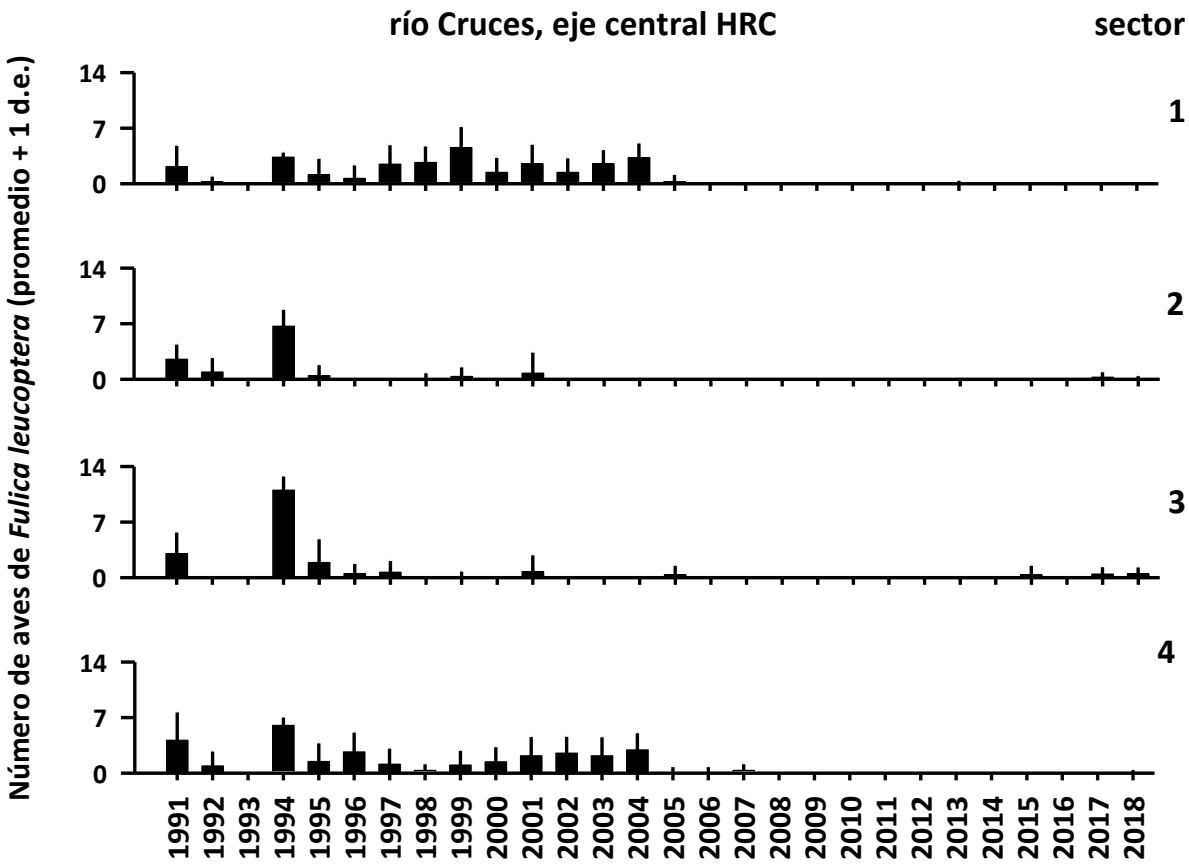


Figura 4.2.7.1.11. Variabilidad interanual de la abundancia de *Fulica leucoptera* en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2018. Fuente de datos: CONAF.

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 2018, las poblaciones de Garza cuca muestran una clara tendencia a ir aumentando su abundancia poblacional en el eje central del HRC (sectores 1, 2, 3 y 4; Fig. 4.2.7.1.14; *cf*., 4.2.7.1.8).

Por otro lado, las abundancias poblacionales de la Garza blanca grande y la Garza blanca chica, muestran una tendencia a disminución a partir del año 2012 (Fig. 4.2.7.1.12 y 4.2.7.1.13, respectivamente).

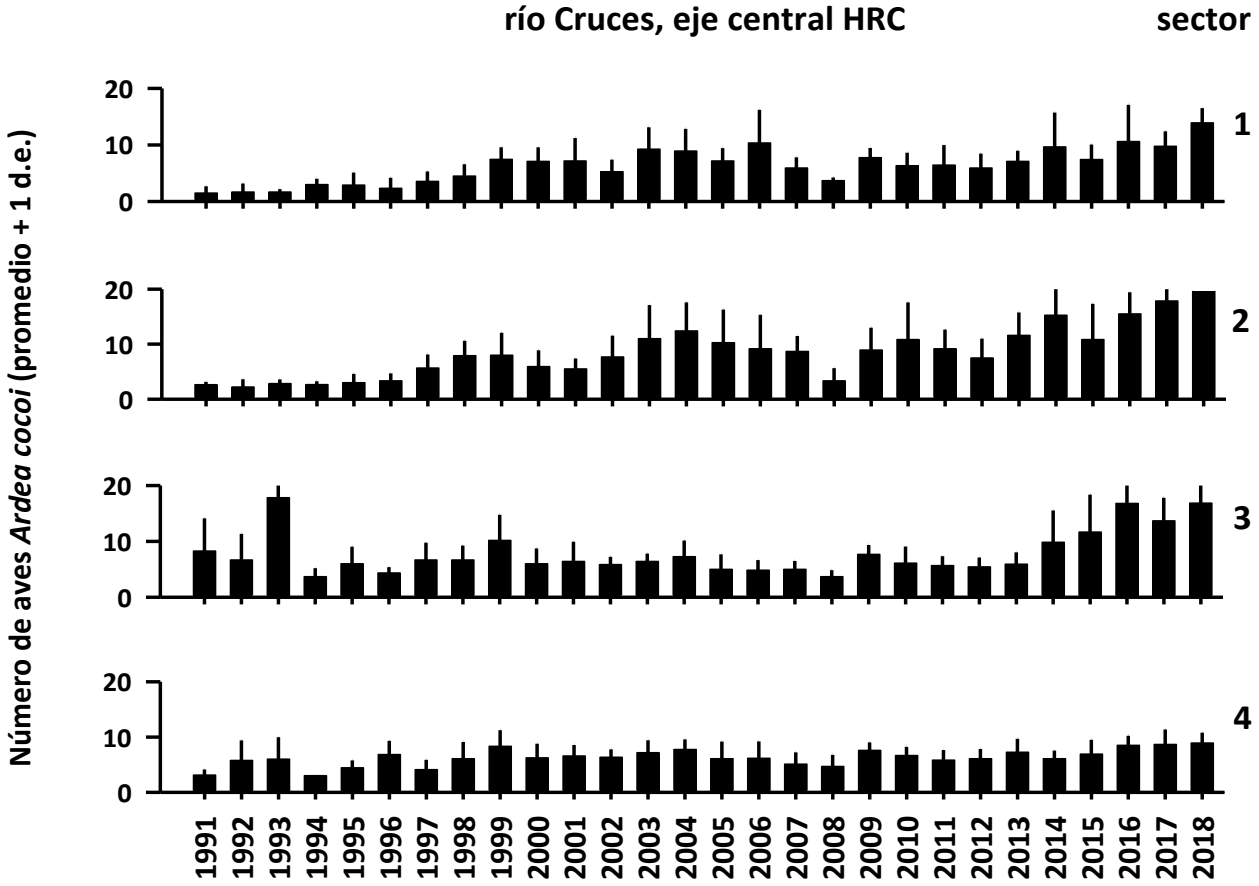


Figura 4.2.7.1.12. Variabilidad interanual de la abundancia de *Ardea cocoi* en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2018. Fuente de datos: CONAF.

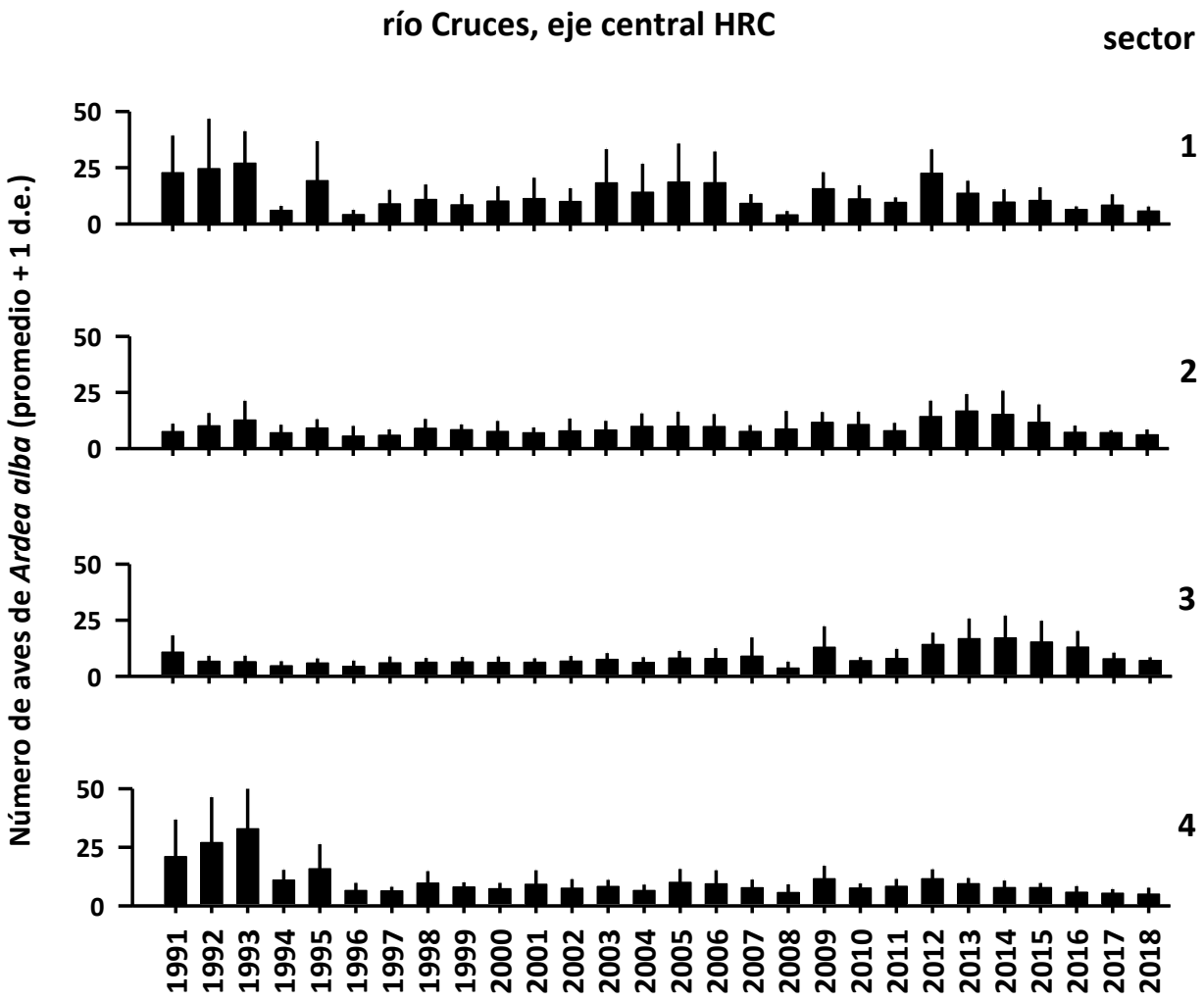


Figura 4.2.7.1.13. Variabilidad interanual de la abundancia de *Ardea alba* en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2018. Fuente de datos: CONAF.

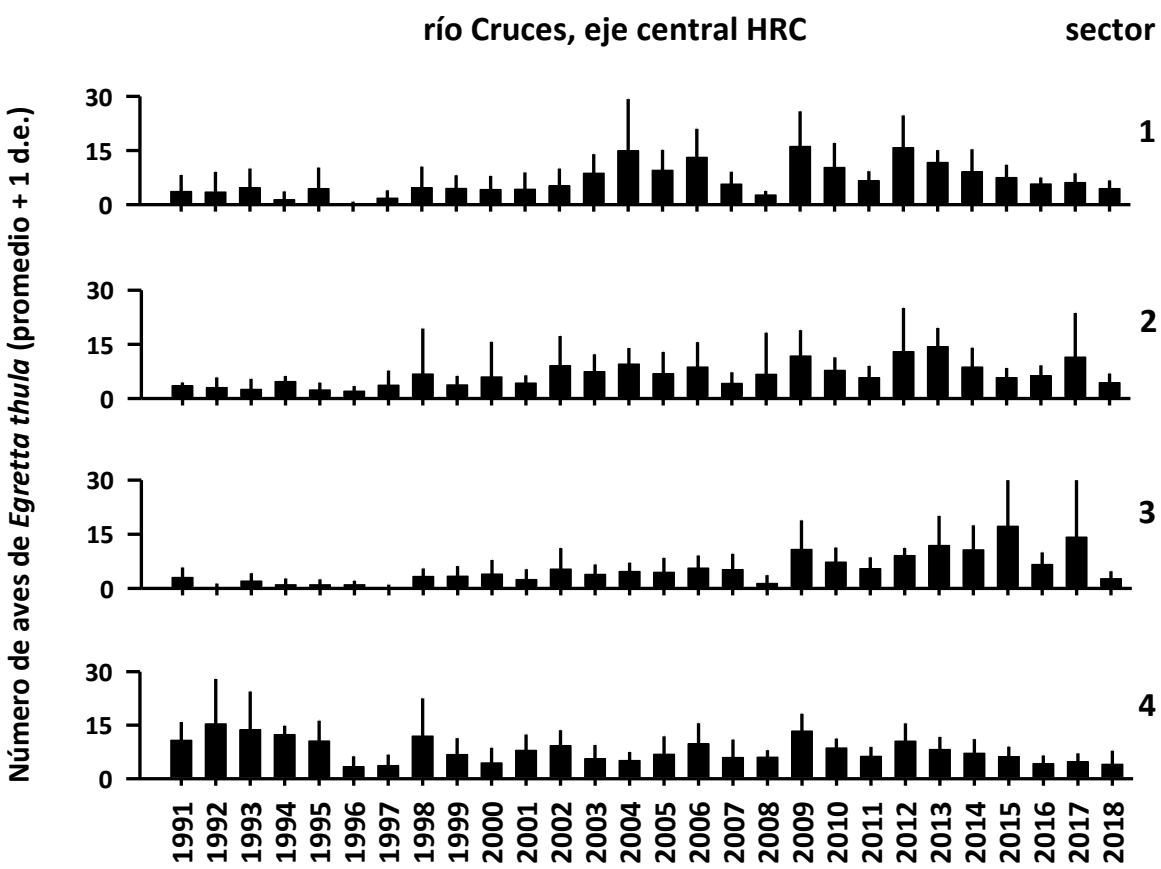


Figura 4.2.7.1.14. Variabilidad interanual de la abundancia de *Egretta thula* en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2018. Fuente de datos: CONAF.

Distribución espacial y abundancia de avifauna acuática (datos provenientes de censos estacionales de la UACh: enero 2015 a enero 2019)

Aves acuáticas herbivoras

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 enero 2019 (n=16 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 más amplia que la de la Tagua.

Las Figuras 4.2.7.1.15 y 4.2.7.1.6 muestran que la población del Cisne de cuello negro ocurre primariamente en las áreas ubicadas en el eje central del río Cruces (sectores 1, 2 y 3); *i.e.* las abundancias de los sectores ubicados en el eje central del río Cruces se diferencian significativamente del resto (ANOVA $F_{(7,119)} = 16{,}54$; $p = <0{,}001$; Test de Tukey: Sectores 1, 2 y 3 *versus* Sectores 4, 5, 6, 7 y 8, $p<0{,}05$).

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 (especificamente en el sector 2) y que poseen una baja intrusión hacía los ríos tributarios (ANOVA $F_{(7,119)} = 2{,}44$; $p=0{,}023$; Test de Tukey: Sector 2 *versus* Sectores 1, 3, 4, 5, 6, 7 y 8, $p<0{,}05$).

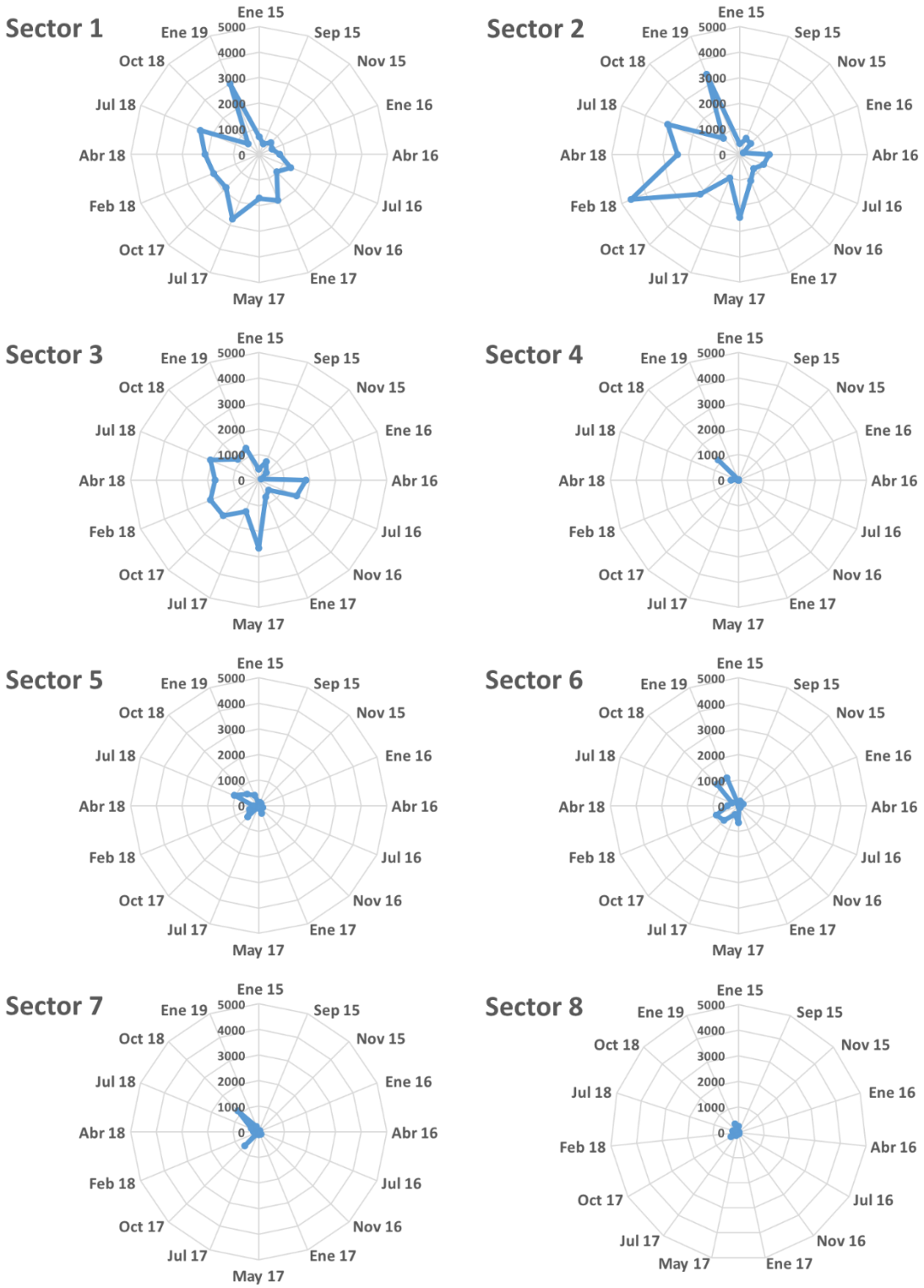


Figura 4.2.7.1.15. Abundancias del Cisne de cuello negro *Cygnus melancoryphus* en los ocho sectores del área de estudio. Datos recolectados entre 2015 y enero 2019 (n=16 muestreos) (*cf.* Tabla 4.2.7.1.2).

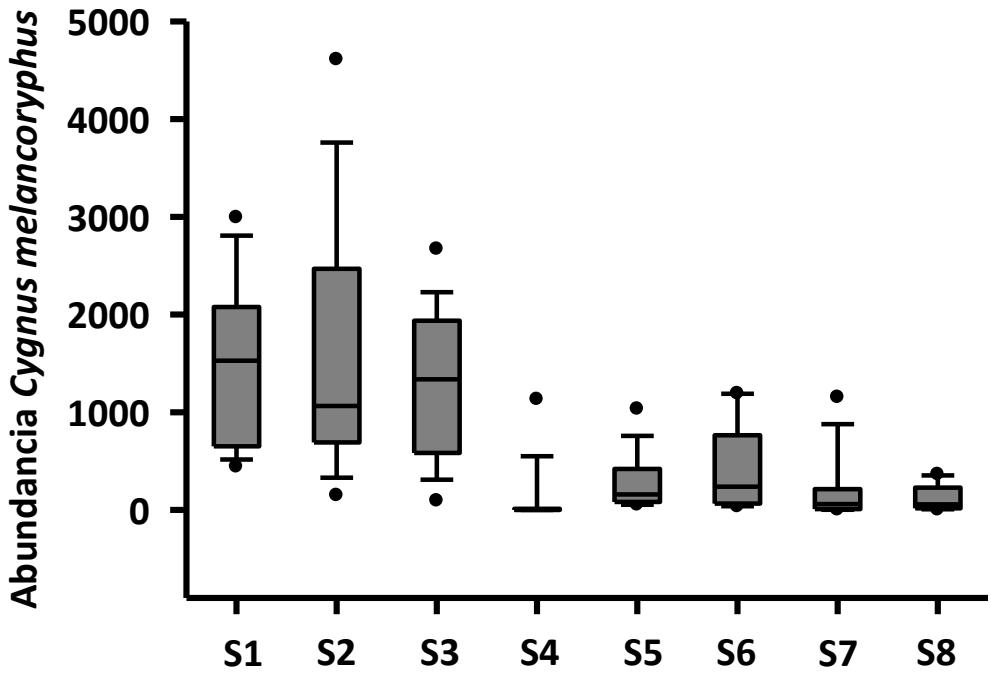


Figura 4.2.7.1.16. Diagrama de caja de la abundancia promedio de *Cygnus melancoryphus* en los ocho sectores del área de estudio. Datos recolectados entre 2015 y enero 2019 (n=16 muestreos) (*cf.* Tabla 4.2.7.1.2).

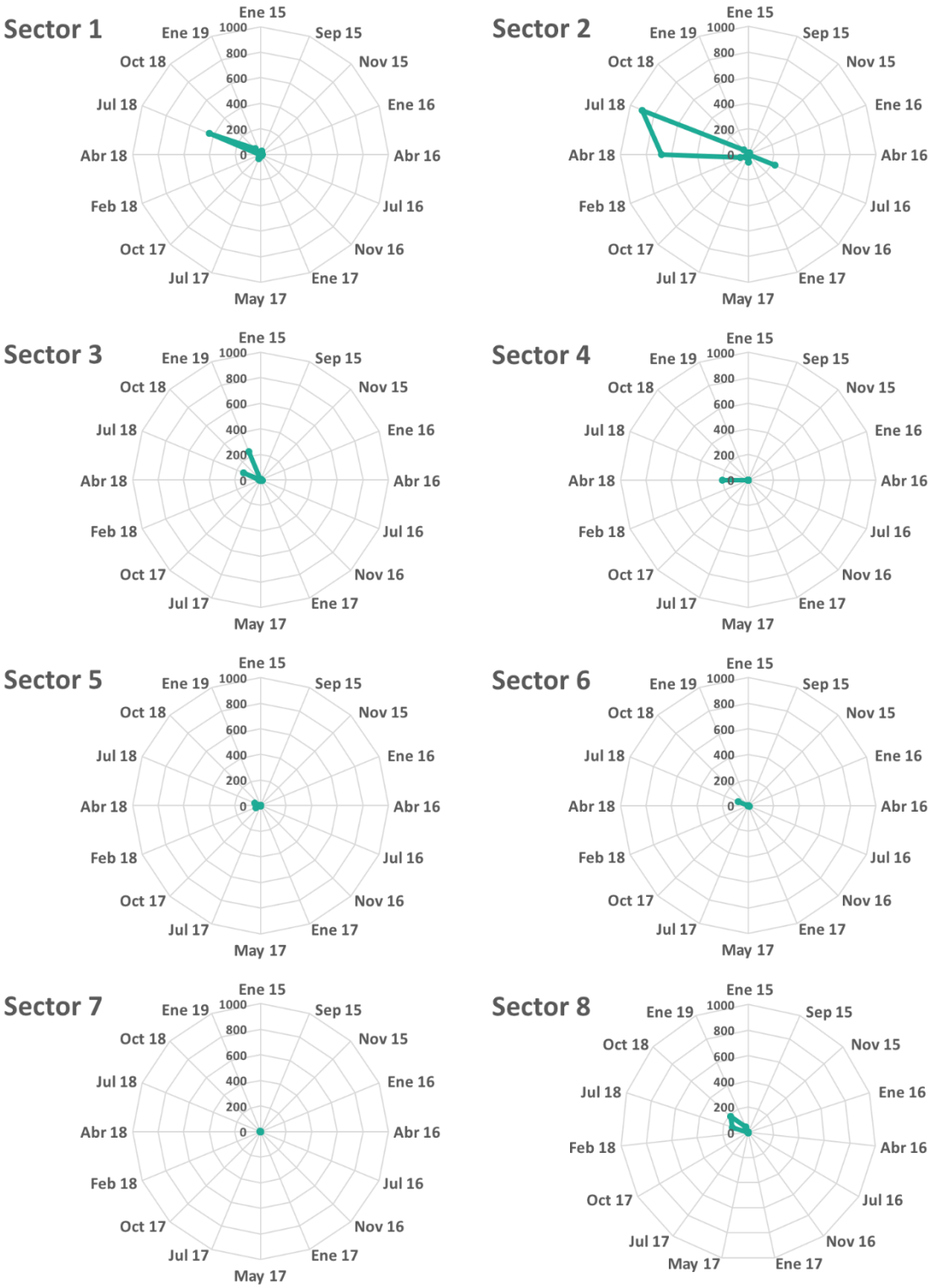


Figura 4.2.7.1.17. Abundancias de la Tagua *Fulica armillata* en los ocho sectores del área de estudio. Datos recolectados entre 2015 y enero 2019 (n=16 muestreos) (*cf.* Tabla 4.2.7.1.2).

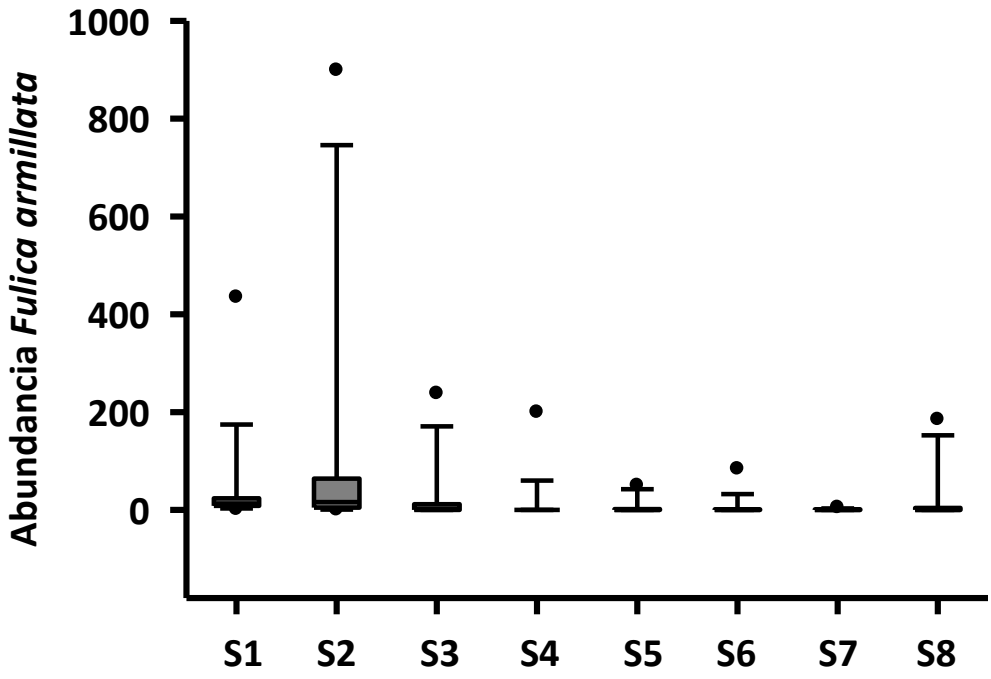


Figura 4.2.7.1.18. Diagrama de caja de la abundancia promedio de *Fulica armillata* en los ocho sectores del área de estudio. Datos recolectados entre 2015 y enero 2019 (n=16 muestreos) (*cf.* Tabla 4.2.7.1.2).

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 enero 2019 (n=16 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 es la de mayor distribución espacial en el HRC, seguido por la Garza blanca grande (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 el sector 3, área ubicada en el eje central del río Cruces. Este sector se diferencia significativamente del resto de sectores del HRC (ANOVA $F_{(7,119)} = 11,41$; $p = <0,001$; Test de Tukey: Sector 3 *versus* Sectores 1, 2, 4, 5, 6, 7 y 8, $p<0,05$).

Similarmente, la Garza blanca grande presenta su mayor abundancia en el sector 3 (Figura 4.2.7.1.21 y 4.2.7.1.22), el cual se diferencia significativamente del resto de sectores muestreados, con la excepción del sector 6 y 7 (ANOVA $F_{(7,119)} = 7,17$; $p = <0,001$; Test de Tukey: Sector 3 *versus* Sectores 1, 2, 4, 5, y 8, $p<0,05$).

Por otro lado, la Garza blanca chica presenta las mayores abundancias en los sectores 3 y 7 (Figura 4.2.7.1.23 y 4.2.7.1.24); sin embargo, solo el sector 7 se diferencia significativamente del resto (ANOVA $F_{(7,119)} = 7,17$; $p = <0,001$; Test de Tukey: Sector 7 *versus* Sectores 1, 2, 4, 5, 6 y 8, $p<0,05$).

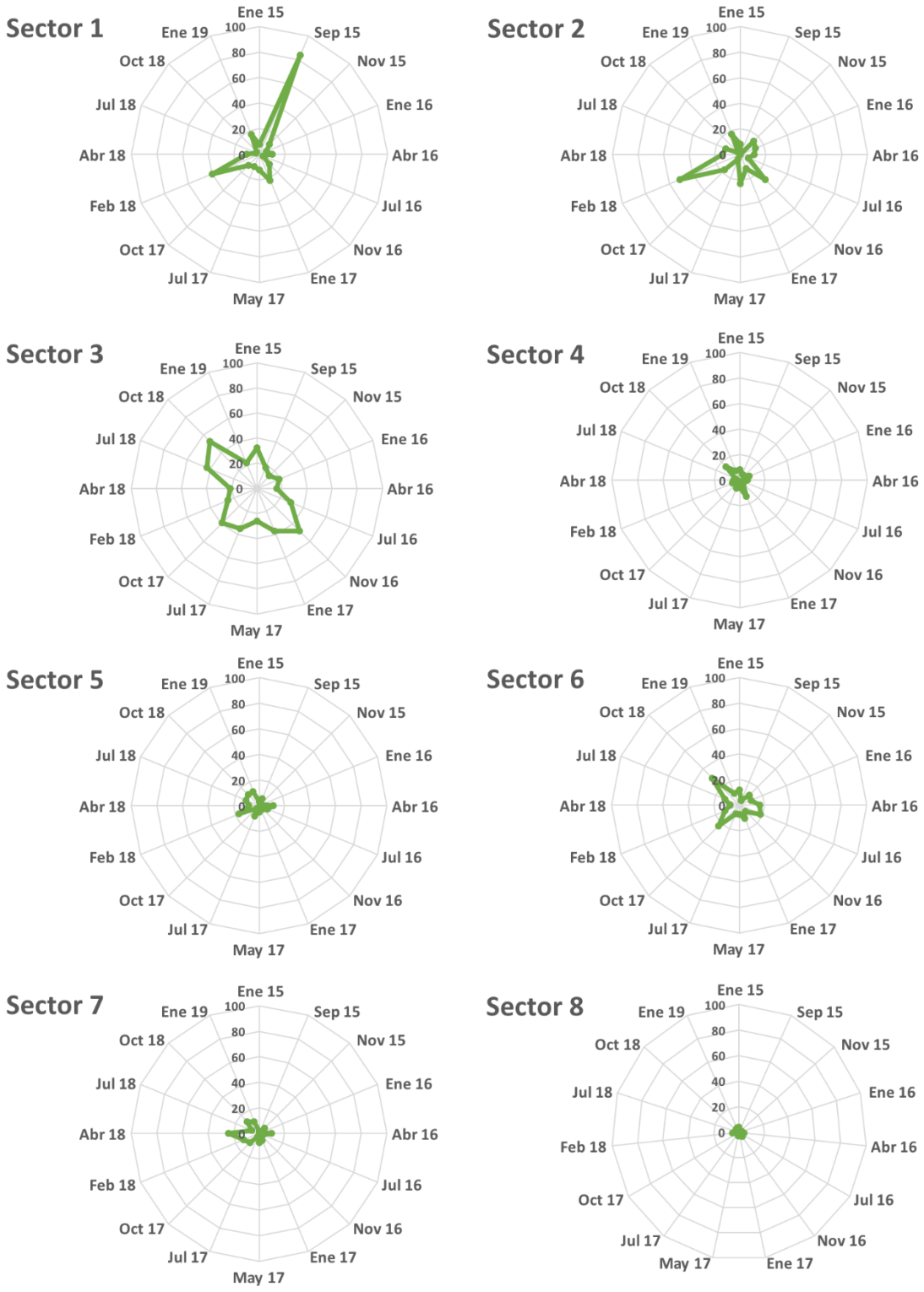


Figura 4.2.7.1.19. Abundancias de la Garza cuca *Ardea cocoi* en los ocho sectores del área de estudio. Datos recolectados entre 2015 y enero 2019 (n=16 muestreos) (*cf.* Tabla 4.2.7.1.2).

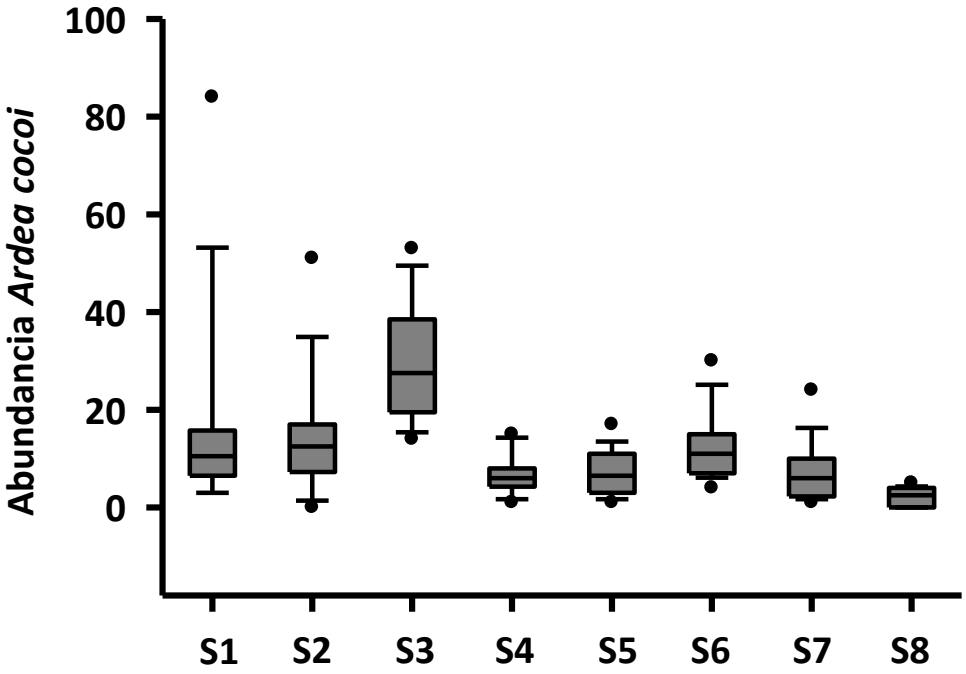


Figura 4.2.7.1.20. Diagrama de caja de la abundancia promedio de *Ardea cocoi* en los ocho sectores del área de estudio. Datos recolectados entre 2015 y enero 2019 (n=16 muestreos) (*cf.* Tabla 4.2.7.1.2).

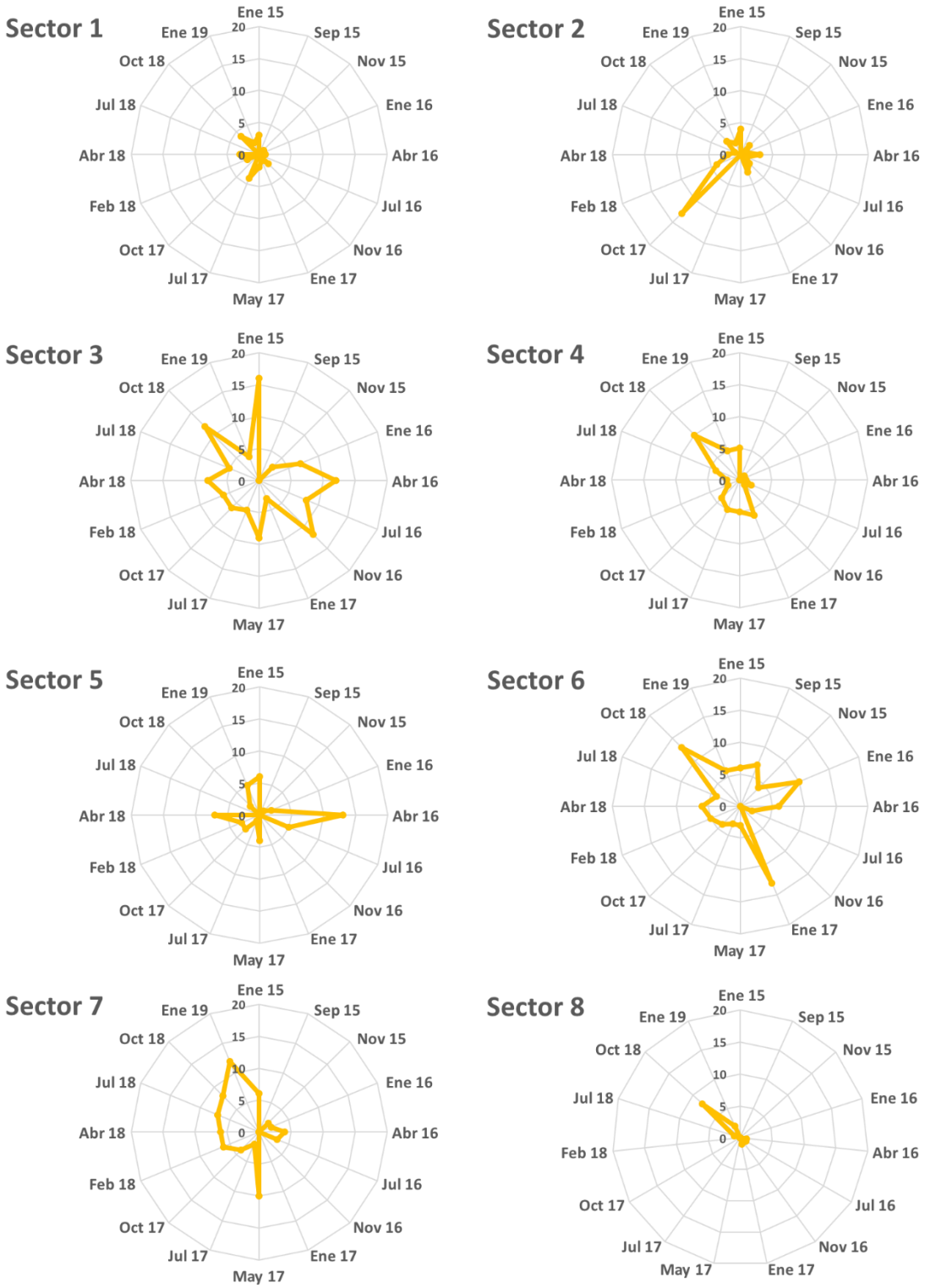


Figura 4.2.7.1.21. Abundancias de la Garza blanca grande *Ardea alba* en los ocho sectores del área de estudio. Datos recolectados entre 2015 y enero 2019 (n=16 muestreos) (*cf.* Tabla 4.2.7.1.2).

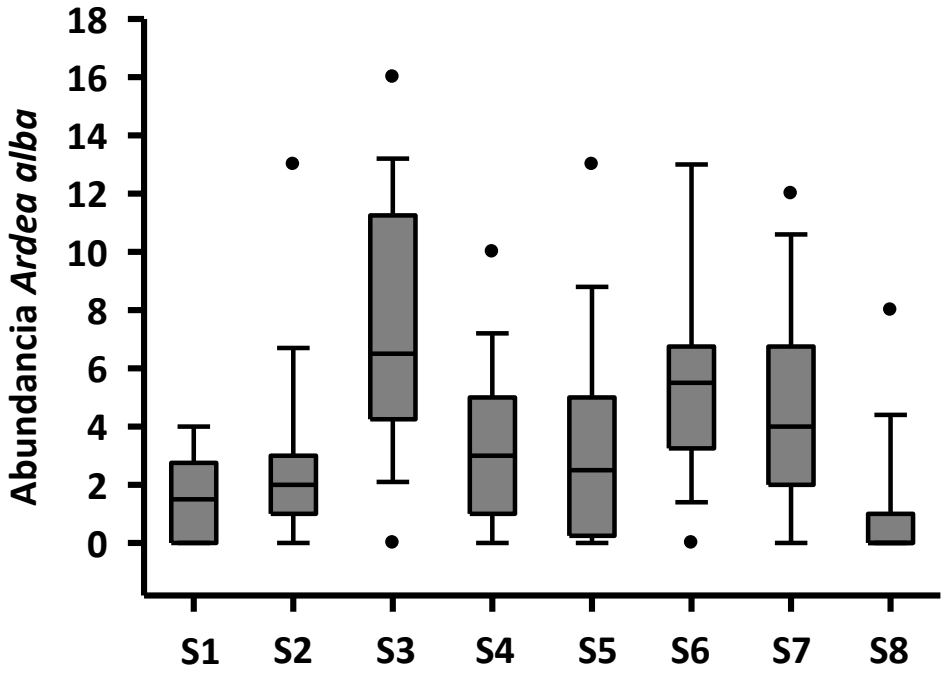


Figura 4.2.7.1.22. Diagrama de caja de la abundancia proemdio de *Ardea alba* en los ocho sectores del área de estudio. Datos recolectados entre 2015 y enero 2019 (n=16 muestreos) (*cf.* Tabla 4.2.7.1.2).

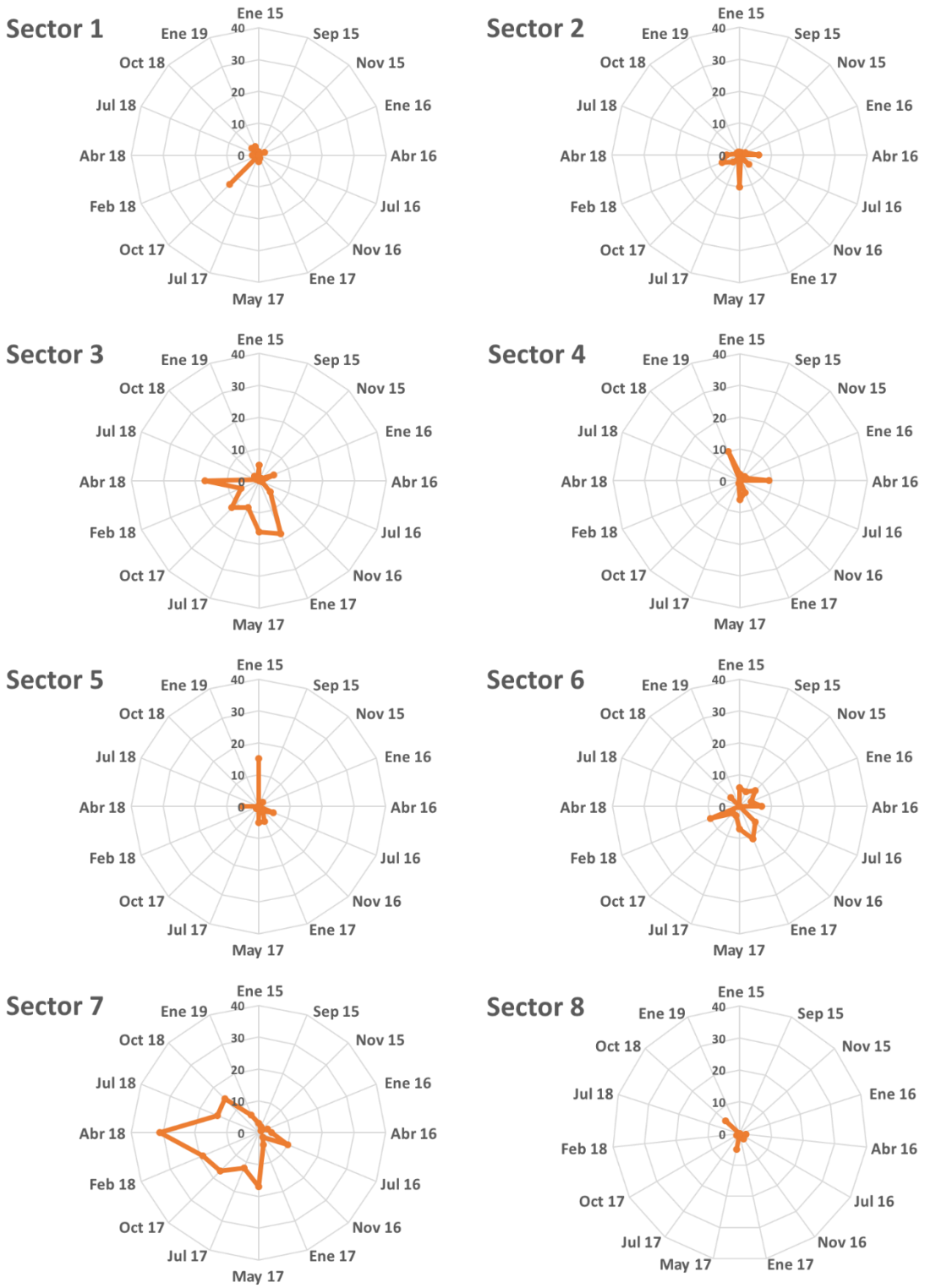


Figura 4.2.7.1.23. Abundancias de la Garza blanca chica *Egretta thula* en los ocho sectores del área de estudio. Datos recolectados entre 2015 y enero 2019 (n=16 muestreos) (*cf.* Tabla 4.2.7.1.2).

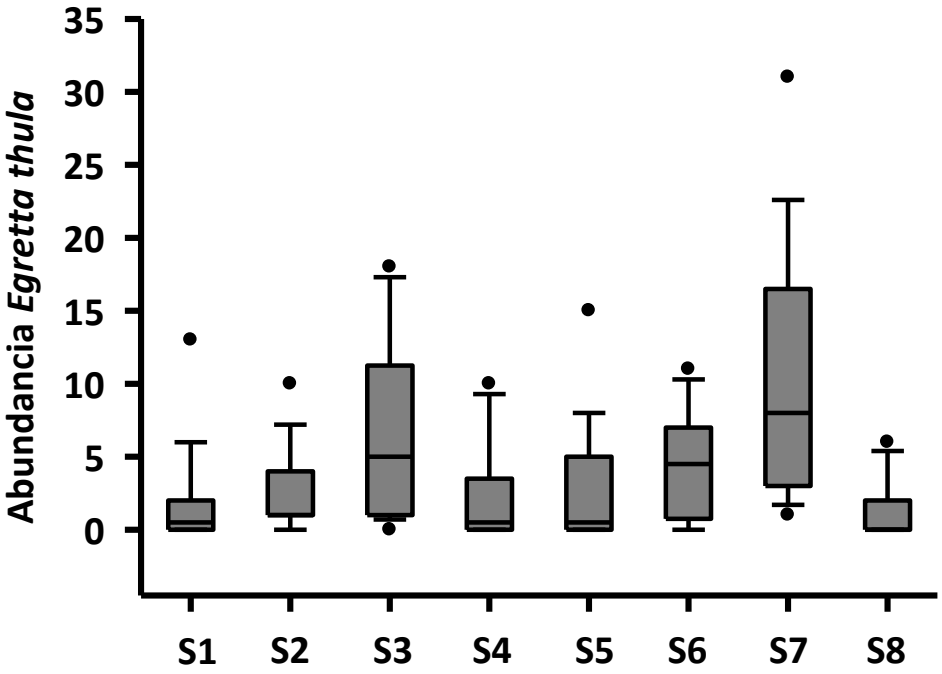


Figura 4.2.7.1.24. Diagrama de caja de la abundancia promedio de *Egretta thula* en los ocho sectores del área de estudio. Datos recolectados entre 2015 y enero 2019 (n=16 muestreos) (*cf.* Tabla 4.2.7.1.2).

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, debido primariamente al notorio incremento de cisnes de cuello negro y taguas en el último par de 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; par el mismo período el número más alto de taguas ha ocurrido principalmente en el sector 2 de ese mismo eje.

• En general, la abundancia poblacional de la Garza cuca ha incrementado de manera significativa durante los últimos años, a la vez que la Garza blanca grande y Garza blanca chica, han disminuído 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)**

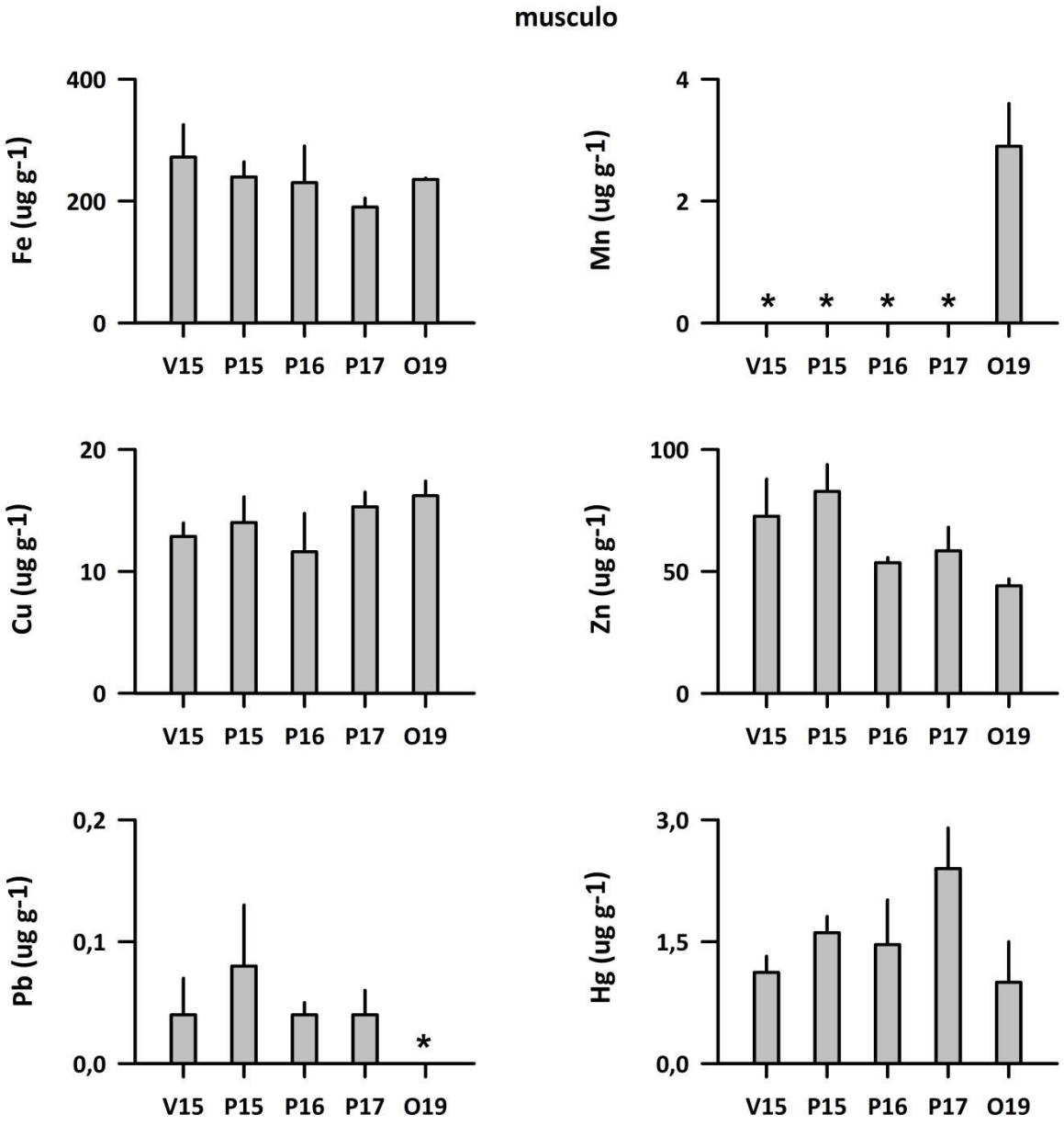


Figura 4.2.7.2.1. Concentraciones de metales pesados en tejidos musculares de *Casmerodius albus*, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P15, respectivamente), 2016 (primavera; P16), 2017 (primavera; P17) y 2019 (otoño; O19). Los valores son promedios con una desviación estándar. ***** = bajo el límite de detección del método utilizado.

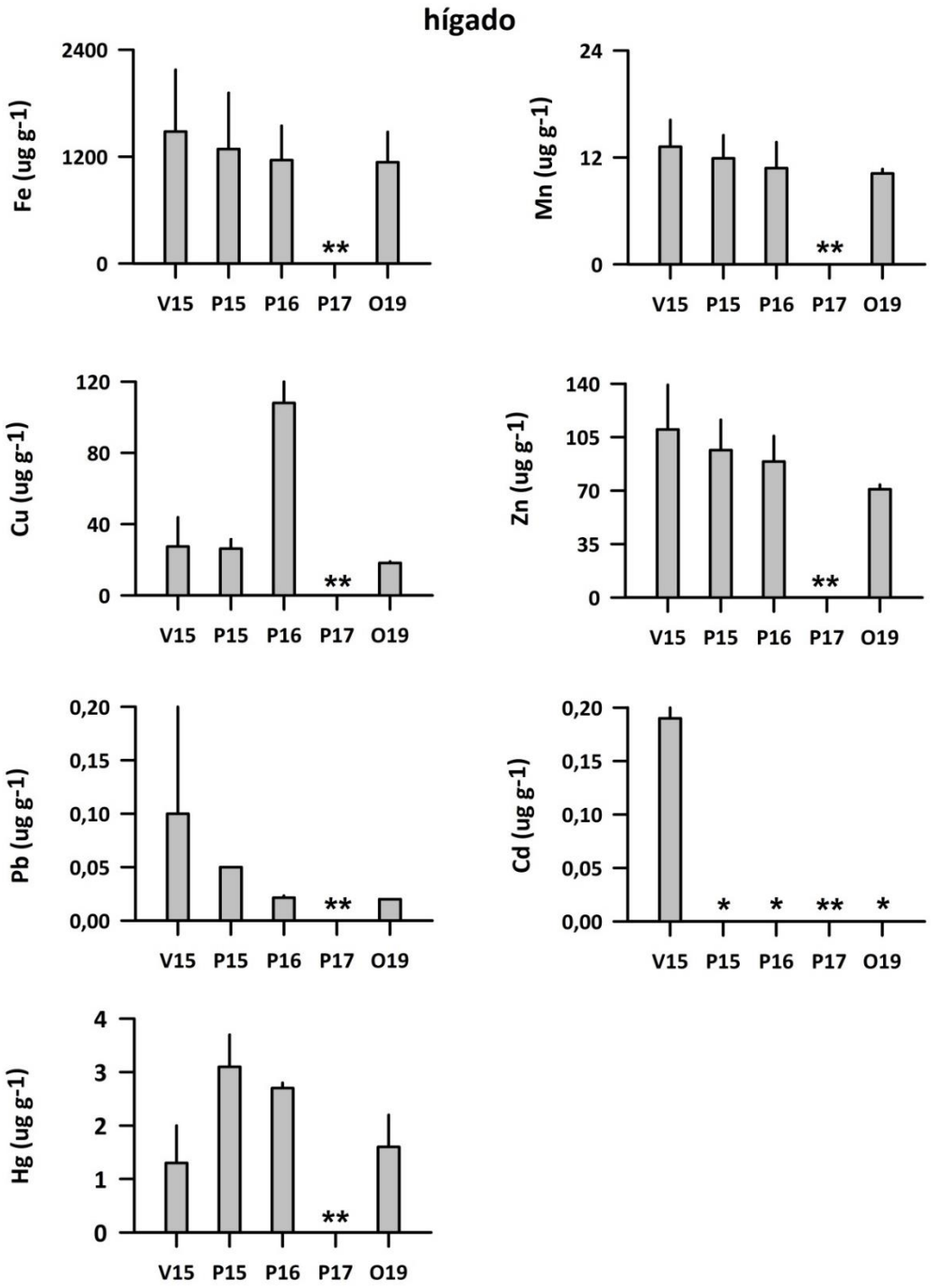


Figura 4.2.7.2.2. Concentraciones de metales pesados en tejidos hepáticos de *Casmerodius albus*, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P15, respectivamente), 2016 (primavera; P16), 2017 (primavera; P17) y 2019 (otoño; O19). Los valores son promedios con una desviación estándar. ***** = 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.

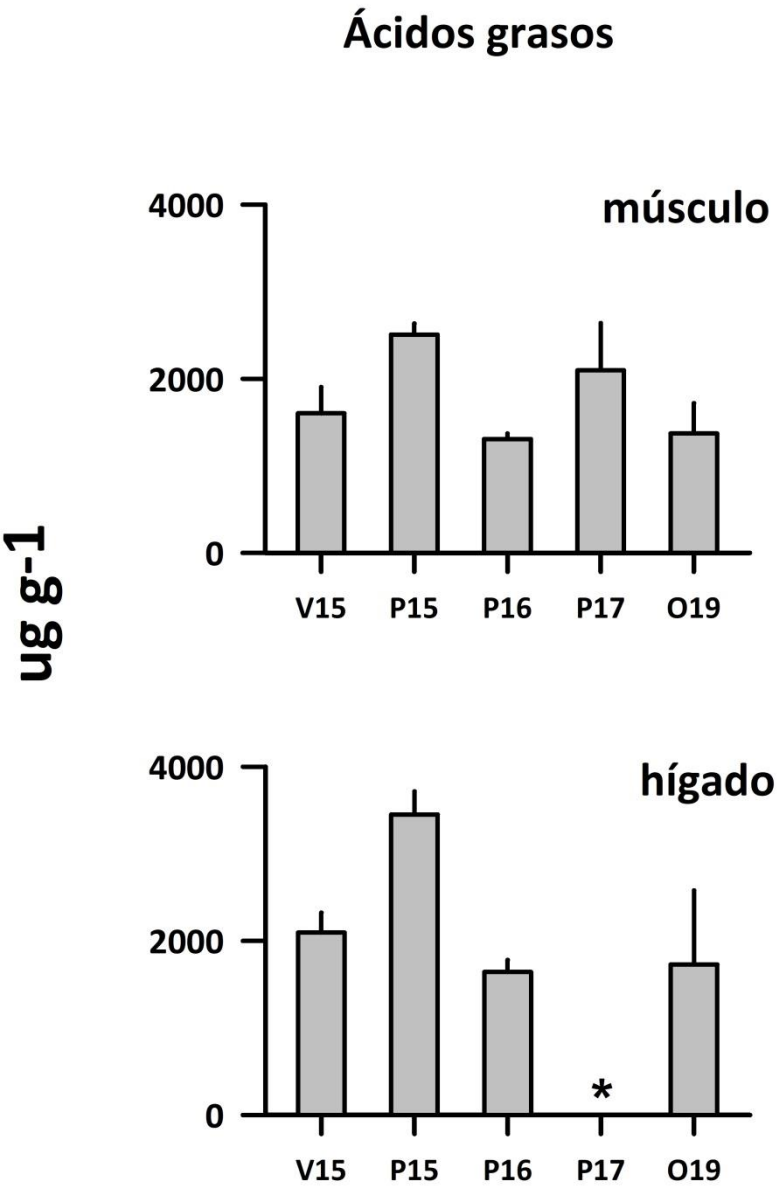


Figura 4.2.7.2.3. Concentraciones de Ácidos grasos en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande recolectados durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P15, respectivamente), 2016 (primavera; P16), 2017 (primavera; P17) y 2019 (otoño; O19). Los valores son promedios con una desviación 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 $\log_{10}$.

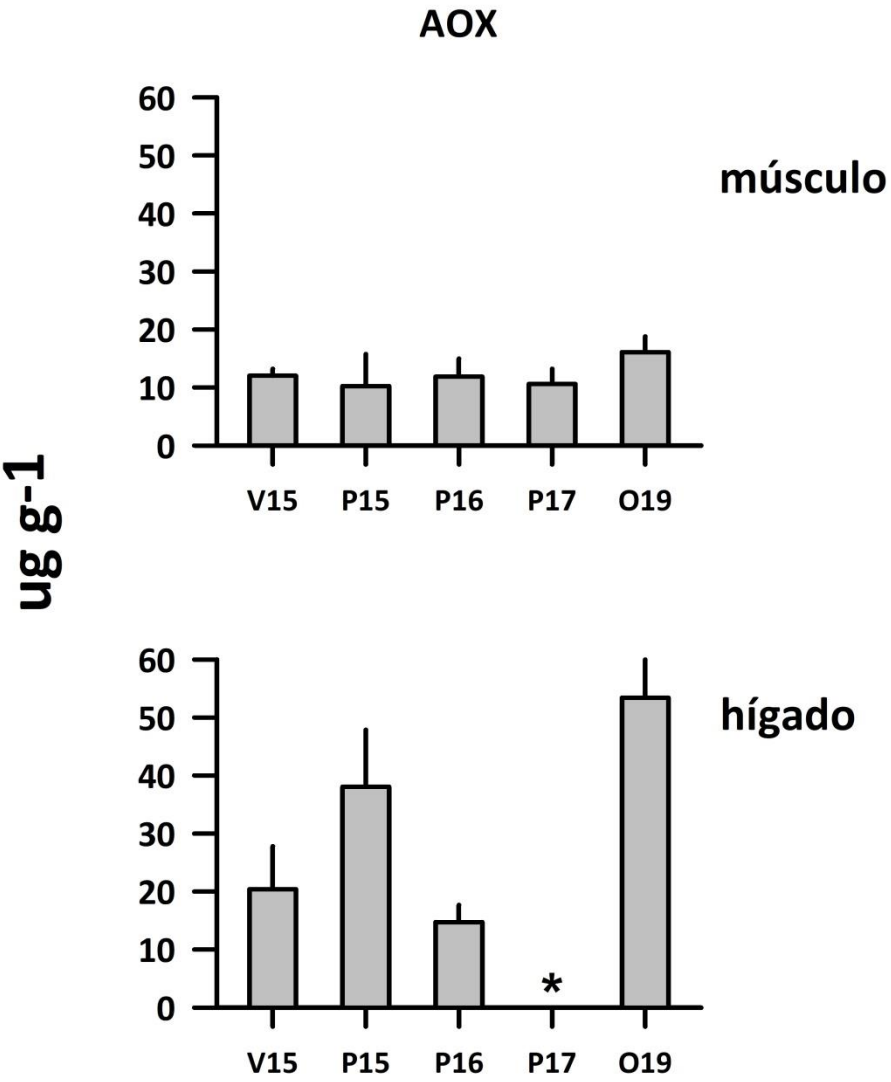


Figura 4.2.7.2.4. Concentraciones de AOX en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande recolectadas durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P15, respectivamente), 2016 (primavera; P16), 2017 (primavera; P17) y 2019 (otoño; O19). Los valores son promedios con una desviación estándar. * = 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)**
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)**

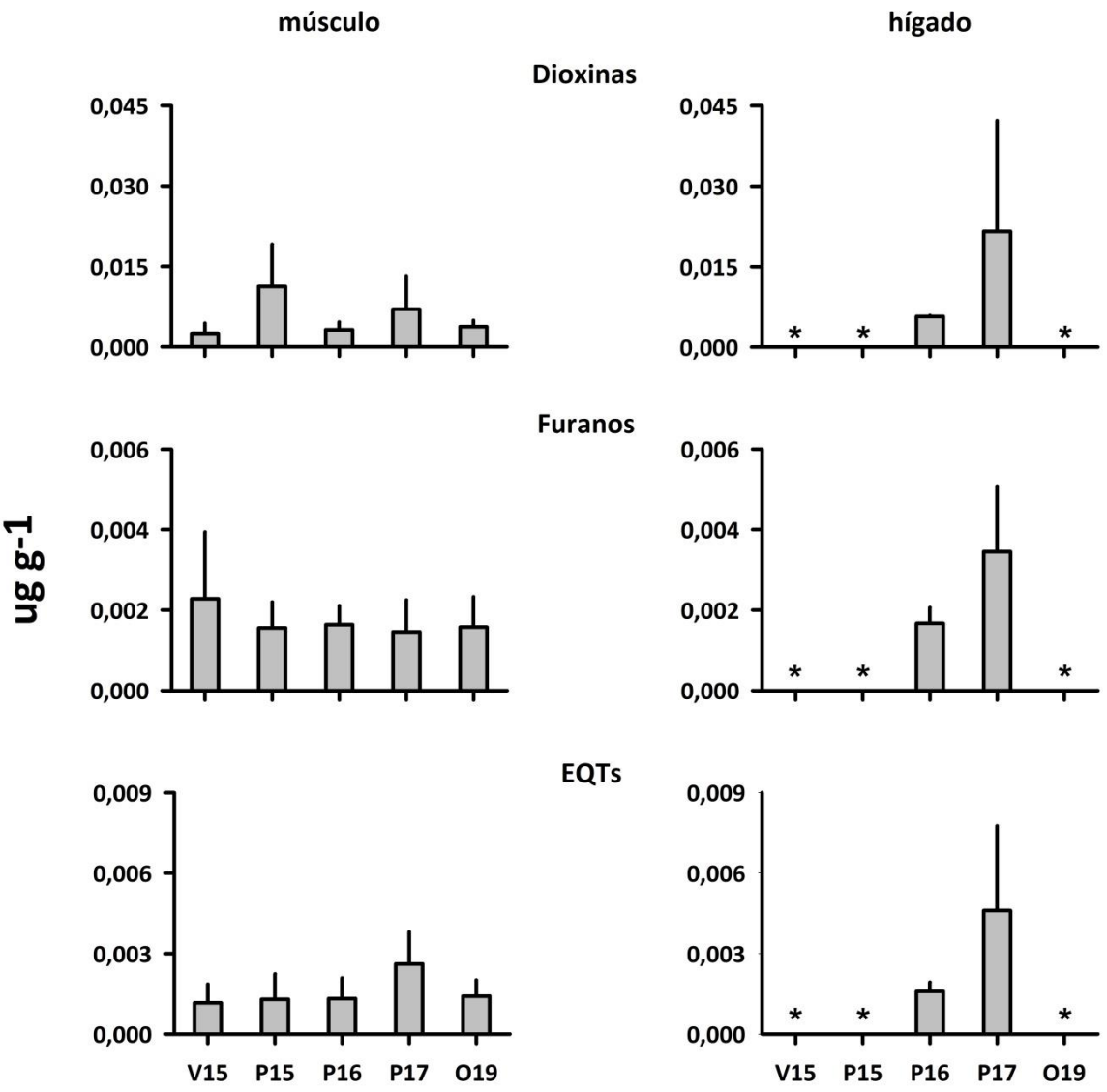


Figura 4.2.7.2.5. Concentración de Dioxinas, Furanos y EQTs en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande recolectados durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P15, respectivamente), 2016 (primavera; P16), 2017 (primavera; P17) y 2019 (otoño; O19). Los valores son promedios con una 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)**

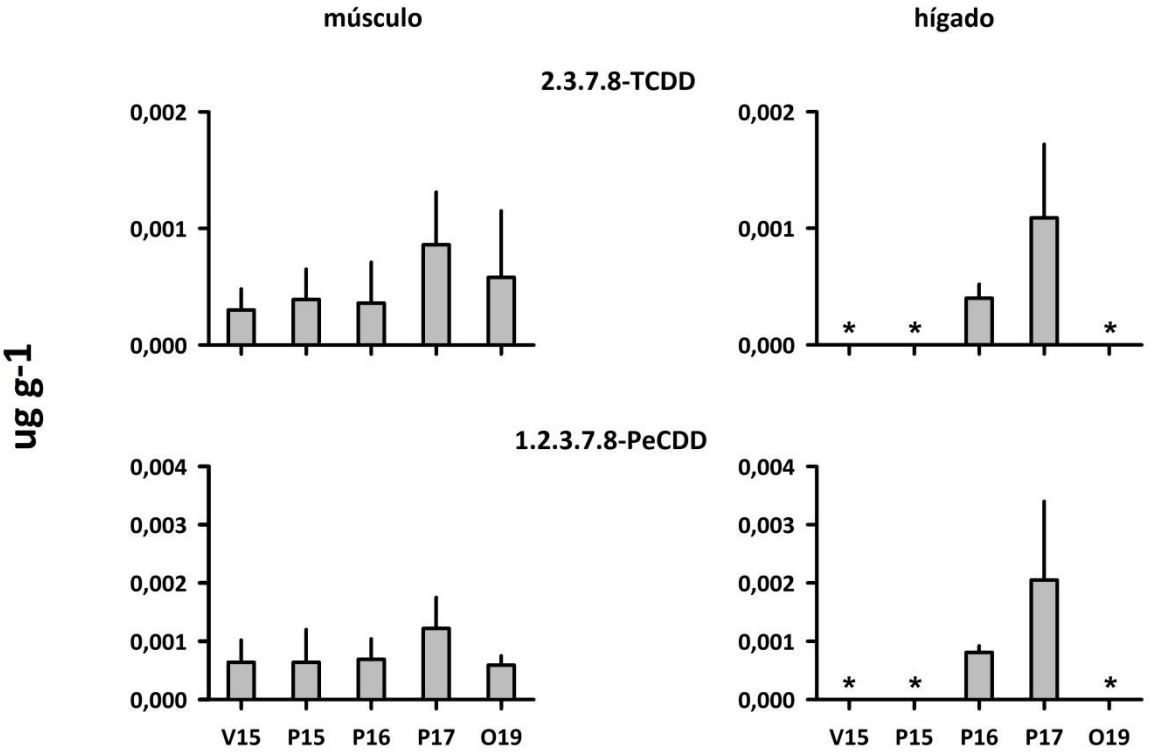


Figura 4.2.7.2.6. Concentraciones de las Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PeCDD en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P15, respectivamente), 2016 (primavera; P16), 2017 (primavera; P17) y 2019 (otoño; O19). Los valores 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 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, desconocidas 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 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 paraguaiae*), 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) serán 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 Cuarto Año del Programa de Monitoreo Ambiental, pero considerando además los muestreos realizados desde octubre de 2015 hasta diciembre de 2018.

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 lo 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*.

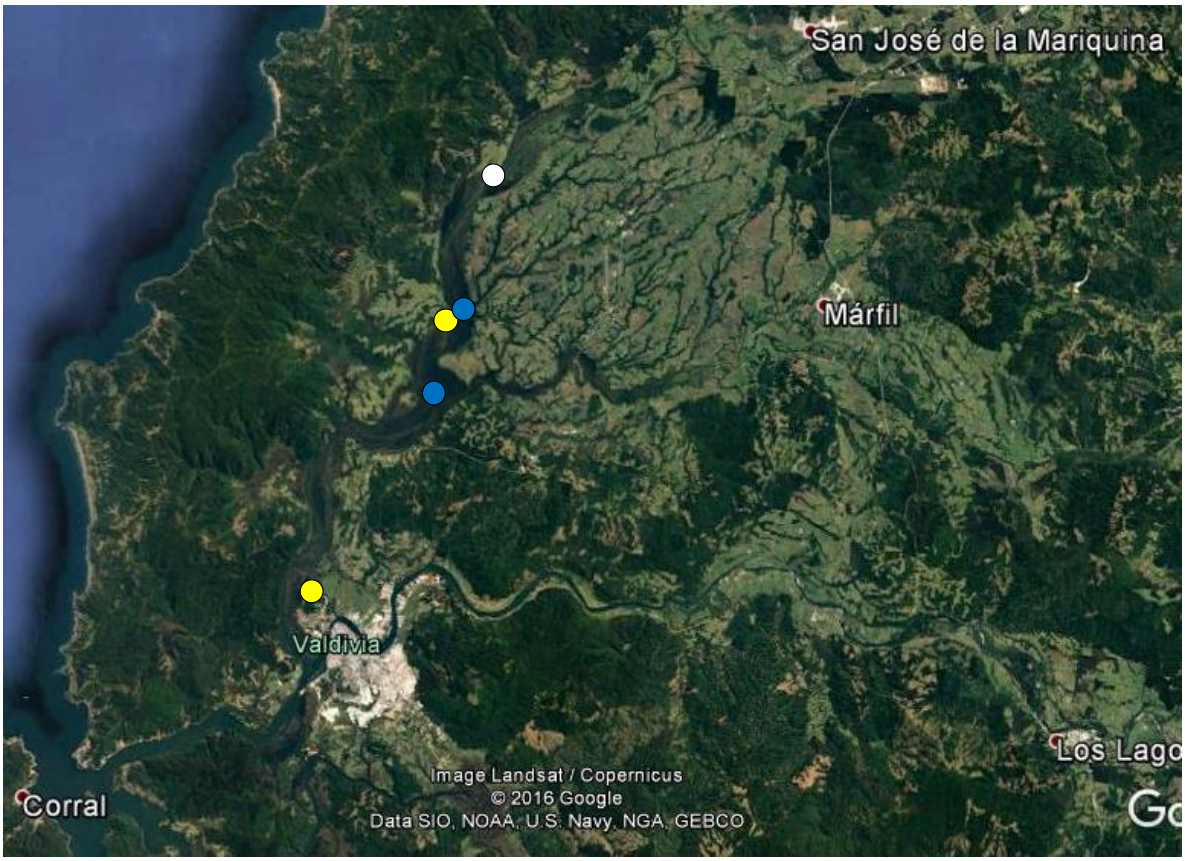


Figura 4.2.7.3.1. Ubicación general de los sitios de muestreo seleccionados para realizar el monitoreo de la avifauna asociada a las riberas del Humedal Río Cruces. Los puntos amarillos indican las áreas de captura de aves canoras (Orden Paseriformes) con redes de niebla; los puntos azules indican la 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* spp.

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 ha llevado 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 ha 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 ha resultado 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 el presente informe se han realizado 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 paraguiae*, 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: $D = (1 / 2L) * \sum (1 / r_i)$.

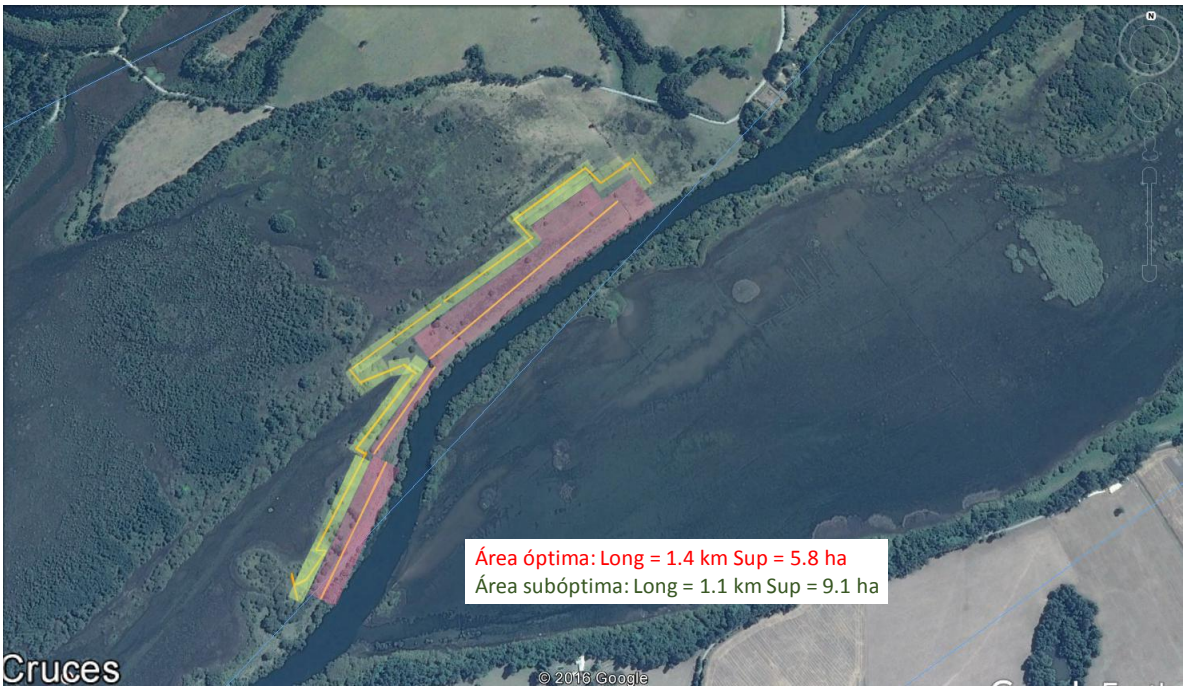


Figura 4.2.7.3.2. Transectos y superficies de hábitat potencial para becasina común *Gallinago paraguaie*, en las dos zonas predefinidas *a priori* según características de humedad del sustrato.

• 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 han realizado 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 este Capítulo se muestran resultados hasta diciembre del año 2018; ver más adelante), 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 un hábitat de pajonal con gran potencia y, por tanto, mucho más homogéneo en TN.

La mayoría de los individuos capturados han sido marcados mediante anillos metálicos (Resoluciones Exentas SAG 8632/2015, SAG 7219/2016); se exceptúa al Picaflor chico *Sephanoides sephaniodes* para el que no hay anillos *ad hoc* disponibles. Se obtuvo una muestra de sangre de los ejemplares de las especies modelo cuyo tamaño lo permite. 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 han registrado 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 ha extraído 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 comenzado a realizar comparaciones entre sectores incluyendo las tres primeras 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 consiguieron monitorear 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 ha monitoreado el éxito reproductivo de un total de 84 nidos acumulados a lo largo de estas 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.

	n°nidos activos	n°nidos exitosos	puesta modal	% eclosión	éxito reproductor	productividad
Colonia A	36	25	3	83 ± 18	2.6 ± 0.7	1.6
Colonia 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 volanderos 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).

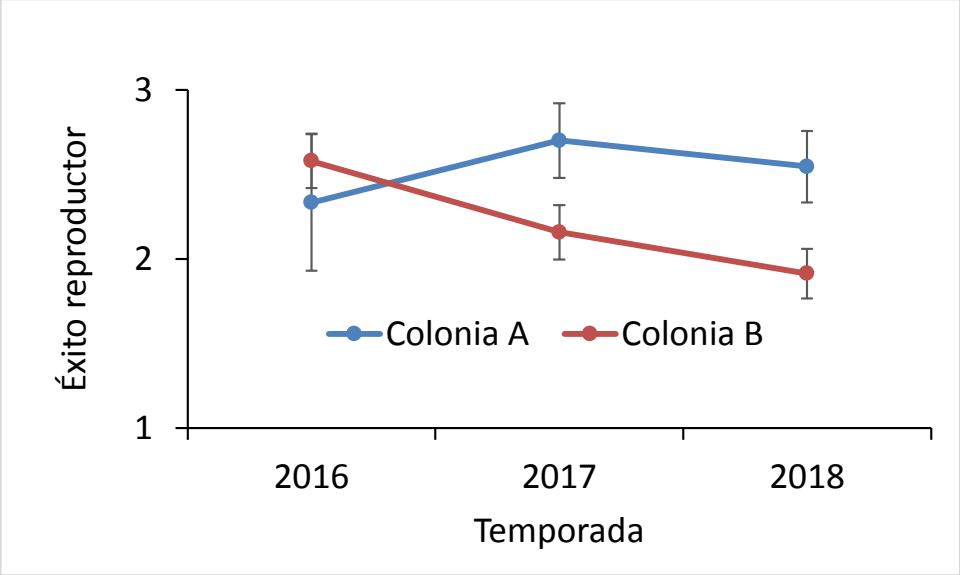


Figura 4.2.7.3.3 Número (promedio ± DT) de pollos volanderos producidos en cada una de las dos colonias estudiadas a lo largo de tres temporadas por cada pareja de Garza cuca que fue exitosa en la reproducción (i.e. al menos produjo un pollo volandero; ver texto para detalles específicos).

En general las garzas produjeron en promedio 1.6 pollos volanderos 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 2018, se realizaron muestreos mensuales (n=34) en el área seleccionada. Únicamente no se pudieron realizar cuatro muestreos por impedimentos logísticos relacionados a factores climáticos. Se produjeron un total de 195 intercepciones de Becasina común *Gallinago paraguiae* (*a priori G.p. magellanica*; Vidal *et al.,* 2016), detectándose 225 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 densidad promedio (±SE) estimada durante estos tres ciclos anuales completos fue de 1.5 ± 0.2 (rango: 0.2 – 5.6) becasinas·ha^{-1} (Fig. 4.2.7.3.4). Casi todas las intercepciones se produjeron en el sector predefinido con una mayor humedad general del sustrato, 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).

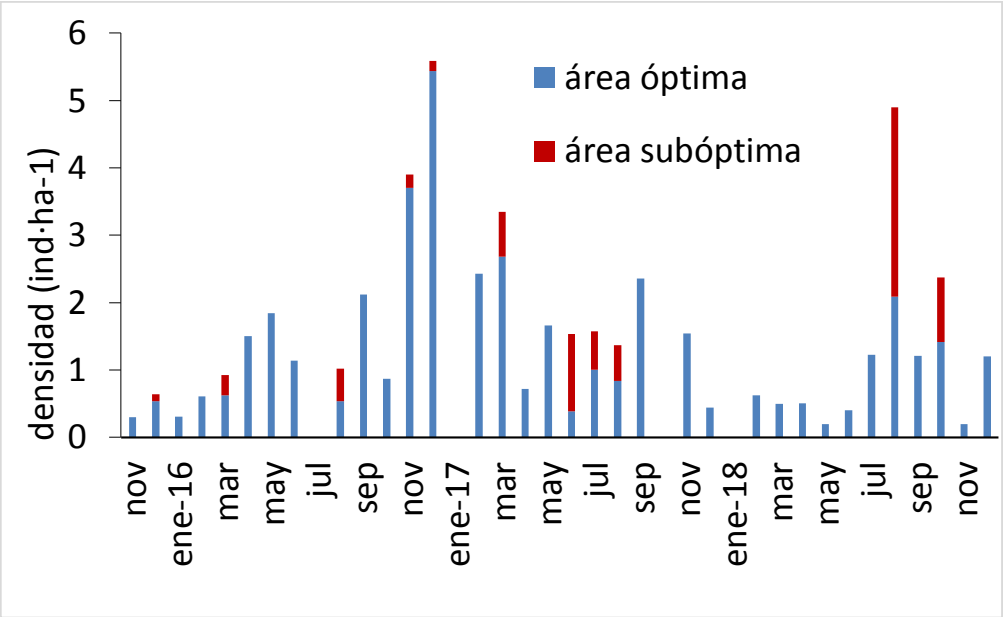


Figura 4.2.7.3.4. Densidad mensual estimada de becasinas en el área óptima y subóptima predefinidas en la zona monitoreada durante los muestreos realizados en el período noviembre 2015 – diciembre 2018 (ver texto para detalles específicos).

Los datos obtenidos durante las tres primeras temporadas completas muestran marcadas oscilaciones mensuales sin un claro patrón fenológico, y una gran variabilidad interanual. A pesar de esta gran variabilidad, cuando se agrupan los datos por estaciones no se registran diferencias significativas (Kruskal-Wallis $H_{3,34} = 1.19$; $p = 0.76$) (Fig. 4.2.7.3.5).

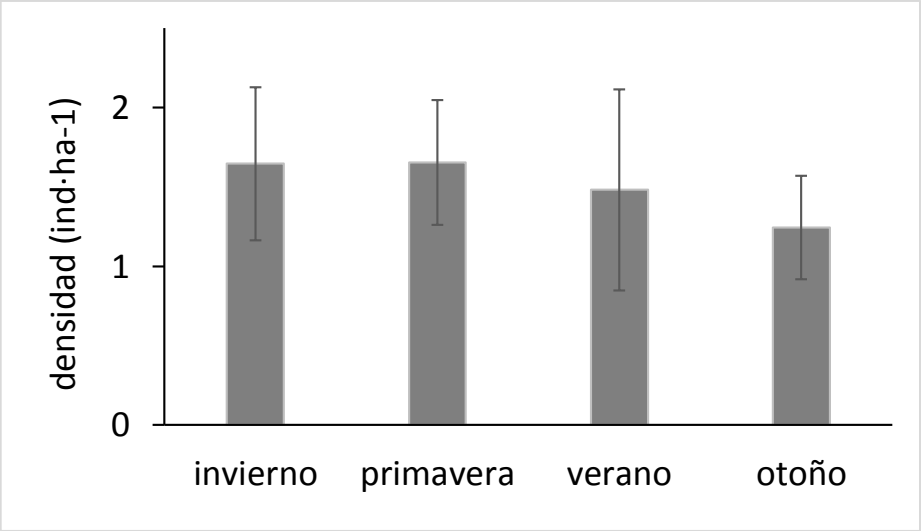


Figura 4.2.7.3.5. Densidad estacional (promedio±DT) de becasinas en la zona monitoreada durante los muestreos realizados en el período noviembre 2015 – diciembre 2018 (ver texto para detalles específicos).

Estas oscilaciones mensuales podrían indicar que la zona alberga individuos migrantes, que es un área de reproducción y/o que puede albergar de forma temporal 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 'tamaño de hogar' entre 1 y 7.5 km^2 (Cline & Haig, 2011).

Las becasinas de la subespecie más austral *Gallinago paraguiae magellanica* 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.,* 2016). 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.,* 2016). Cabe destacar que en esta última temporada se ha encontrado un nido activo 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 estimada en la zona sería de entre 19 y 34 becasinas, por lo que serían varias parejas las que se podrían estar reproduciendo en este sector. Por su parte, la zona podría albergar durante algunos inviernos individuos migratorios procedentes de zonas más australes.

De cualquier modo, la variabilidad mensual de la densidad sugiere que el área monitoreada varía en sus condiciones generales probablemente relacionadas con la pluviosidad acumulada (*e.g.*, Cline & Haig, 2011), y que en determinados períodos es capaz de albergar una población notable de becasinas. En este sentido según la estimación de densidad obtenida, la mayor abundancia en el sector monitoreado (*circa* 15 ha) podría ascender a cerca de 90 becasinas.

• Vegetación palustre (pajonales)

Durante los tres primeros ciclos anuales completos (noviembre 2015-diciembre 2018) se han registrado 1246 capturas, 1203 de ellas correspondientes a 1026 ejemplares

de 22 especies del Orden Passeriformes (Tabla 4.2.7.3.2). No se han tenido en cuenta para los subsiguientes análisis 39 capturas de Picaflor chico, 3 de Chuncho *Glaucidium nanum* y 1 de Huairavillo *Ixobrichus involucris*. El promedio (±SE) de capturas por unidad de esfuerzo fue básicamente el mismo en ambas zonas (3.6 ± 0.3 aves·h^{-1}). En ambas zonas la especie más abundante fue el Siete colores, aunque su contribución a la abundancia total fue mucho mayor en TN (68%) que en SM (26%). Las siguientes especies fueron capturadas en ambas zonas con regularidad y abundancia suficiente para poder realizar comparaciones entre ambos sectores muestreados: Siete colores (N=588), Fío-fío (N=128), Cachudito (N=119) y Trabajador (N=58). Las especies capturadas incluyen dos migratorias (*E. albiceps* y *H. perspicillata*), así como otras que disminuyen drásticamente en número durante el invierno y que se requiere seguir muestreando para poder dilucidar si realizan movimientos periódicos anuales (*e.g.*, *S. luteola*).

Tabla 4.2.7.3.2. Capturas de aves realizadas en cada uno de los sectores seleccionados de vegetación palustre durante los muestreos realizados en el período noviembre 2015 – diciembre 2018 (ver texto para detalles específicos). * no considerada en los cálculos de riqueza de especies y diversidad.

Especie	Santa María	Teja Norte
Cachudito	80	39
Chercán	42	3
Chercán de las Vegas	7	13
Chincol	1	
Chirihue	81	1
Churrín de la Mocha		3
Chuncho *	2	1
Churrín del Sur		2
Colilarga	19	14
Comesebos	1	
Diucón	1	1
Fío-fío	94	34
Huairavillo *		1
Jilguero	47	1
Mirlo		2
Picaflor *	33	6
Rayadito	3	7
Run-run	11	3
Sietecolores	161	427
Tijeral	1	2
Tordo	1	
Trabajador	12	46
Trile	19	16
Viudita	3	3
Zorzal austral	2	
Total general	**621**	**625**

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 otras tres especies fueron capturadas únicamente en este último sector. De forma general, en el

HRC se registra un incremento de las capturas aparejado al aumento de la riqueza específica entre noviembre y enero, reduciéndose en febrero (Fig. 4.2.7.3.6). Además, destaca el incremento de abundancia que se registra de forma consistente en marzo y abril, debido al aumento notable de capturas de Siete colores (Fig. 4.2.7.3.6).

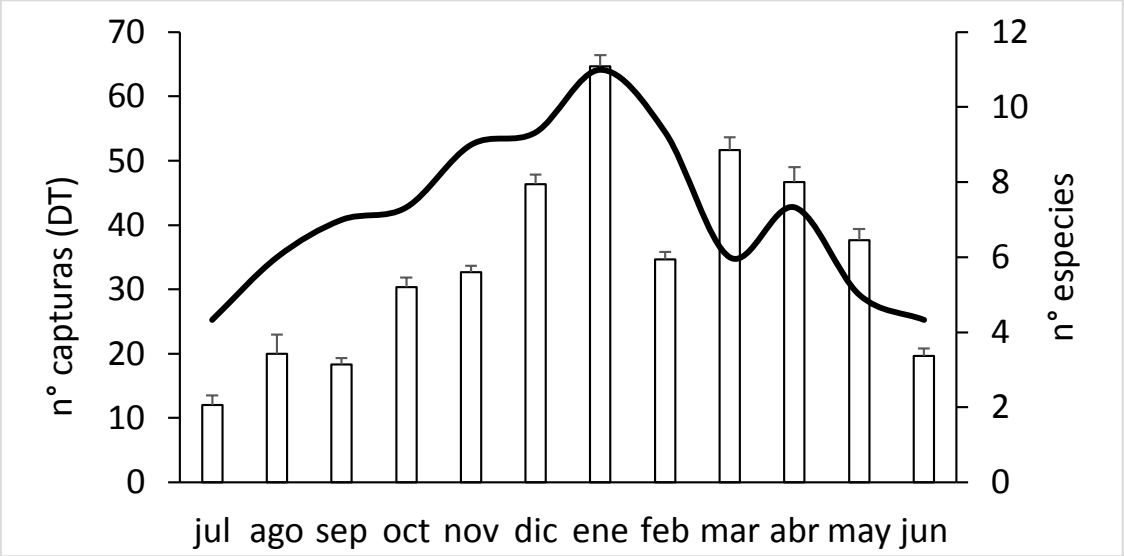
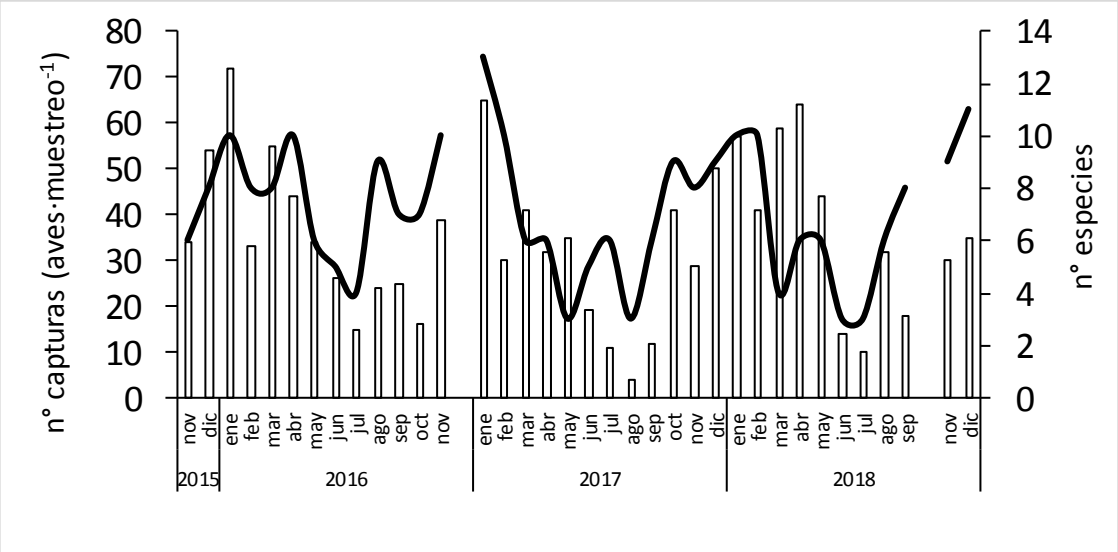


Figura 4.2.7.3.6. Evolución mensual del número de capturas (barras: promedio±DT) y la riqueza específica (línea: n° especies) en el conjunto de ambos sectores durante los muestreos realizados en el período noviembre 2015 – diciembre 2018 (ver texto para detalles específicos).



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.

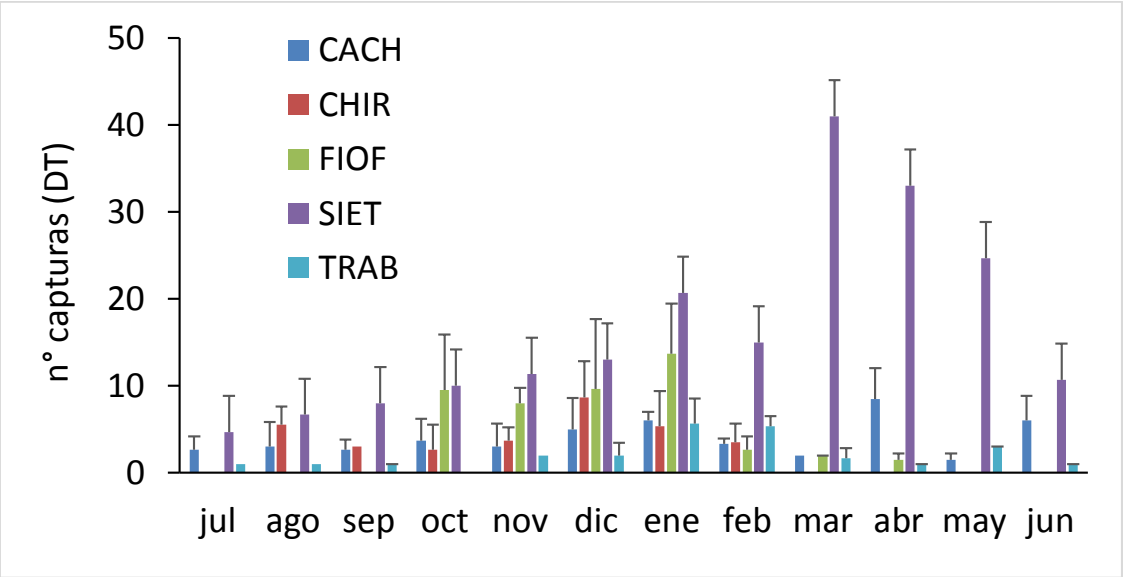


Figura 4.2.7.3.7. Evolución mensual del número de capturas (promedio±DT) de las especies más abundantes en el HRC durante los muestreos realizados en el período noviembre 2015 – diciembre 2018 (ver texto para detalles específicos).

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 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 de esta especie que había pasado desapercibido.

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, desplazándose con mayor asiduidad para sobrealimentarse 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 en los meses de verano, 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.

El índice de biodiversidad de Shannon-Wiener (H´) basado en las comunidades de aves paseriformes osciló entre 0.76 y 2.03, y fue significativamente mayor en SM que en TN (Student $t = 3.097$; $p < 0.0001$) a lo largo de todo el ciclo anual (Fig. 4.2.7.3.8).

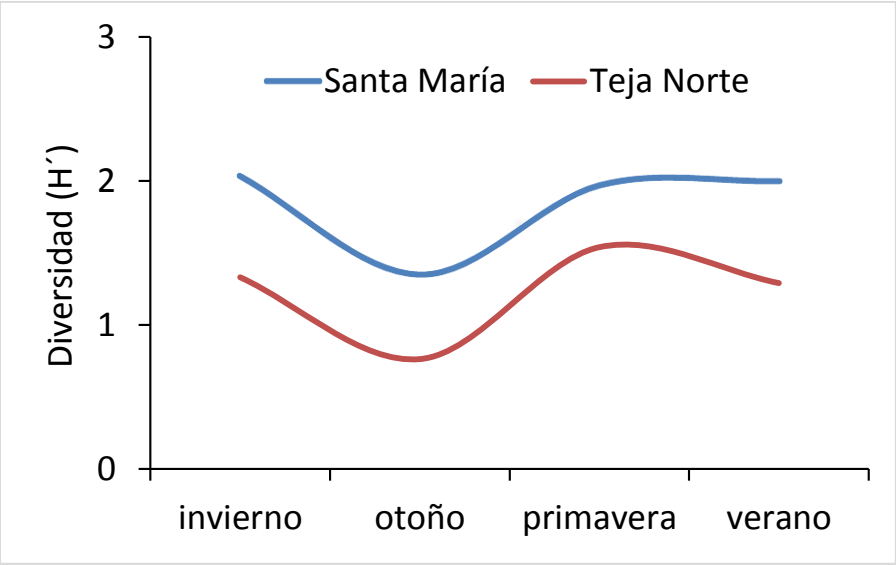


Figura 4.2.7.3.8. Evolución estacional de la diversidad asociada a las comunidades de aves paseriformes en dos áreas del HRC durante muestreos realizados en el período noviembre 2015 – diciembre 2018 (ver texto para detalles específicos).

Aunque de forma general la variación estacional en la diversidad fue similar en ambas zonas, reflejó algunas diferencias. En ambas zonas fue mínima en otoño, aumentando y manteniéndose básicamente constante durante el resto del año en SM. Por su parte, aunque también encontramos el mínimo en otoño y un aumento durante el invierno y la primavera en TN, se registra una disminución cuando llega el verano. 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. Asimismo, la disminución en la diversidad que se produce en TN en verano se explica por la mayor dominancia del Siete colores en esta zona, lo que produce un mayor aumento de la

homogeneidad en la comunidad a finales del verano, coincidiendo con el máximo de abundancia anual de esta especie (Fig. 4.2.7.3.7).

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, hasta la fecha se han analizado 32 muestras de sangre de diferentes especies, 9 en TN y 23 en SM. Aunque el tamaño muestral sigue siendo bajo ha permitido establecer los valores medios y rangos de variación para las especies modelo en los análisis a realizar durante los subsiguientes años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC.

En este sentido, *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 que hasta el momento 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 están cerca de ser significativas en esta especie ($F = 4.07$; $P = 0.07$), y no están relacionadas con la época de captura.

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).

Aunque las diferencias no son estadísticamente significativas, los mayores niveles de BHB en el área de SM indican 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 con gran movilidad, puede ser diferente. Una posible explicación podría ser que TN sea un área principalmente de alimentación 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.

Por su 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.

Los resultados preliminares obtenidos analizando únicamente aves adultas (n = 188) indican que existen diferencias significativas entre ambas zonas en la condición corporal de la especie más abundante (ANOVA $F = 5.66$; $p = 0.02$), siendo mayor en TN (Valle, 2018). En lo relativo a la estacionalidad, también se registran diferencias significativas (ANOVA $F = 5.35$; $p = 0.002$), siendo mayor el SMI del Siete colores durante el verano respecto a las otras estaciones (Valle, 2018). La interacción de ambos factores indica diferencias marginalmente significativas (ANOVA $F_{1,3} = 2.39$; $p = 0.05$) (Valle, 2018). Futuros análisis incluyendo un mayor número de individuos mostrarán si los mayores valores en el SMI en TN de la especie

más abundante en los pajonales del HRC se produce únicamente en algunas estaciones del año.

Supervivencia aparente

Hasta la fecha se han registrado 180 recapturas correspondientes a 149 individuos de nueve especies. Teniendo en cuenta que se han capturado y marcado un total de 1026 individuos de 22 especies, la tasa de recaptura general es de 0.15, siendo un punto mayor 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 2018 (ver texto para detalles específicos).

Especie	SM	TN
CACH	38%	22%
CHERVE	11%	
CHERVE	17%	44%
CHIR	3%	
COLI	90%	56%
FIOF	11%	3%
SIET	25%	12%
TRAB	33%	7%
VIUD		50%
TOTAL	**20%**	**13%**

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 hasta 5 y 6 ocasiones a lo largo de estos tres 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.

La mayoría de las recapturas obtenidas (58%) corresponden a individuos recapturados en la misma temporada en la que fueron capturados por primera vez, siendo mayor este porcentaje en SM (68%) que en TN (46%). Por ello, en base únicamente 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, 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 (0.08) (Tabla 4.2.7.3.4) No obstante, estos resultados de la tasa de recaptura anual son muy variables y, en cualquier caso, deben ser tomados con cautela hasta poder analizar varias temporadas consecutivas, idealmente un mínimo de cuatro (Thomson *et al.*, 2009).

Tabla 4.2.7.3.4. Tasa de recaptura anual (promedio±DT) de las tres especies más abundantes en dos áreas del HRC durante muestreos realizados en el período noviembre 2015 – diciembre 2018 (ver texto para detalles específicos).

Especie	SM	TN
Cachudito	0.11 ± 0.02	0.20 ± 0.00
Fio fio	0.06 ± 0.01	0
Siete colores	0.06 ± 0.06	0.04 ± 0.06
General	**0.08 ± 0.04**	**0.09 ± 0.10**

A modo de ejemplo, de los 15 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 recapturaron dos de esos 15 individuos marcados de la primera cohorte, y ninguno de ellos se había recapturado en la segunda. Con la información de las recapturas que se obtengan al final de esta cuarta temporada 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.

De cualquier modo, la ausencia de recapturas anuales de Fío-fío en TN da un soporte adicional a los análisis preliminares relacionados con la condición corporal comparada en ambas zonas del HRC, que sugieren que TN es un área principalmente de alimentación para esta especie.

4.2.7.3.5. Conclusiones

• Se ha recabado información durante tres ciclos anuales completos sobre la composición y estructura estacional de la comunidad de aves Passeriformes que habitan las áreas de vegetación palustre. Los resultados obtenidos han permitido determinar y monitorear la fenología de las especies más representativas aportando así información esencial para la gestión del HRC.

• La estructura del ensamble parece en general diversa, asociada a la diferente composición de la vegetación. Se registran oscilaciones estacionales regulares derivadas de la fenología de las diferentes especies, sin grandes variaciones interanuales dentro de cada zona de muestreo.

• El Siete colores *Tachuris rubrigastra* es sin duda la especie dominante en estos hábitats, estando la comunidad compuesta 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 dentro del HRC.

• Hasta el momento se han recapturado más del 15% de los individuos marcados en ambas zonas del HRC, la mayoría de cuatro especies estructurales, siendo muy similar en todas las temporadas. La probabilidad de recaptura es aparentemente menor al 30%. Continuar ajustando ambos parámetros durante las siguientes temporadas del Monitoreo permitirá finalmente estimar la tasa de supervivencia anual de las aves Passeriformes que habitan las riberas del HRC, incluyendo las migratorias.

• Se han obtenido los primeros cálculos de la condición corporal aparente basados en el SMI de la especie más abundante, registrándose mayores valores del SMI en TN y en el verano. 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 paseriformes.

• La productividad general de las dos colonias de Garza cuca *Ardea cocoi* monitoreadas durante estas tres primeras temporadas (en promedio unos 40 nidos por temporada) fue

de 1.6 pollos volanderos por cada pareja que inició la reproducción. Se han registrado 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 paraguaie magellanica*, con variaciones interanuales muy notables probablemente relacionadas con la pluviosidad acumulada, y densidades muy superiores a otros estudios con especies afines en Norteamérica. En determinados períodos el sector monitoreado podría albergar casi 100 becasinas. Se ha certificado por primera vez la reproducción de esta especie en el HRC.

4.2.7.3.6. Referencias

Arizaga, J., J.I. Deán, A. Vilches, D. Alonso, A. Mendiburu. 2011. Monitoring communities of small birds: a comparison between mist-netting and counting. Bird Study 58: 291–301.

Carroll, J.M., D.G. Krementz. 2014. Density and abundance of Wilson's snipe *Gallinago delicata* in winter in the Lower Mississippi Flyway, USA. Wildlife Biology 20: 108-114.

Cline, B.B., S.M. Haig. 2011. Seasonal, movement, residency and migratory patterns of Wilson's snipe (*Gallinago delicata*). Auk 128: 543–555.

Couvé, E., C.F. Vidal, J. Ruiz. 2017. Aves de Chile, sus Islas Oceánicas y Península Antártica: Una Guía de Campo Ilustrada. Fantástico Sur Ediciones, Chile.

González-Acuña, D., R. A. Figueroa, R. A. González, C. Barrientos, K. Ardiles, L. Moreno. 2008. Biología reproductiva de la Garza Cuca (*Ardea cocoi*) en el centro-sur de Chile. Ornitología Neotropical 19: 485–493.

Jiménez, J.E., A.E. Jahn, R. Rozzi, N.E. Seavy. 2016. First documented migration of individual White-crested Elaenias (*Elaenia albiceps chilensis*) in South America. The Wilson Journal of Ornithology 128:419-425.

Lagos, N.A., P. Paolini, E. Jaramillo, C. Lovengree, C. Duarte, H. Contreras. 2008. Environmental processes, water quality degradation, and decline of waterbird populations in the río Cruces wetland, Chile. Wetlands 28: 938-950.

Lara, J., C. Barrientos, K. Ardiles, L. Moreno, R. Figueroa, D. González-Acuña. 2011. Biología reproductiva del Trabajador (*Phleocryptes melanops*) en el centro-sur de Chile. Ornitología Neotropical 22: 121–130.

Lyons, J.E., J.A. Collazo, G.G. Guglielmo. 2008. Plasma metabolites and migration physiology of semipalmated sandpipers: refueling performance at five latitudes. Oecologia 155: 417-427.

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.

Navedo J.G., S. Hahn, M. Parejo, J.M. Abad-Gómez, J.S. Gutiérrez, A. Villegas, J.M. Sánchez-Guzmán, J.A. Masero. 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.

Peig, J., A.J. Green. 2010. The paradigm of body condition: a critical reappraisal of

current methods based on mass and length. Functional Ecology 24: 1323-1332.

Pretelli, M.G., M.L. Josens, A.H. Escalante. 2012. Breeding Biology at a Mixed-Species Colony of Great Egret and Cocoi Heron in a Pampas Wetland of Argentina. Waterbirds 35: 35-43.

San Martín C., R. Medina, P. Ojeda, C. Ramírez. 1993. La biodiversidad vegetacional del Santuario de la Naturaleza 'Río Cruces' (Valdivia, Chile). Acta Botanica Malacitana 18: 259-279.

Schlatter, R.P., R.A. Navarro, P. Corti. 2002. Effects of El Niño southern oscillation on numbers of black-necked swans at Río Cruces Sanctuary, Chile. Waterbirds 25: 114-122.

Silva, C.P., R. Sepúlveda, O. Barbosa. 2016. Nonrandom filtering effect on birds: species and guilds response to urbanization. Ecology and Evolution 6: 3711–3720.

Tellería, J.L. 1986. Manual para el censo de los vertebrados terrestres. Ed. Raíces, Madrid.

Thomson D.L., E.G. Cooch, M.J. Conroy. 2009. Modeling demographic processes in marked populations. Ed. 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., P. Wiersma, G.M. Kirwan. 2016. South American Snipe (*Gallinago paraguaiae*). In: del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D.A. & de Juana, E. (eds.). Handbook of the Birds of the World Alive. Lynx Edicions, Barcelona. (retrieved on 23 december 2016).

Vergara, P.M., P.A. Marquet. 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: 1059-1071.

Victoriano, P.F., A.L. González, R. Schlatter. 2006. Estado de conocimiento de las aves de aguas continentales de Chile. Gayana 70: 140-162.

Wagner, D.N., D.J. Green, M. Pavlik, J. Cooper, T.D. Williams. 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: 10.1093/conphys/cou017

Ward, J.V. 1998. Riverine landscapes: Biodiversity patterns, disturbance regimes, and aquatic conservation. Biological Conservation 83: 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, otros 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, este afectaría negativamente las poblaciones de especies nativas a tal punto que son consideradas la segunda mayor causa 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 a partir de censos realizados a lo largo de las riberas del humedal del río Cruces (HRC), sus ríos tributarios y parte de los ríos Calle Calle y Valdivia, durante el cuarto año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2018 - marzo 2019). También se comparan estos resultados con los resultados obtenidos durante los tres primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2015-marzo 2018) y durante el Programa de Diagnóstico Ambiental ya ejecutado.

4.2.8.2. Objetivos

- Estudiar 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 cuarto año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2018 - marzo 2019).
- Comparar los resultados obtenidos durante el cuarto año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, con aquellos resultantes de los tres primeros años de este programa y con los del Programa de Diagnóstico Ambiental (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 eventuales avistamientos de coipos, huillines y visones en las riberas del área de estudio (Fig.4.2.8.1).

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 Ambiental del HRC.

año y Programa	**período**	**fechas de salidas para eventuales avistamientos**
Cuarto año Monitoreo Ambiental	abril 2018 - marzo 2019	18 - 20 abril 2018
		17 - 19 julio 2018
		02 - 05 octubre 2018
		18 - 19 enero 2019
		06 - 08 marzo 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

La Figura 4.2.8.1 muestra los polígonos de muestreo, para determinar y evaluar la presencia de coipos, huillines y visones en el área de estudio. En cada uno de los mismos se revisaron secciones lineares o transectos ordenados visualmente a lo largo de las riberas y cuyas longitudes aproximadas fueron de 500 m. Los puntos iniciales y finales de cada sección linear se georreferenciaron en coordenadas UTM (huso WGS-84) con un GPS (Global Position System) GARMIN 60CSx. Se anotó la presencia de estos mamíferos acuáticos, los que fueron observados desde un bote Zodiac (ver Tabla 1 del ANEXO 1).

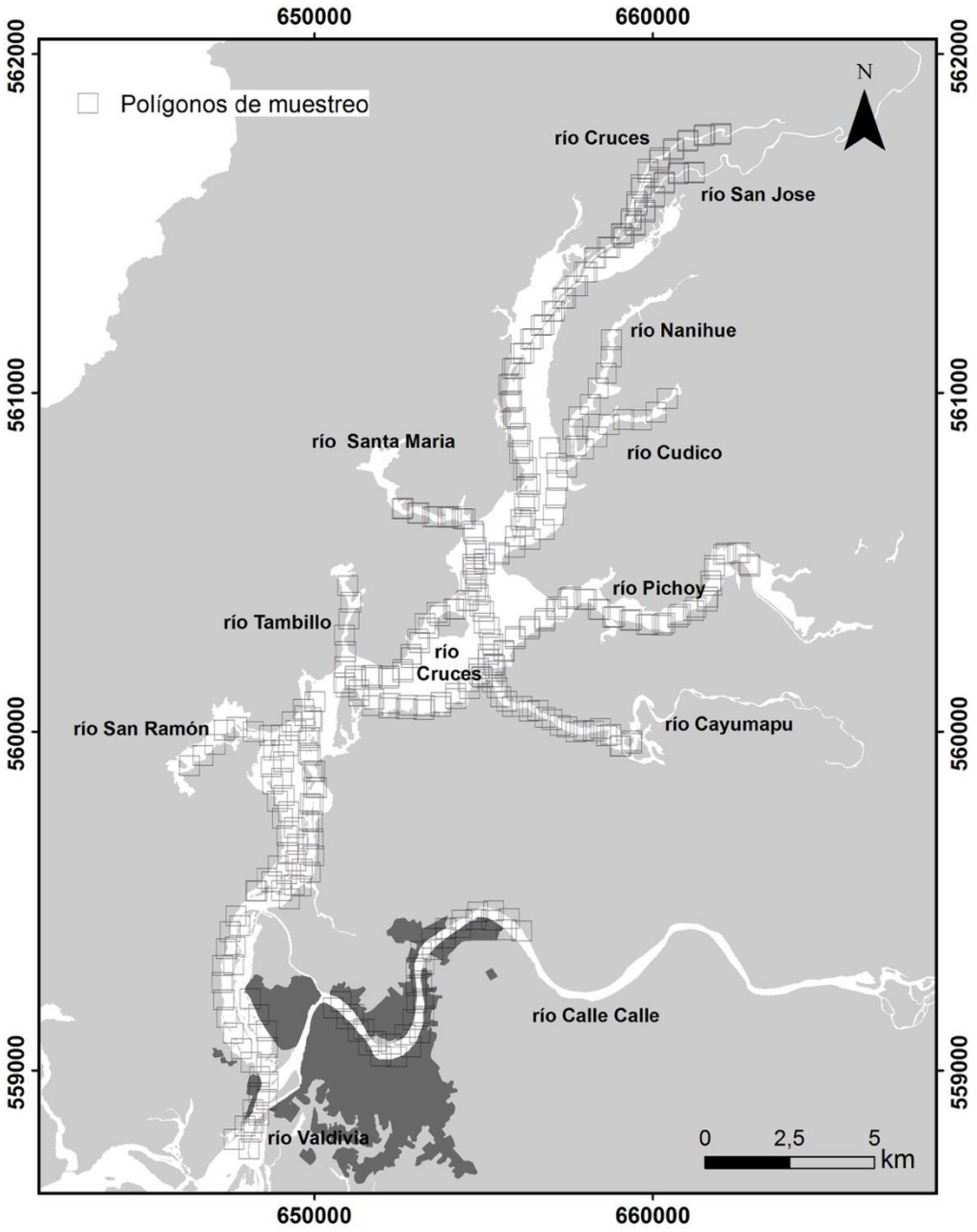


Figura 4.2.8.1. Distribución de polígonos de aproximadamente 500 m de longitud, destinados a evaluar la eventual presencia y distribución espacial de coipos, huillines y visones en el área de estudio.

En complemento a las campañas destinadas específicamente al eventual avistamiento de mamíferos acuáticos, se registró todo avistamiento directo de coipos, huillines y visones en el área de estudio, así como también la actividad biológica de los mismos (*e.g.* huellas, madrigueras, fecas, comederos, etc.).

Todos estos datos han sido incluidos en la Tabla 2 del ANEXO 1, antecedentes complementarios a los recorridos programados del Monitoreo Ambiental del HRC.

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 de los Programas de Monitoreo y Diagnóstico Ambiental del HRC (ver también Tabla 1 del ANEXO 1).

Los avistamientos realizados durante las cinco campañas del cuarto año del Programa de Monitoreo (abril, julio y octubre del año 2018, enero del año 2019), detectaron la presencia de coipos, visones y huillines en el área de estudio, presentándose las tres especies objeto de análisis (Fig. 4.2.8.2).

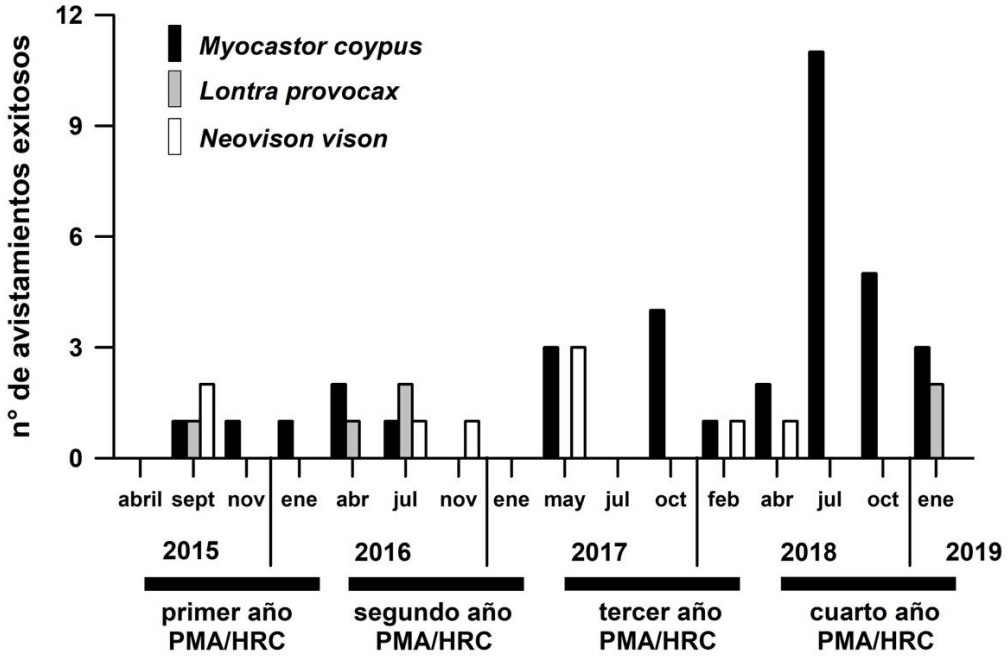


Figura 4.2.8.2. Número de avistamientos de Coipo (*Myocastor coypus*), Huillín (*Lontra provocax*) y Visón (*Neovison vison*), realizados durante los recorridos planificados como parte de las actividades de los Programas de Monitoreo (PMA/HRC) y Diagnóstico Ambiental del HRC (PDA/HRC).

Durante todas las campañas correspondientes al cuarto año del Programa de Monitoreo se realizaron avistamientos exitosos de mamíferos, siendo julio el mes que registró el mayor número de observaciones de coipos (11 individuos), siendo este número el más alto de todos los avistamientos hasta ahora realizados (Figura 4.2.8.2). En todas las campañas del cuarto año del Programa de Monitoreo se observaron coipos; durante febrero y abril 2018 registró la presencia de visones y durante enero 2019 la de huillines (Fig. 4.2.8.2). En su gran mayoría, los avistamientos de coipos ocurrieron en la porción media del HRC y los de huillines en uno de los ríos tributarios del HRC (río Cayumapu) (Fig. 4.2.8.3).

Durante el tercer año del Programa de Monitoreo, mayo 2017 fue el mes con mayor número de avistamientos exitosos con presencia simultánea de coipos y visones (Figura 4.2.8.2). Durante el mes de julio, no se realizaron avistamientos exitosos en el área de estudio; posteriormente y durante el recorrido realizado durante el mes de octubre del año 2017 se avistaron cuatro coipos (Fig. 4.2.8.2). Los avistamientos exitosos de mamíferos acuáticos durante el tercer año del Programa de Monitoreo ocurrieron mayoritariamente aguas arriba del sector San Ramón (Figura 4.2.8.4).

Durante el segundo año del Programa de Monitoreo (abril, julio y noviembre del año 2016 y enero del año 2017) se detectó la presencia de coipos, huillines y visones en el área de estudio, particularmente durante el mes de julio, siendo este el mes con mayor número de avistamientos exitosos y el único con presencia simultánea de las tres especies de mamíferos acuáticos en el área de estudio (Figura 4.2.8.2). En contraste a esto, no se realizaron avistamientos exitosos durante enero del año 2017. La mayor parte de los avistamientos exitosos de mamíferos acuáticos durante este año del Programa de Monitoreo, ocurrió aguas arriba del río Chorocamayo (Figura 4.2.8.5).

Durante el primer año del Programa de Monitoreo (septiembre y noviembre del año 2015 y enero del año 2016), el número de avistamientos exitosos fue en general menor con co - ocurrencia de coipos, huillines y visones en el mes de septiembre del año 2015 (Fig. 4.2.8.2). Los avistamientos realizados en septiembre ocurrieron en el eje central del río Cruces y ríos tributarios (Nanihue y Cayumapu), con excepción de dos individuos de visón avistados en el río Calle- Calle (Figura 4.2.8.6).

En complemento a las campañas programadas, destinadas específicamente al avistamiento de mamíferos acuáticos, se registró todo avistamiento directo de coipos, huillines y visones, en recorridos realizados para otras actividades, de esto se destaca el aumento de estas observaciones durante el cuarto año de Monitoreo, donde hay un significativo incremento en las observaciones de coipos en el área de estudio (Ver Tabla 2 del ANEXO 1).

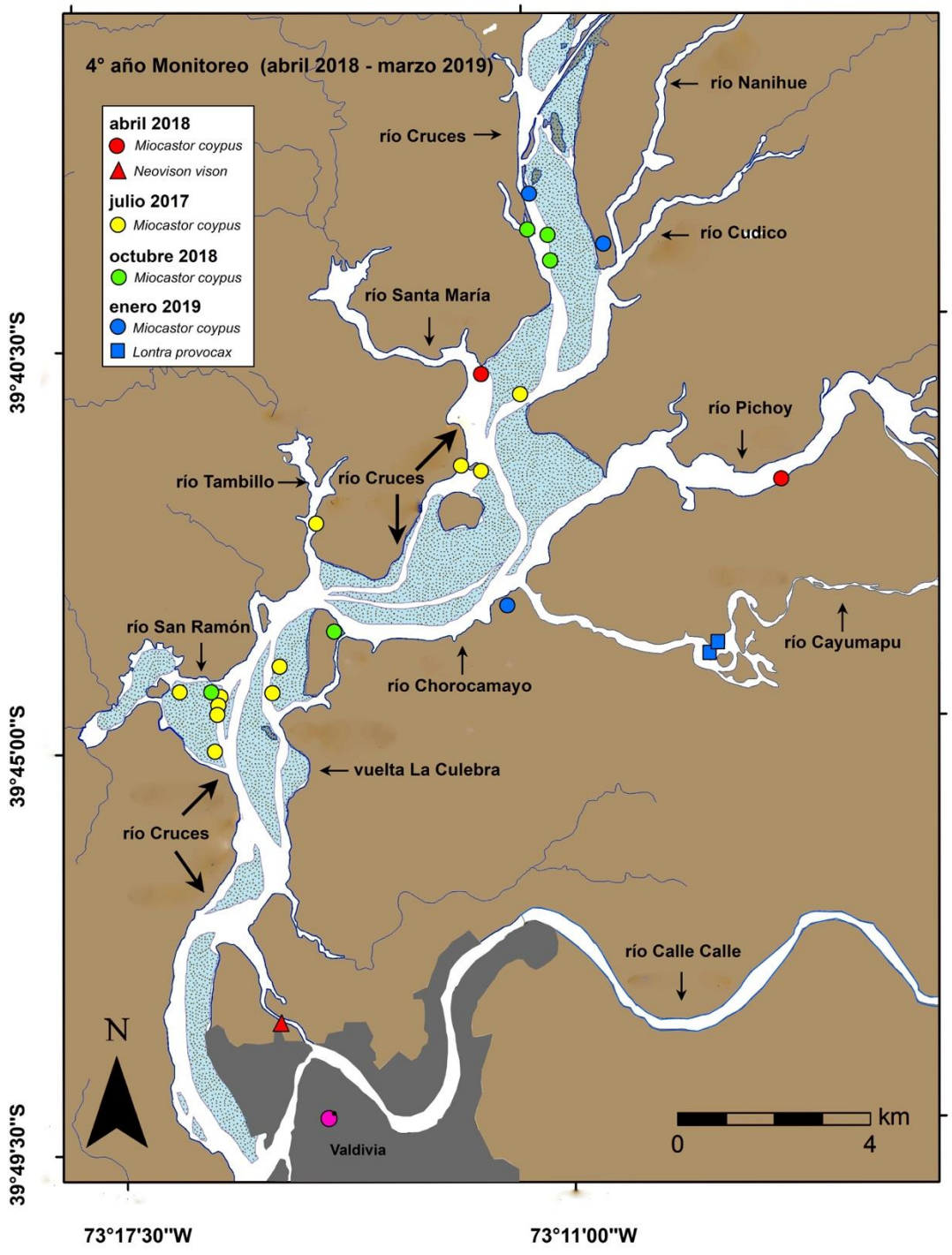


Figura 4.2.8.3. Avistamiento de mamíferos acuáticos realizados durante los recorridos planificados como parte de las actividades del cuarto año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2018- marzo 2019). Los círculos corresponden a coipos, los triángulos a visones y los cuadrados a huillines. Los diferentes colores hacen alusión a diferentes meses de avistamiento.

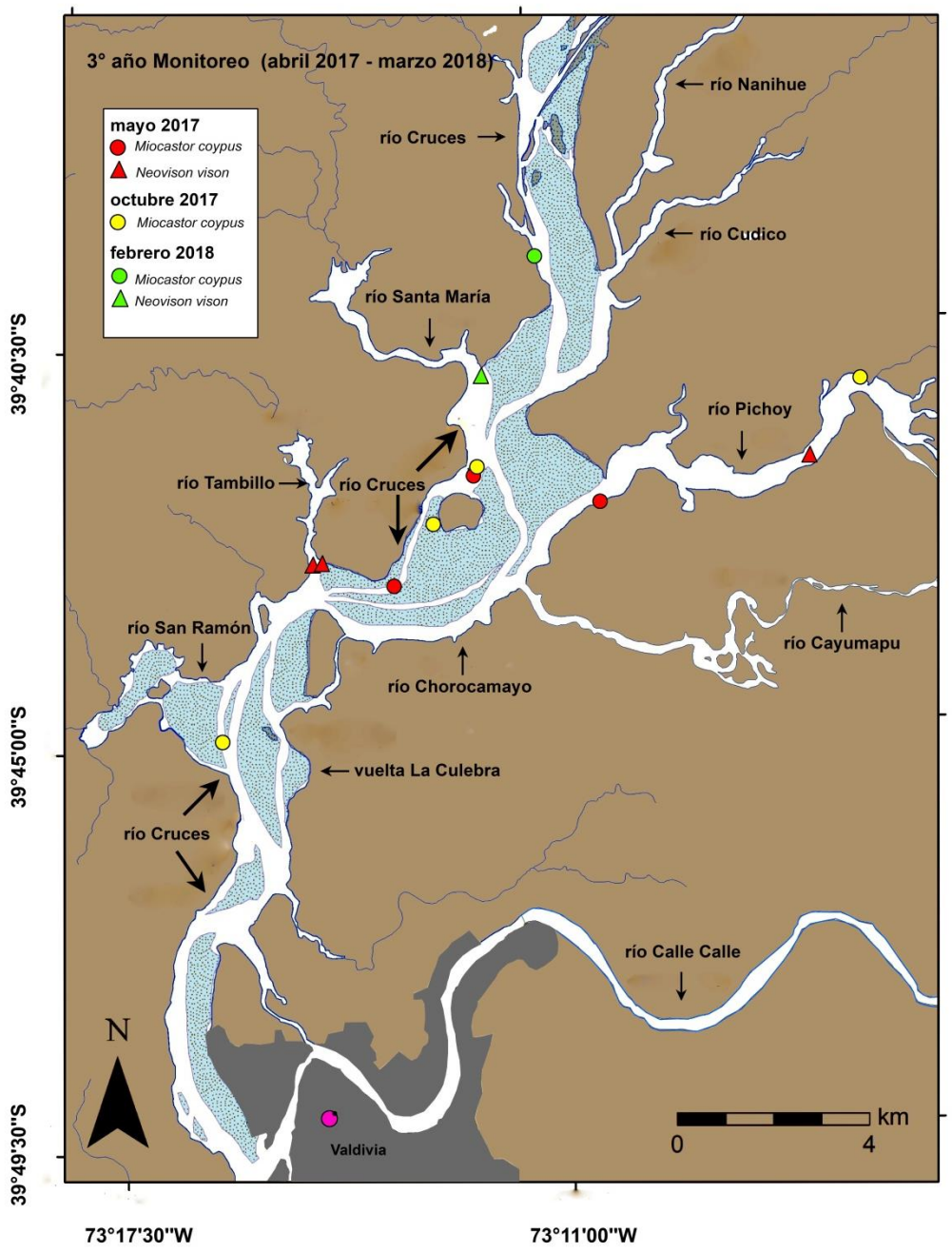


Figura 4.2.8.4. Avistamiento de mamíferos realizados durante los recorridos planificados como parte de las actividades del tercer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2017-marzo 2018). Los círculos corresponden a coipos, los triángulos a visones y los cuadrados a huillines. Los diferentes colores hacen alusión a diferentes meses de avistamiento.

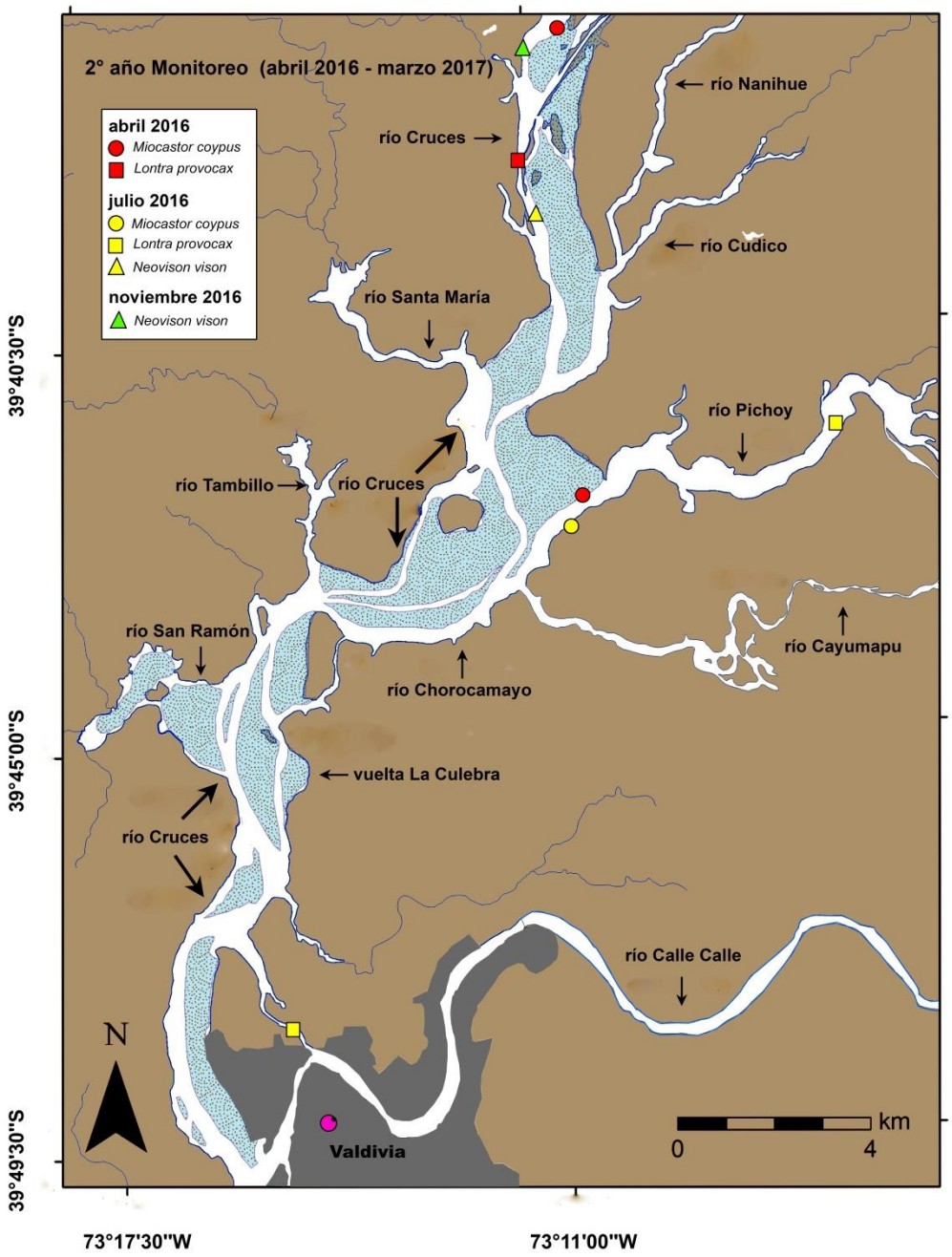


Figura 4.2.8.5. Avistamiento de mamíferos realizados durante los recorridos planificados como parte de las actividades del segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2016-marzo 2017). Los círculos corresponden a coipos, los triángulos a visones y los cuadrados a huillines. Los diferentes colores hacen alusión a diferentes meses de avistamiento.

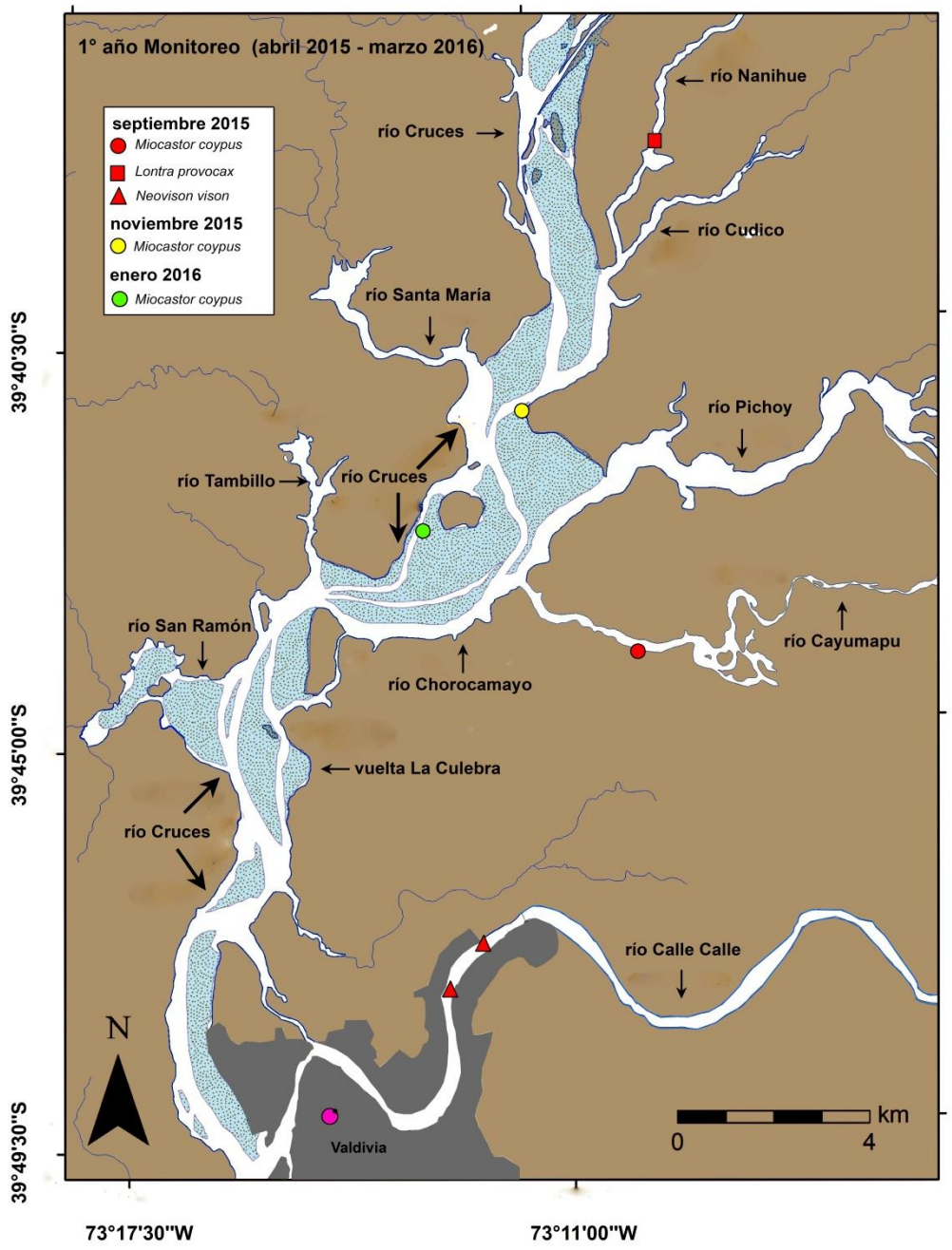


Figura 4.2.8.6. Avistamiento de mamíferos realizados durante los recorridos planificados como parte de las actividades del primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2015-marzo 2016). Los círculos corresponden a coipos, los triángulos a visones y los cuadrados a huillines. Los diferentes colores hacen alusión a diferentes meses de avistamiento.

Las Figuras 4.2.8.7 a 4.2.8.9 sintetizan todos los avistamientos de coipos, huillines y visones, realizados en el área de estudio durante los cuatro años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC.

La mayor parte de los avistamientos exitosos de coipos han sido registrados en la parte media y superior del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios; *i.e.*, aguas arriba del sector San Ramón (Fig. 4.2.8.7).

Las observaciones de huillines se han registrado principalmente en los ríos tributarios del HRC y fuera de este (canal mareal Cau Cau) (Figura 4.2.8.8).

En contraste a lo anterior, los avistamientos exitosos de visones cubren un mayor rango geográfico que los de coipos y huillines; se ha observado a esta especie en la porción superior y media del HRC, en un río tributario (*i.e*. río Pichoy) y fuera del humedal *(i.e.* canal mareal Cau Cau y río Calle - Calle) (Figura 4.2.8.9).

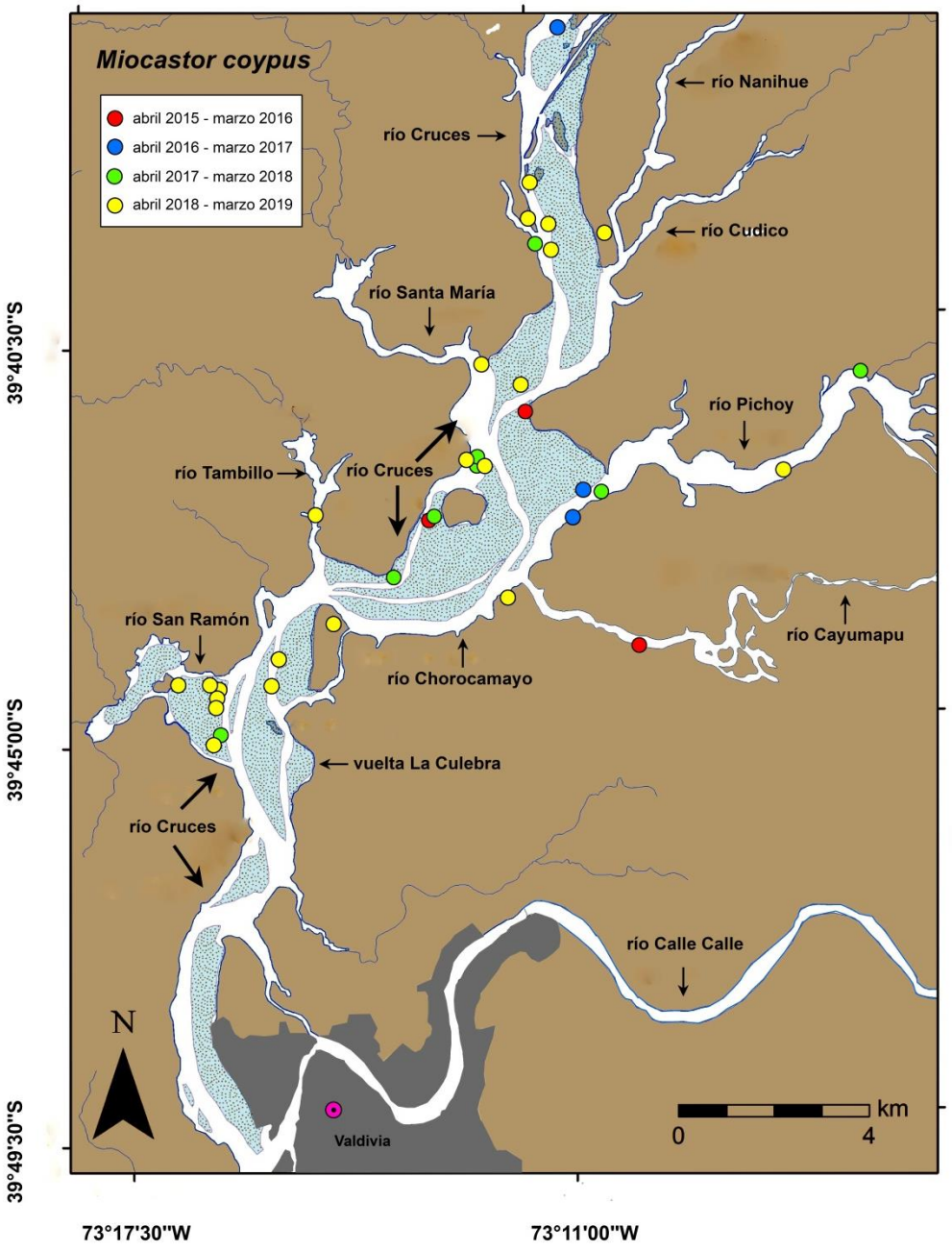


Figura 4.2.8.7. Cartografía de avistamientos de Coipo (*Myocastor coypus*), realizados durante todos los recorridos planificados como parte de las actividades de los cuatro años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC.

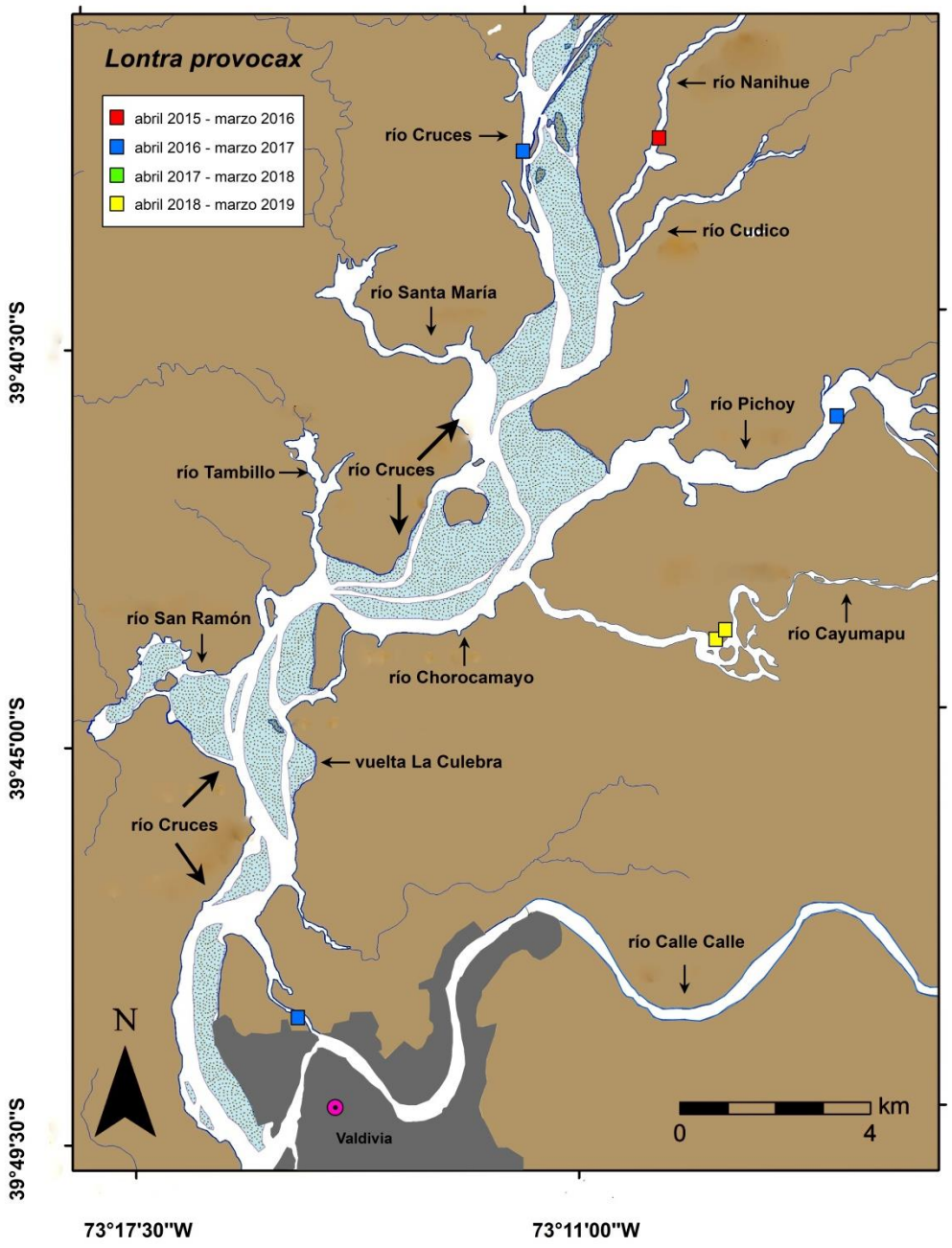


Figura 4.2.8.8. Cartografía de avistamientos de Huillín (*Lontra provocax*), realizados durante todos los recorridos planificados como parte de las actividades de los cuatro años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC.

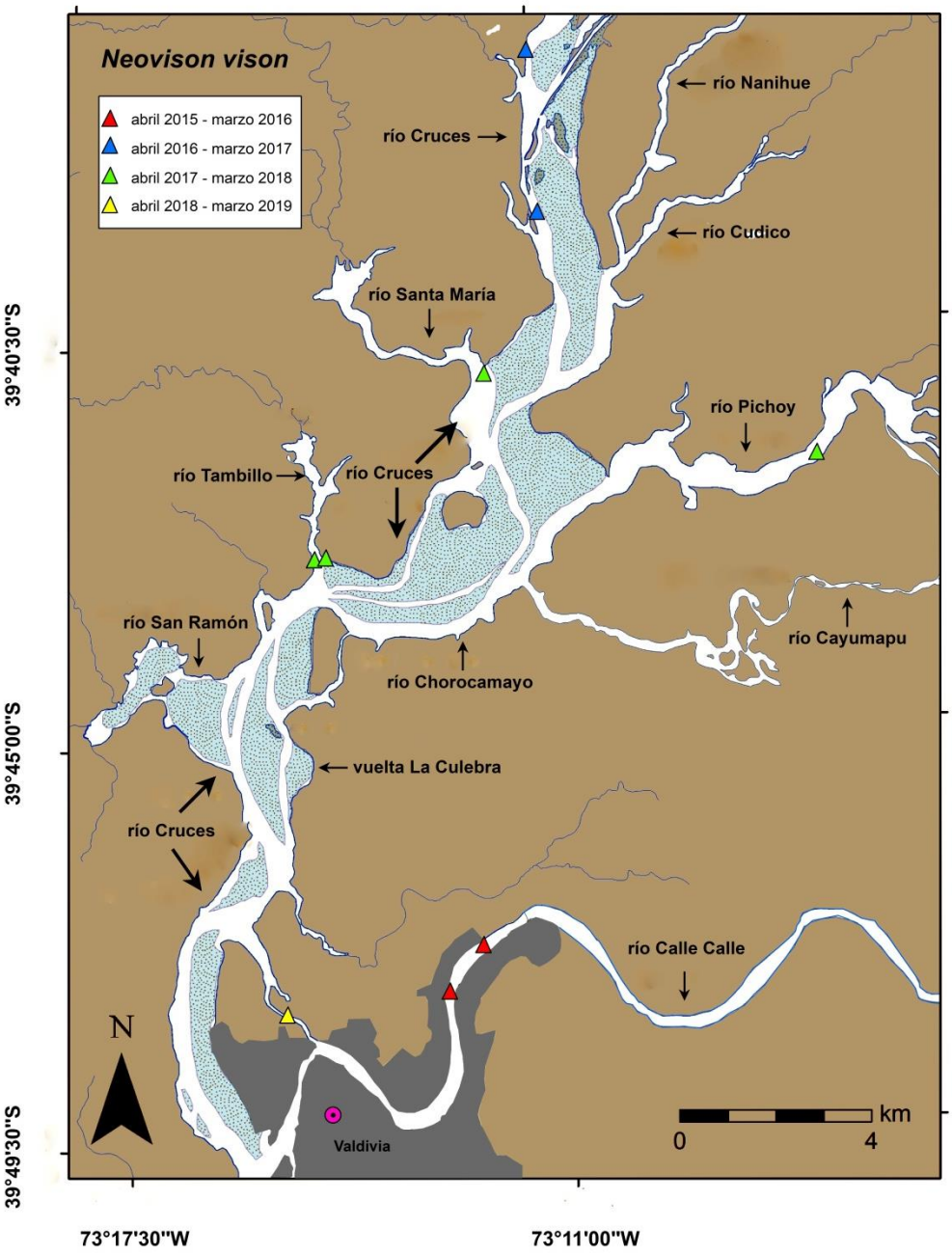


Figura 4.2.8.9. Cartografía de avistamientos de Visón (*Neovison vison*), realizados durante los recorridos planificados como parte de las actividades de los cuatro años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC.

4.2.8.5. Conclusiones

• Destaca la frecuencia de avistamientos no exitosos de mamíferos acuáticos durante los meses de enero, 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.

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.

ANEXO

Tabla 1. Avistamientos exitosos de mamíferos acuáticos en el área de estudio.

Programas y campañas	especie avistada	localización del sector de avistamiento
Cuarto año Programa de Monitoreo (abril 2018 – marzo 2019)		
18- 20 abril 2018	2 coipos	uno nadando porción media río Pichoy, el otro en totorales desembocadura río Santa María.
	1 visón	posado en ribera de canal Cau Cau, cercano a Jardín Botánico UACh.
17- 19 julio 2018	11 coipos	dos en totorales de Vuelta La Culebra, dos posados sobre tronco isla Rialejo (letrero CONAF), tres en totorales desembocadura río San Ramón, uno en totorales interior río San Ramón, uno en totorales 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 Martin.
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 Martin.
	2 huillines	Nadando entre praderas de Ludwigia y Loto en sector medio río Cayumapu.
Tercer año Programa de Monitoreo (abril 2017 - marzo 2018)		
09- 11 mayo 2017	3 Coipos	en totorales rio Cruces, cercanos de 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	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 a Fundo 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, frente a Fundo 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, sus ríos tributarios y porciones de los ríos Calle Calle y Valdivia, durante el desarrollo de los cuatro años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2015 – marzo 2016, abril 2016 – marzo 2017, abril 2017 – marzo 2018 y abril 2018 – marzo 2019).

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 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 Martin	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
río San Ramón	25/09/2018	647950	5600012	X		2 individuos entre totorales
Vuelta La Culebra	25/09/2018	649962	5597757	X		3 individuos entre totorales

Continuación Tabla 2

sector	**fecha**	**coordenadas**		**especies**			**observaciones**
		X	**Y**	**coipo**	**huillín**	**visón**	
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 Martin	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 Martin	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
río 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 Martin	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 Martin	29/01/2019	656107	5606406	X	1 individuo en totorales

Tercer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2017 – marzo 2018).

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
cerca sector planicie Fuerte 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

4.3. ANÁLISIS COMPARATIVOS DE DATOS OBTENIDOS EN PROGRAMAS DE DIAGNÓSTICO 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 ello se aplicó una aproximación teórica utilizando los valores “end point” ecotoxicológicos de bioensayos agudos realizados con Hierro, Aluminio y Manganeso para especies representativas del HRC (Encina *et al*., 2009).

En este contexto y con el objetivo de evaluar las condiciones químicas del agua superficial del área de estudio 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 el Programa de Diagnóstico (abril, mayo y julio 2014) y las obtenidas como parte de los primeros cuatro años del Programa de Monitoreo del HRC (abril y julio de los años 2015, 2016, 2017 y 2018), 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 del HRC y registradas como parte de los Programas de Diagnóstico (abril, mayo y julio 2014) y Monitoreo Ambiental del HRC (abril y julio 2015, 2016, 2017 y 2018), 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 (Hierro, Aluminio y Manganeso disueltos) 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 dentro de los capítulos de calidad de agua y sedimentos, tanto del Programa de Diagnóstico (2014) como del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (2015, 2016, 2017 y 2018).

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 estos 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. 4.3.1).

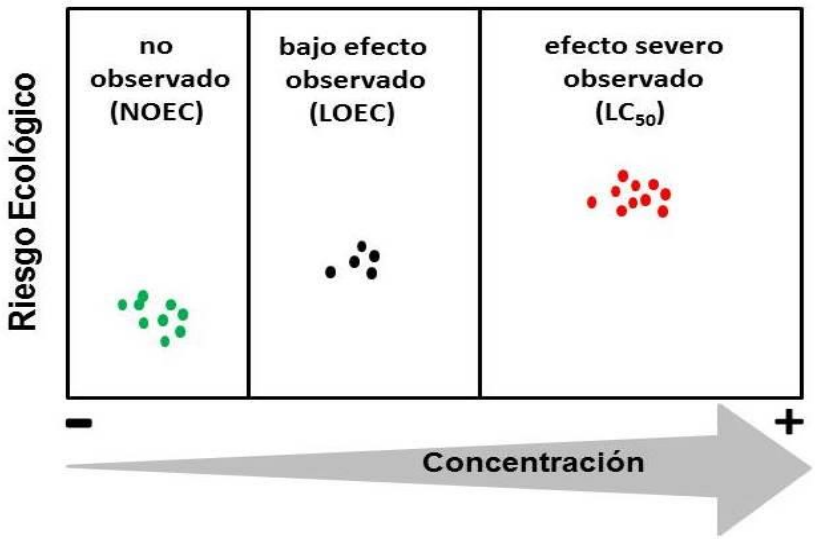


Figura 4.3.1. Esquema conceptual para evaluar los valores de las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disueltos obtenidos por Encina *et al*. (2011), *versus* los valores de las concentraciones de estos metales registradas en el agua superficial de las estaciones establecidas en el Programa 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 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 2018 (Fig. 4.3.2 a 4.3.22).
- 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 durante los Programas de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental 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 los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018.

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 correspondiente al Programa de Diagnóstico (abril, mayo y julio 2014) y el Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril y julio 2015, 2016, 2017 y 2018, respectivamente). Los valores son promedios con su 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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	187,1 (7,0)	71,3 (0,3)
2 (sector Rucaco)	96,7 (0,6)	47,9 (0,6)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	184,1 (8,9)	110,2 (0,6)
4 (sector Santa Clara)	133,1 (1,1)	127,0 (1,4)
5 (sector Punucapa)	141,8 (1,3)	91,4 (1,3)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	189,6 (1,3)	170,8 (1,1)
7 (río Cayumapu)	189,1 (11,4)	154,6 (2,3)
Fuera del humedal del río Cruces y ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	47,3 (0,3)	22,8 (0,6)

Tabla 4.3.3. Concentraciones de Aluminio disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones del área de estudio correspondiente al Programa de Diagnóstico (abril, mayo y julio 2014) y del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril y julio 2015, 2016, 2017 y 2018, respectivamente). Los valores son promedios con su 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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	21,7 (0,5)	8,1 (0,9)
2 (sector Rucaco)	9,8 (0,2)	10,6 (0,2)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	16,4 (0,4)	13,4 (0,3)
4 (sector Santa Clara)	16,0 (0,0)	21,6 (0,1)
5 (sector Punucapa)	25,7 (0,1)	17,1 (0,3)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	41,4 (0,5)	32,3 (0,5)
7 (río Cayumapu)	39,4 (0,0)	37,3 (0,9)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	12,0 (0,2)	6,6 (0,1)

Tabla 4.3.4. Concentraciones de Manganeso disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones del área de estudio correspondiente al Programa de Diagnóstico (abril, mayo y julio 2014) y del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril y julio 2015, 2016, 2017 y 2018, respectivamente). Los valores son promedios con su 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**	
	abril	**julio**
Eje central del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	15,6 (0,3)	11,2 (0,2)
2 (sector Rucaco)	16,9 (0,2)	14,2 (0,5)
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	17,5 (0,3)	14,1 (0,2)
4 (sector Santa Clara)	5,8 (0,0)	8,6 (0,0)
5 (sector Punucapa)	1,4 (0,0)	6,0 (0,4)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	27,4 (0,0)	18,6 (0,3)
7 (río Cayumapu)	22,1 (0,1)	14,1 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	1,5 (0,0)	3,7 (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 Primer Año del del Programa Ambiental Actualizado del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios; 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, 2016, 2017 y 2018).

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 los Programas de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC (2014-2018), se presenta en las Figuras 4.3.2 a la 4.3.22. 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.

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 (Fig. 4.3.5, 4.3.12 y 4.3.19, respectivamente) en aguas superficiales del área de estudio durante los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018; riesgo que se traduciría en un efecto adverso en cuanto a la producción de huevos

Para las seis especies locales restantes (Tabla 4.3.1), los valores registrados durante el periodo comprendido entre los años 2014 y 2018 para Hierro (valores extremos de 249,2 µg/L en río Cayumapu durante julio 2017 y 10,7 µg/L en Rucaco durante abril 2014) (Tabla

4.3.2), Aluminio (valores extremos de 48,7 y 1,3 µg/L en río Cayumapu durante julio y abril 2015, respectivamente) (Tabla 4.3.3) y Manganeso (valores extremos de 37,5 µg/L en río Pichoy durante julio 2017 y 0,2 µg/L en Santa Clara durante abril 2015) (Tabla 4.3.4), en el agua superficial de las ocho estaciones monitoreadas, no alcanzó 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 (ver Fig. 4.3.2 a 4.3.22).

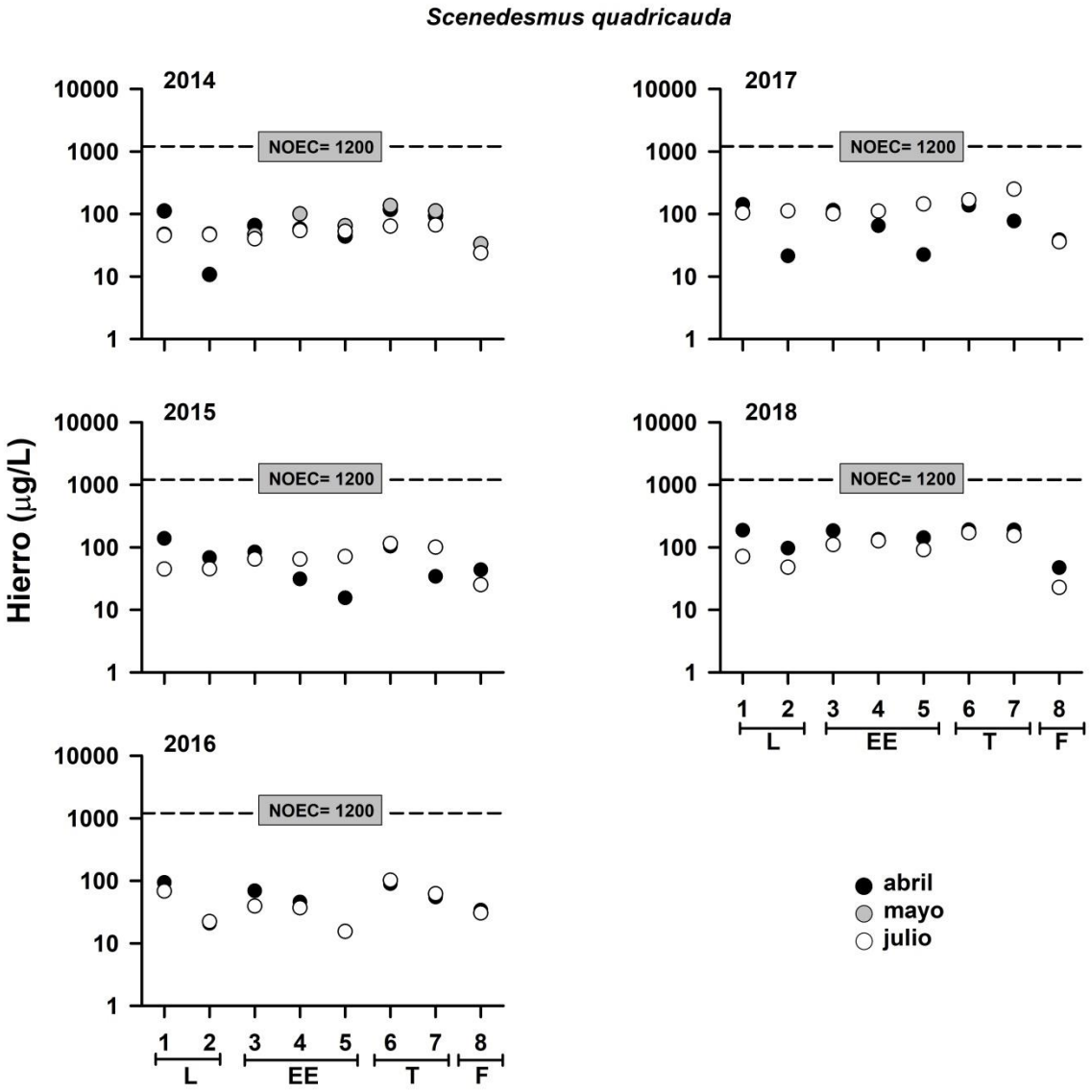


Figura 4.3.2. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Hierro disuelto en la especie *Scenedesmus quadricauda* sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa 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.

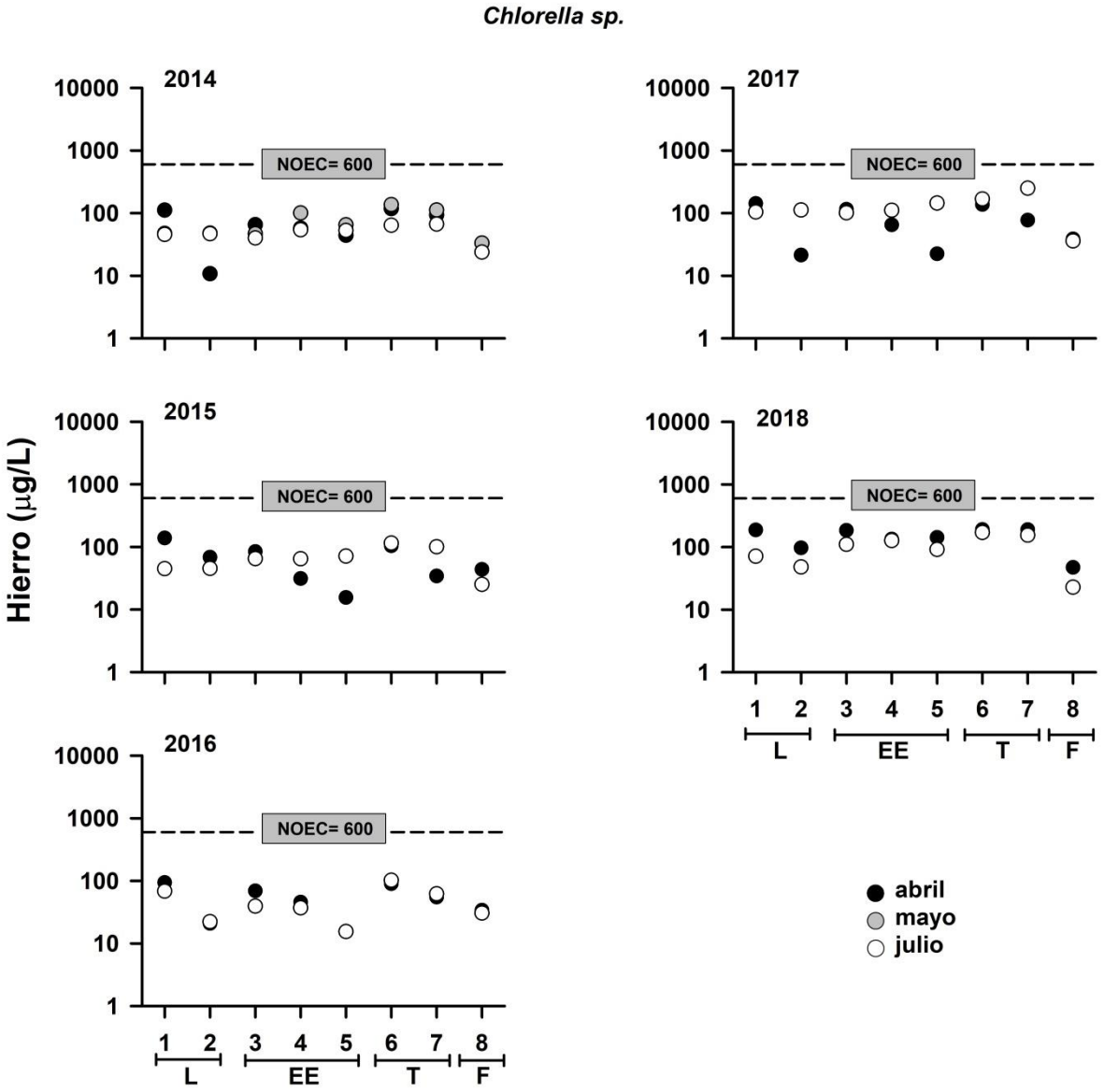


Figura 4.3.3. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Hierro disuelto en la especie *Chlorella* sp. sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico 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.

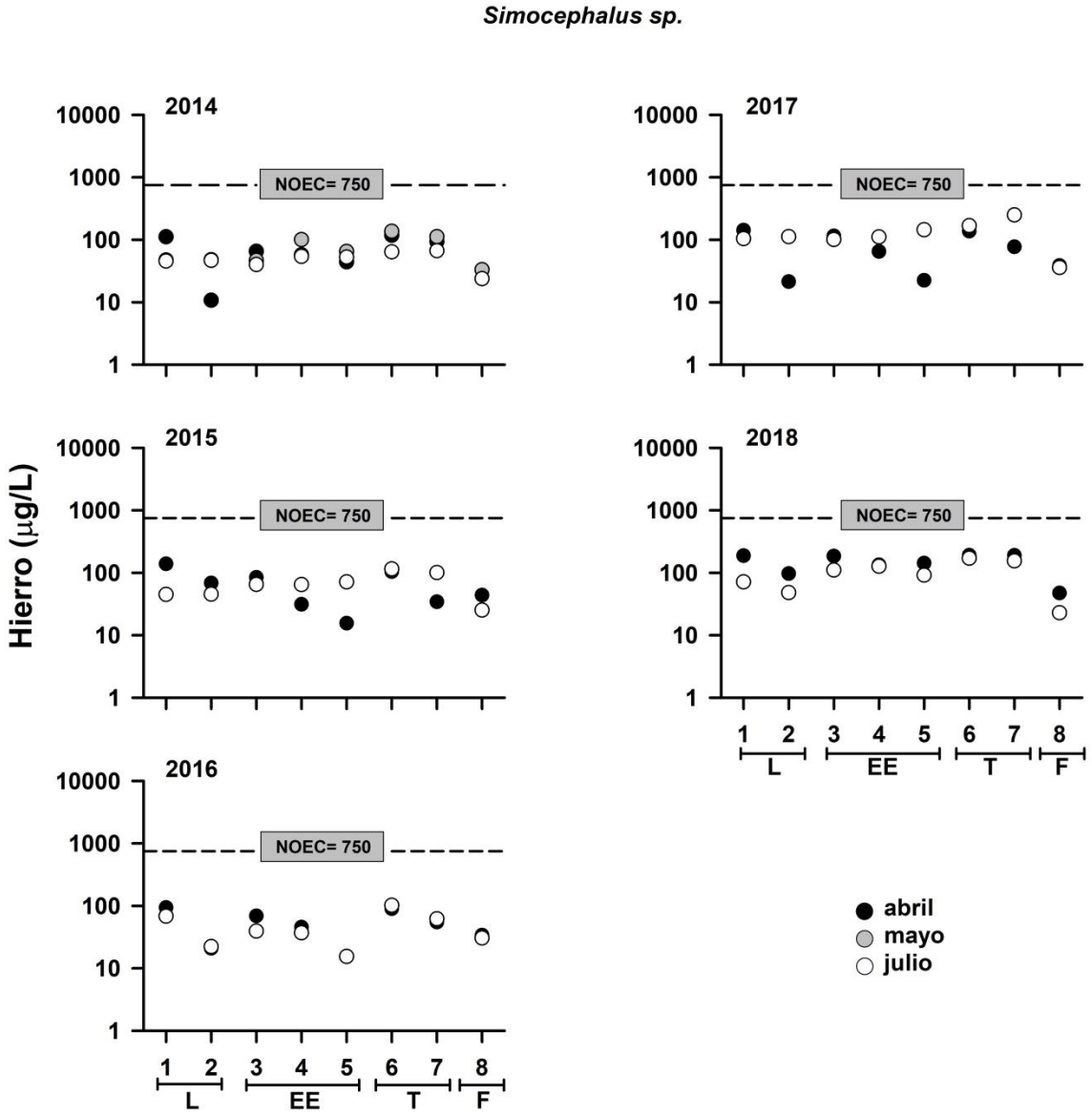


Figura 4.3.4. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Hierro disuelto en la especie *Simocephalus* sp. sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico 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.

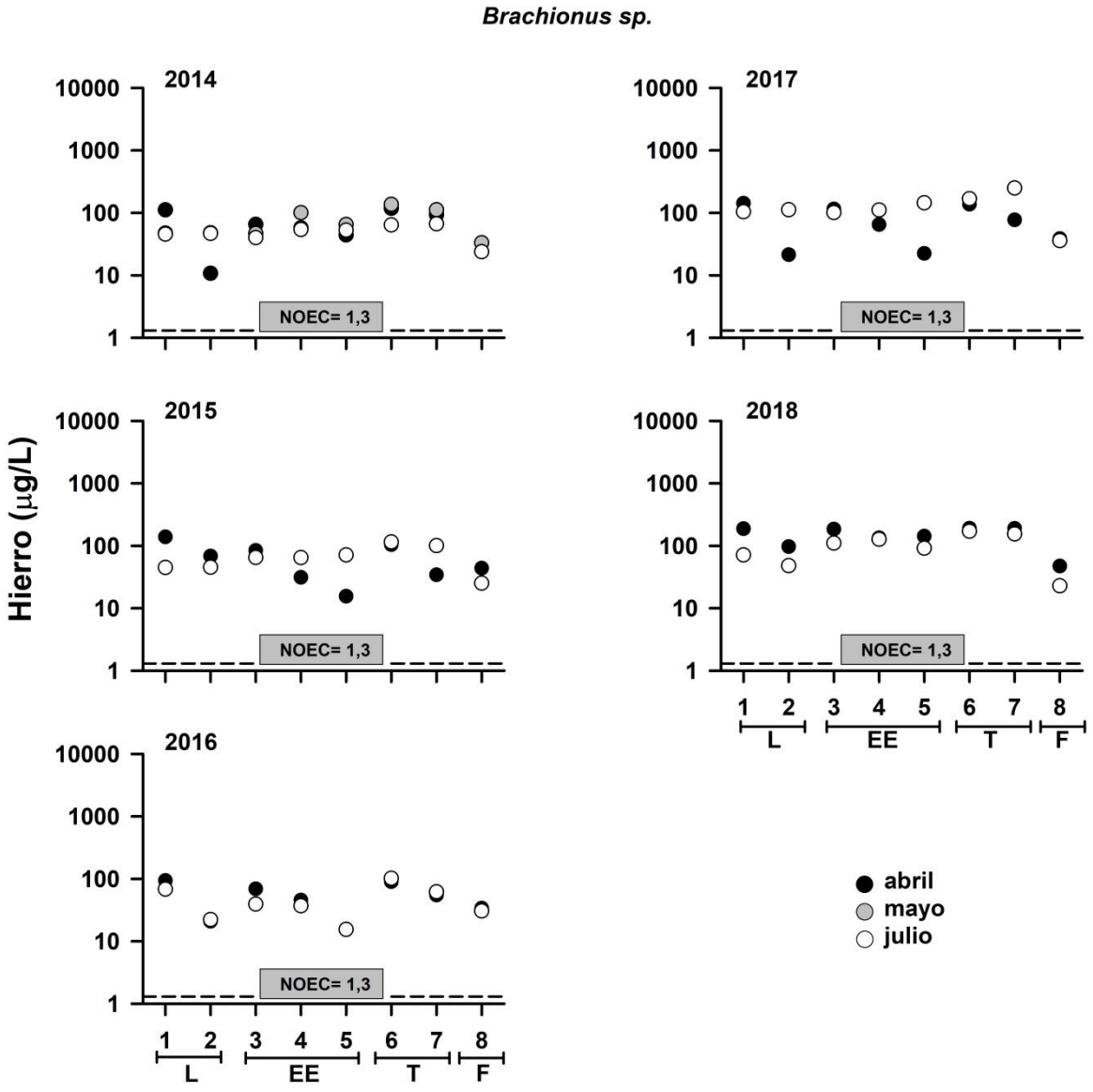


Figura 4.3.5. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Hierro disuelto en la especie *Brachionus* sp. sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico 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.

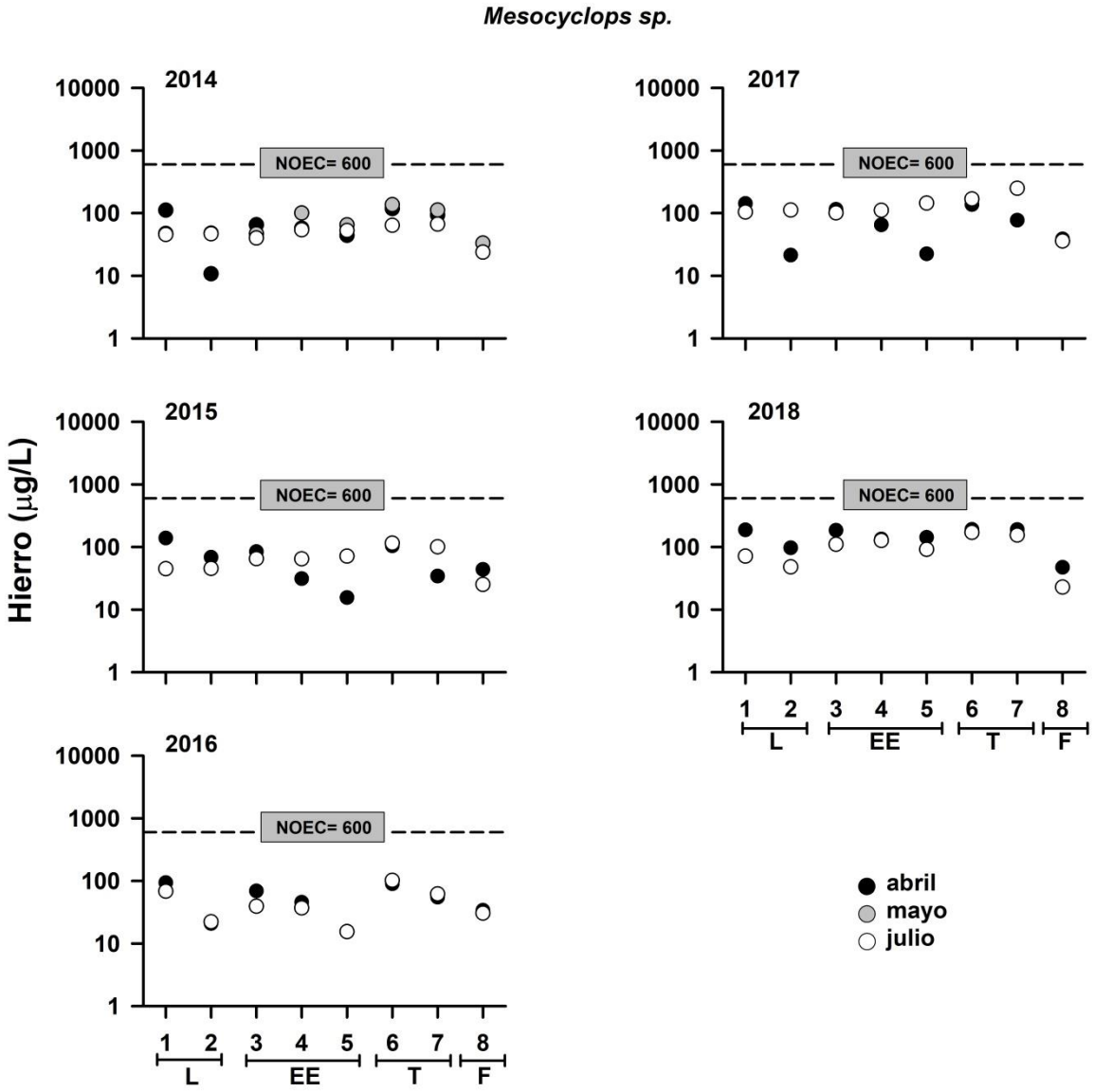


Figura 4.3.6. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Hierro disuelto en la especie *Mesocyclops* sp. sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico 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.

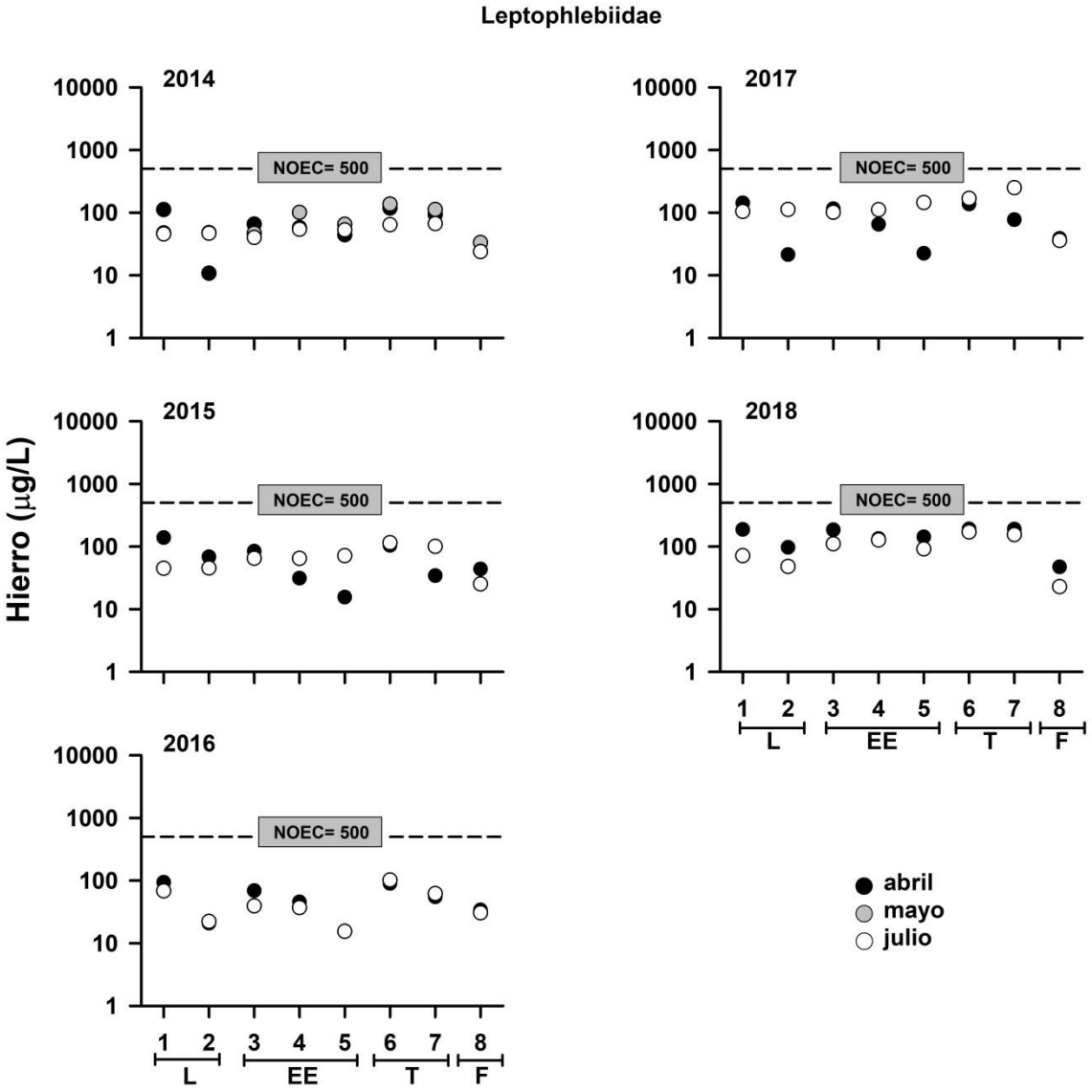


Figura 4.3.7. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Hierro disuelto en la especie de la familia Leptophlebiidae sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa 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.

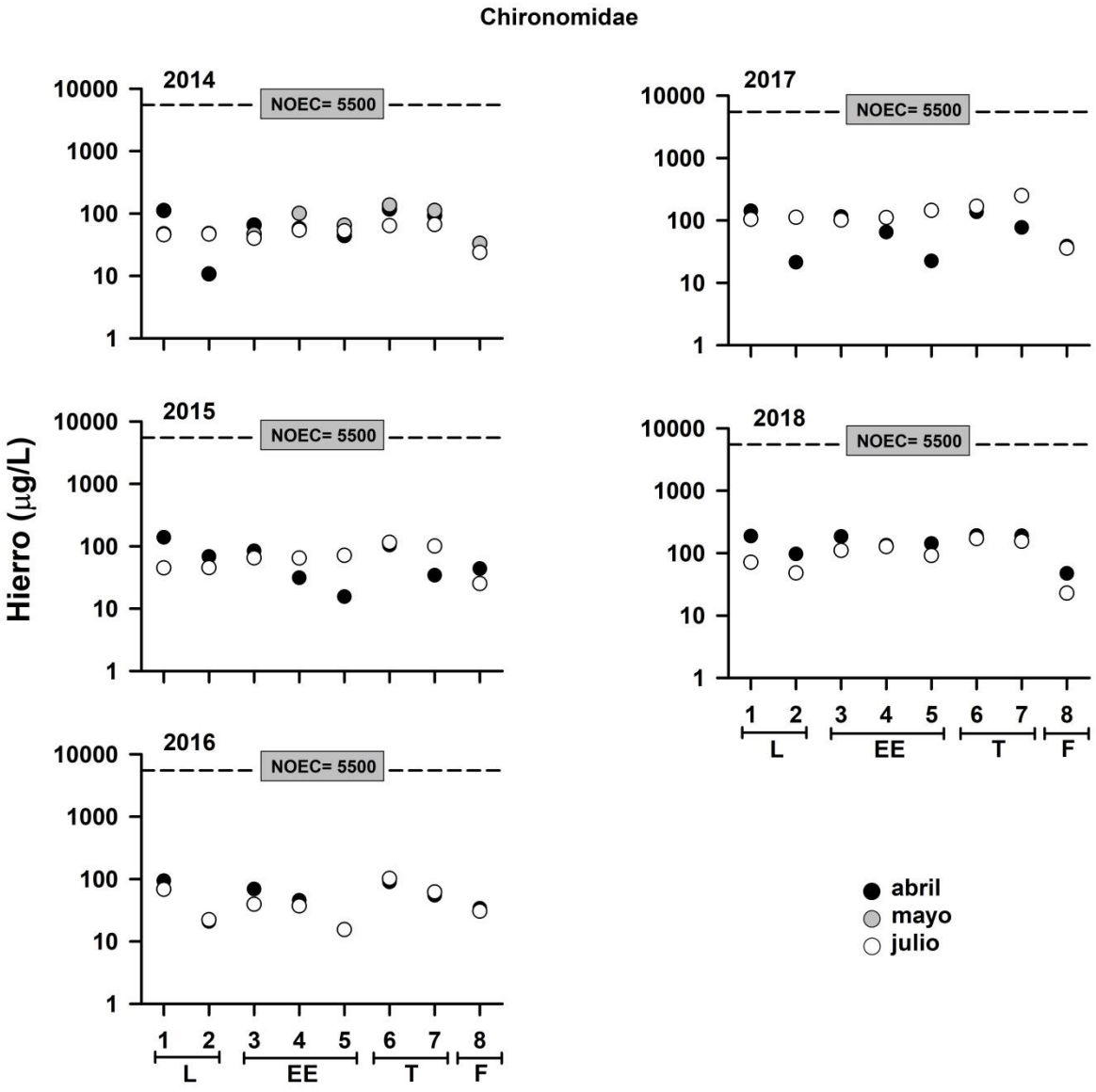


Figura 4.3.8. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Hierro disuelto en la especie de la familia Quironomidae sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa 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.

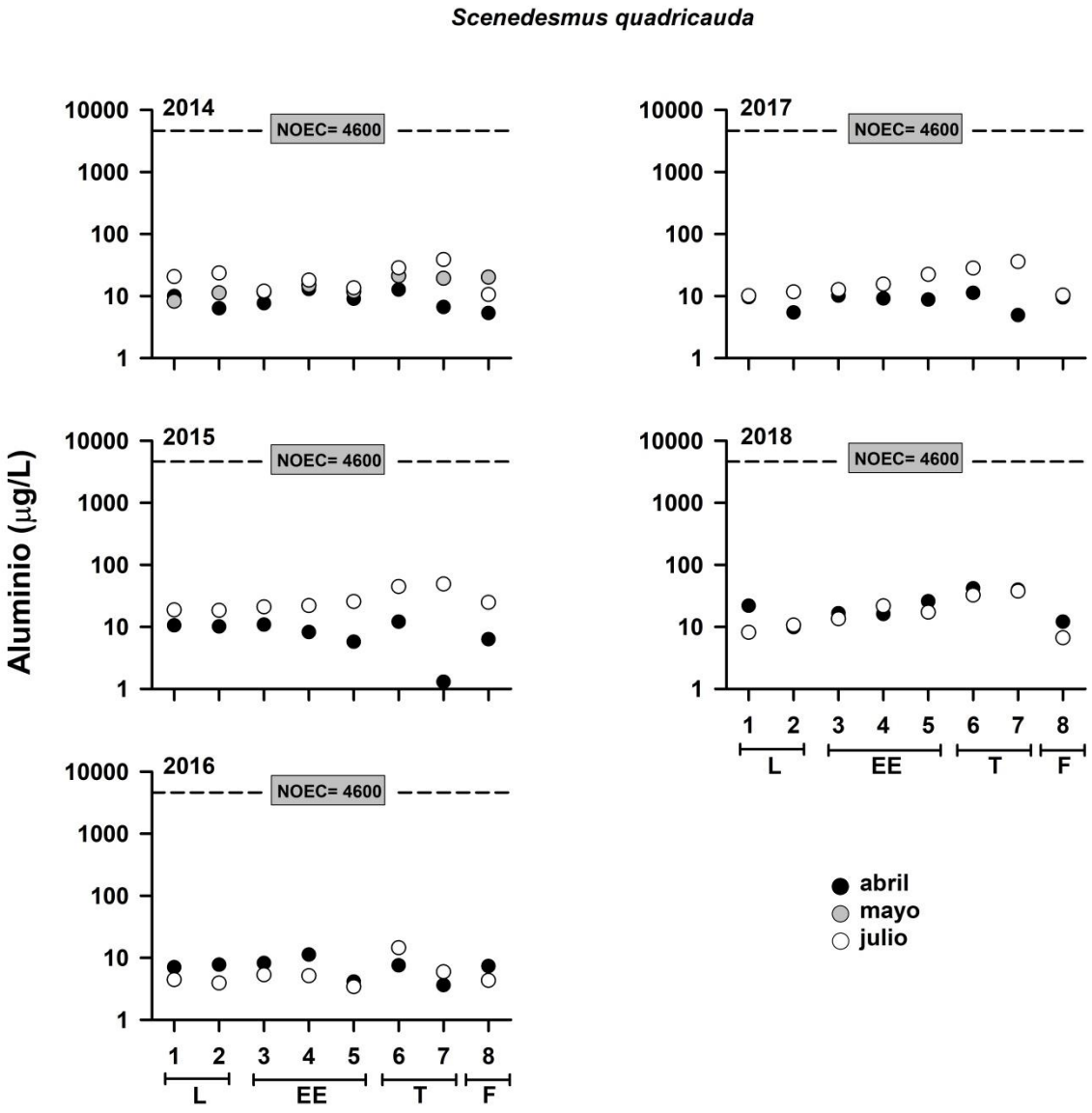


Figura 4.3.9. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Aluminio disuelto en la especie *Scenedesmus quadricauda* sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Aluminio disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa 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.

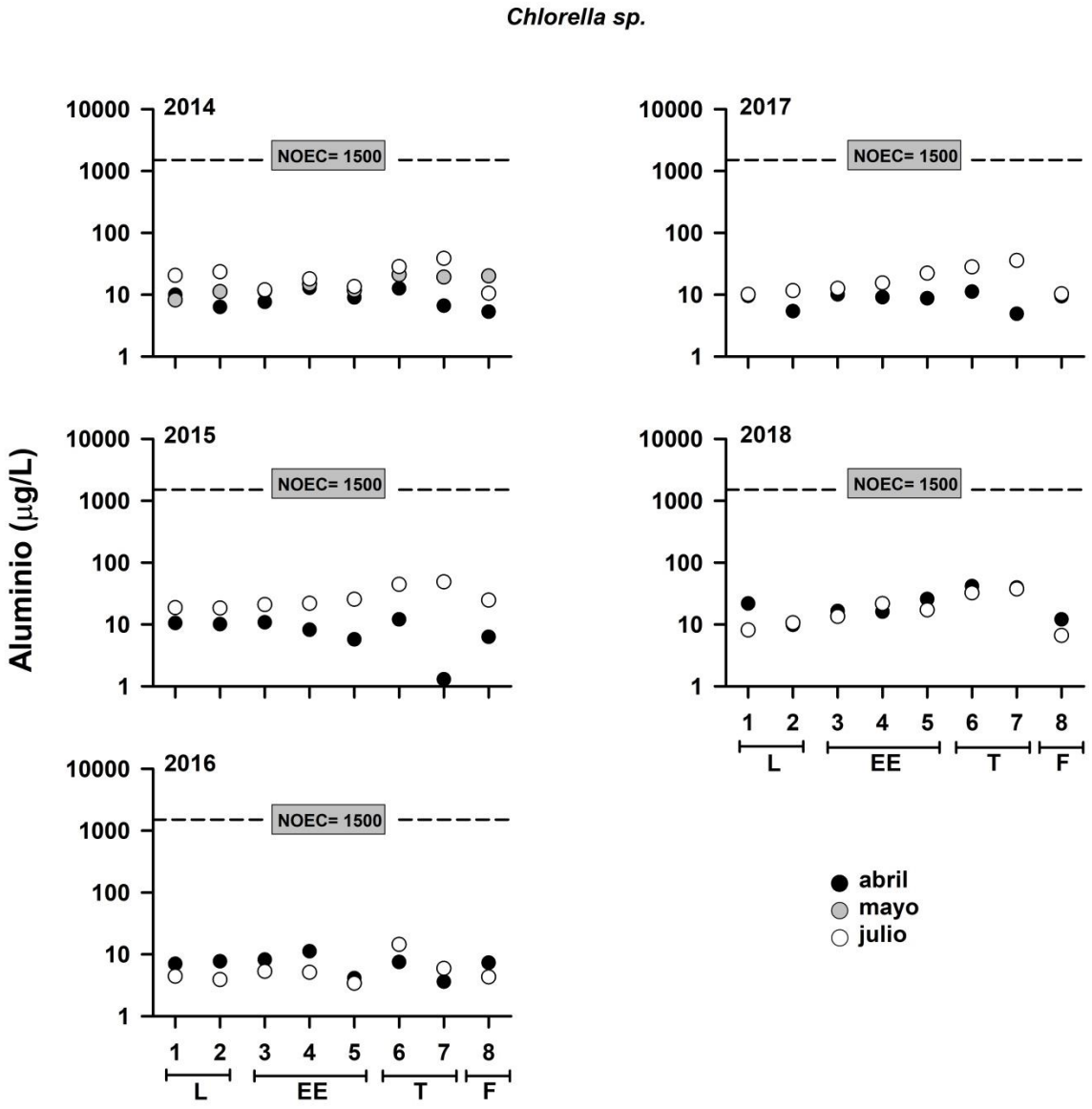


Figura 4.3.10. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Aluminio disuelto en la especie *Chlorella* sp. sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Aluminio disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico 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.

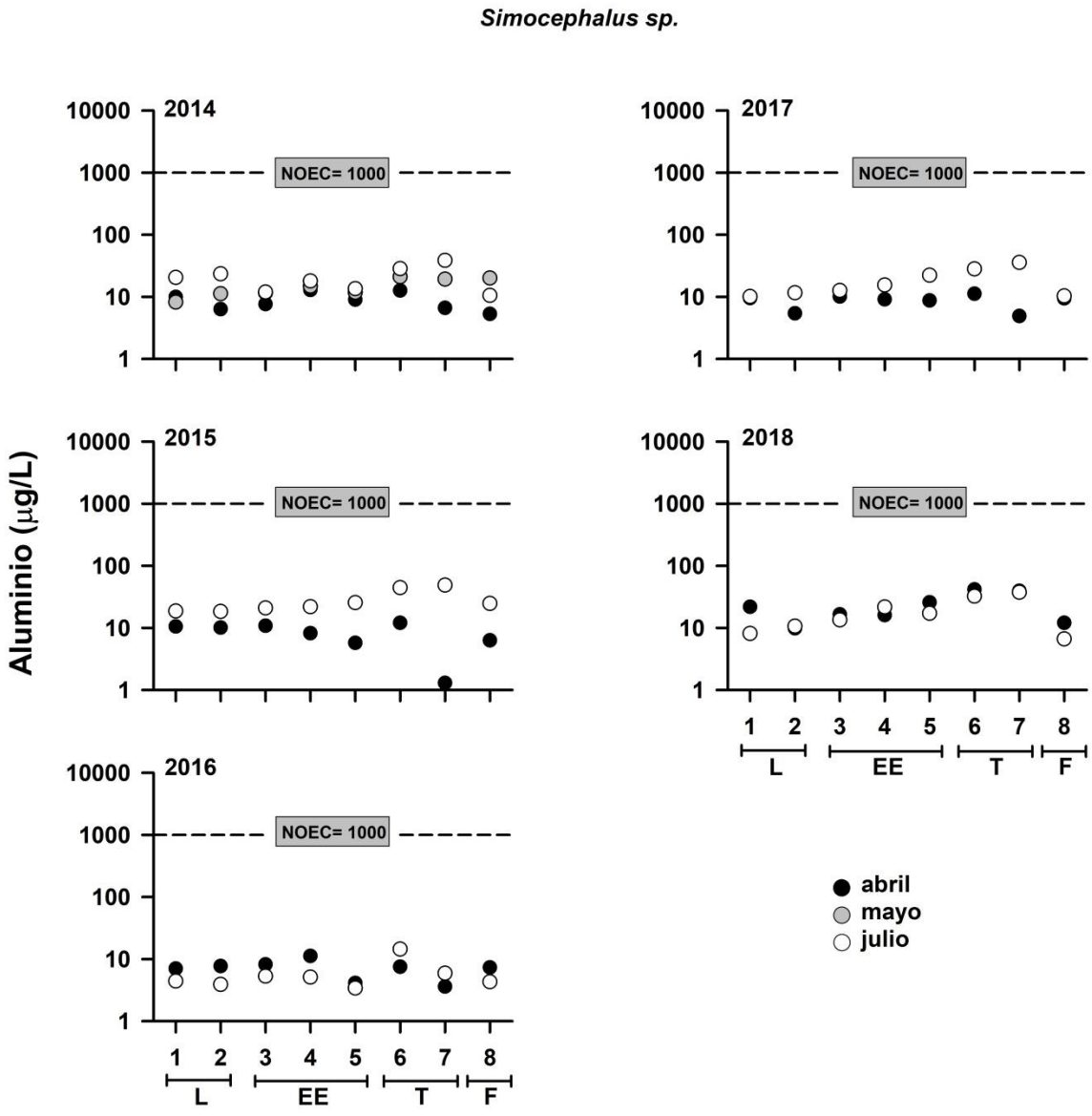


Figura 4.3.11. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Aluminio disuelto en la especie S*imocephalus* sp. sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Aluminio disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de 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.

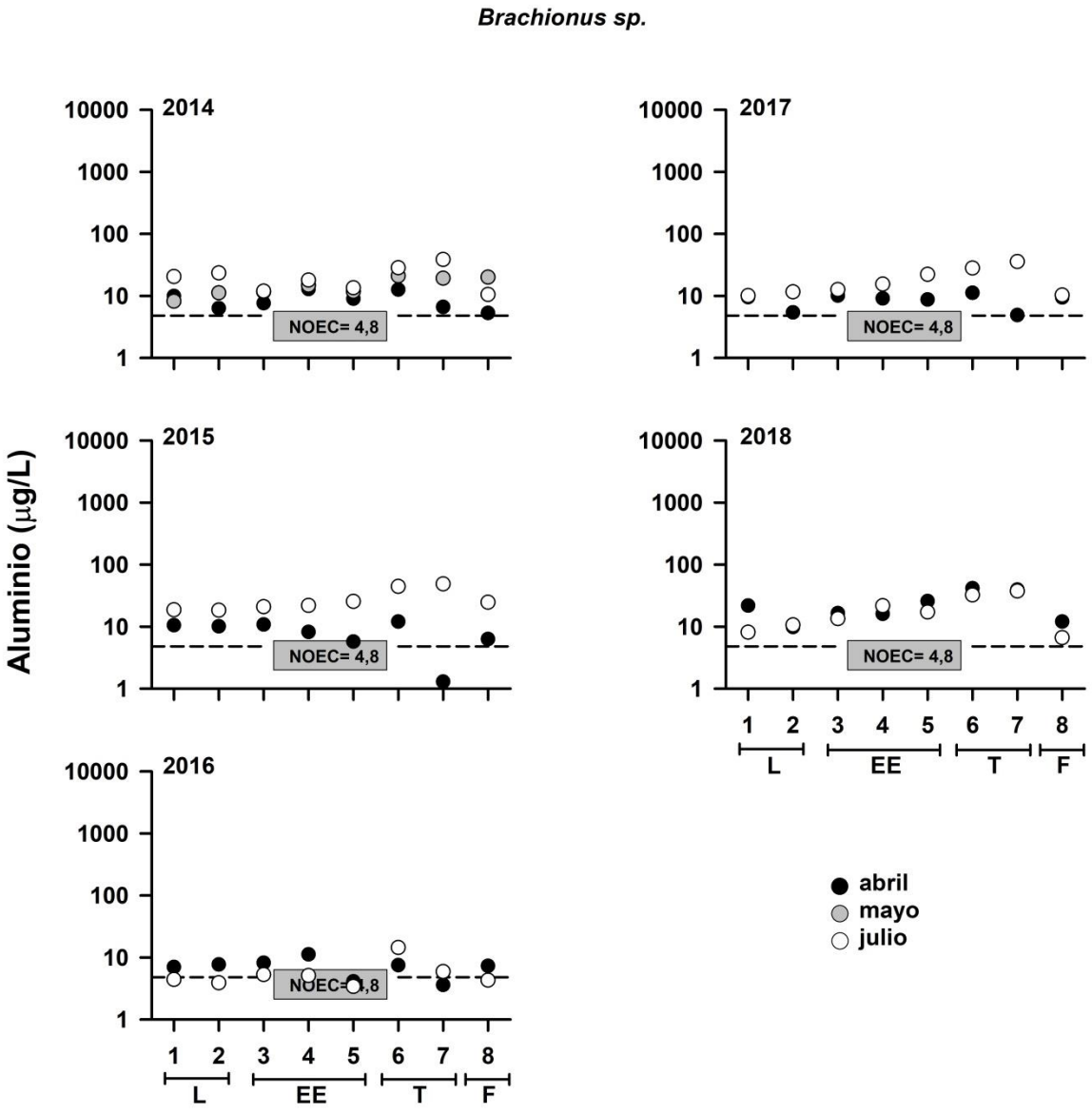


Figura 4.3.12. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Aluminio disuelto en la especie *Brachionus* sp. sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Aluminio disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de 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.

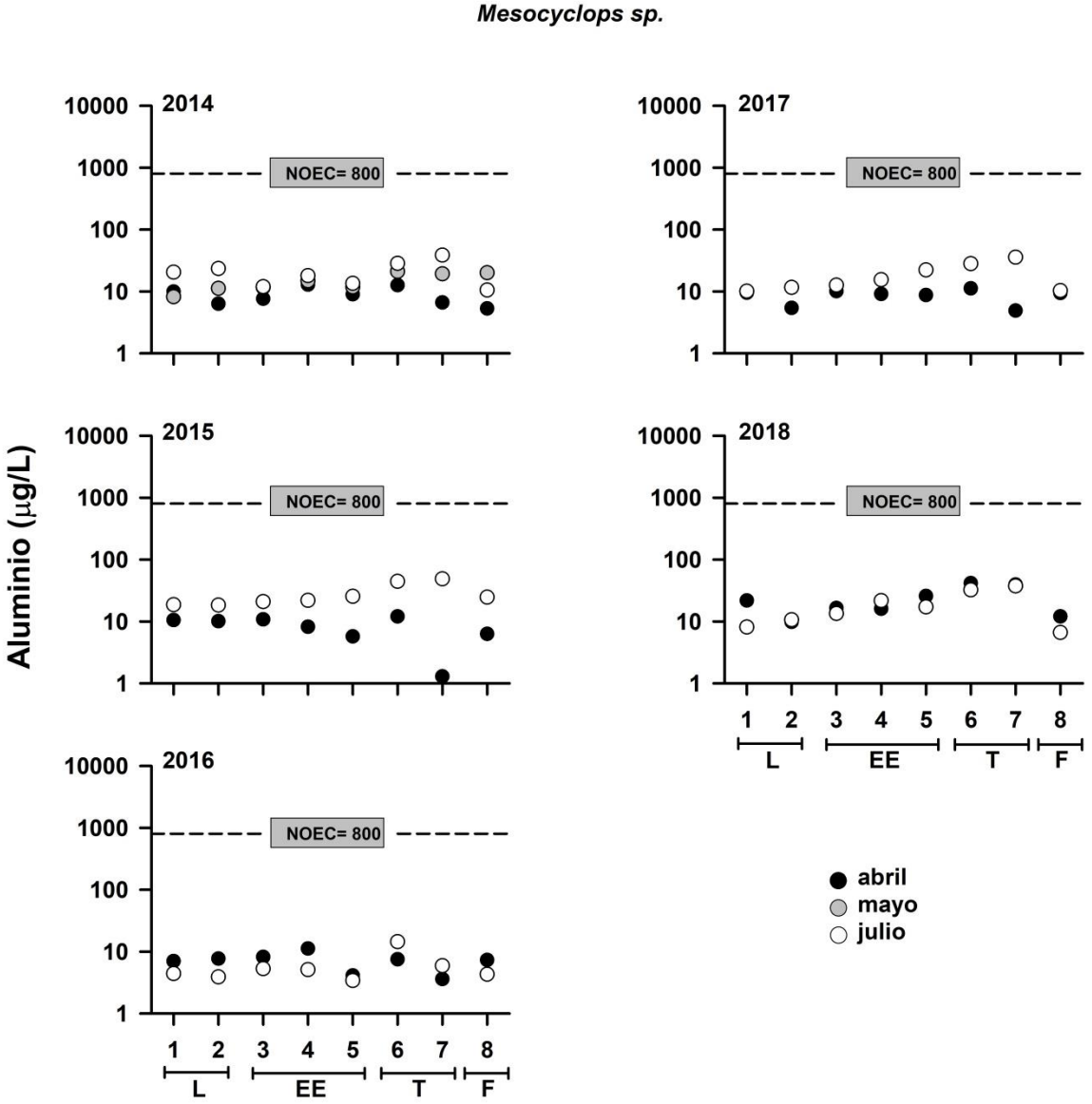


Figura 4.3.13. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Aluminio disuelto en la especie *Mesocyclops* sp. sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Aluminio disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de 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.

.

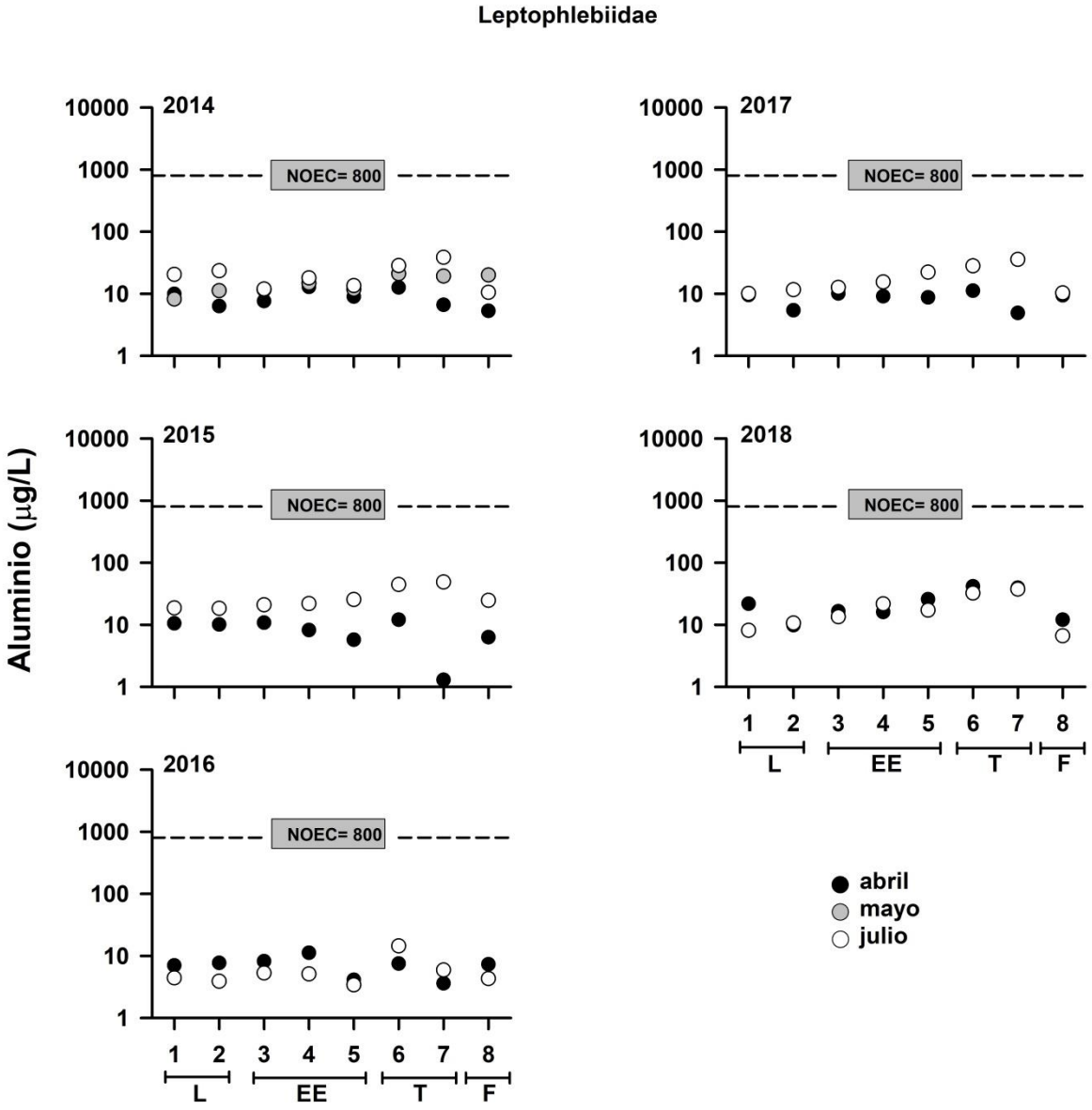


Figura 4.3.14. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Aluminio disuelto en la especie de la familia Leptophlebiidae sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Aluminio disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el 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.

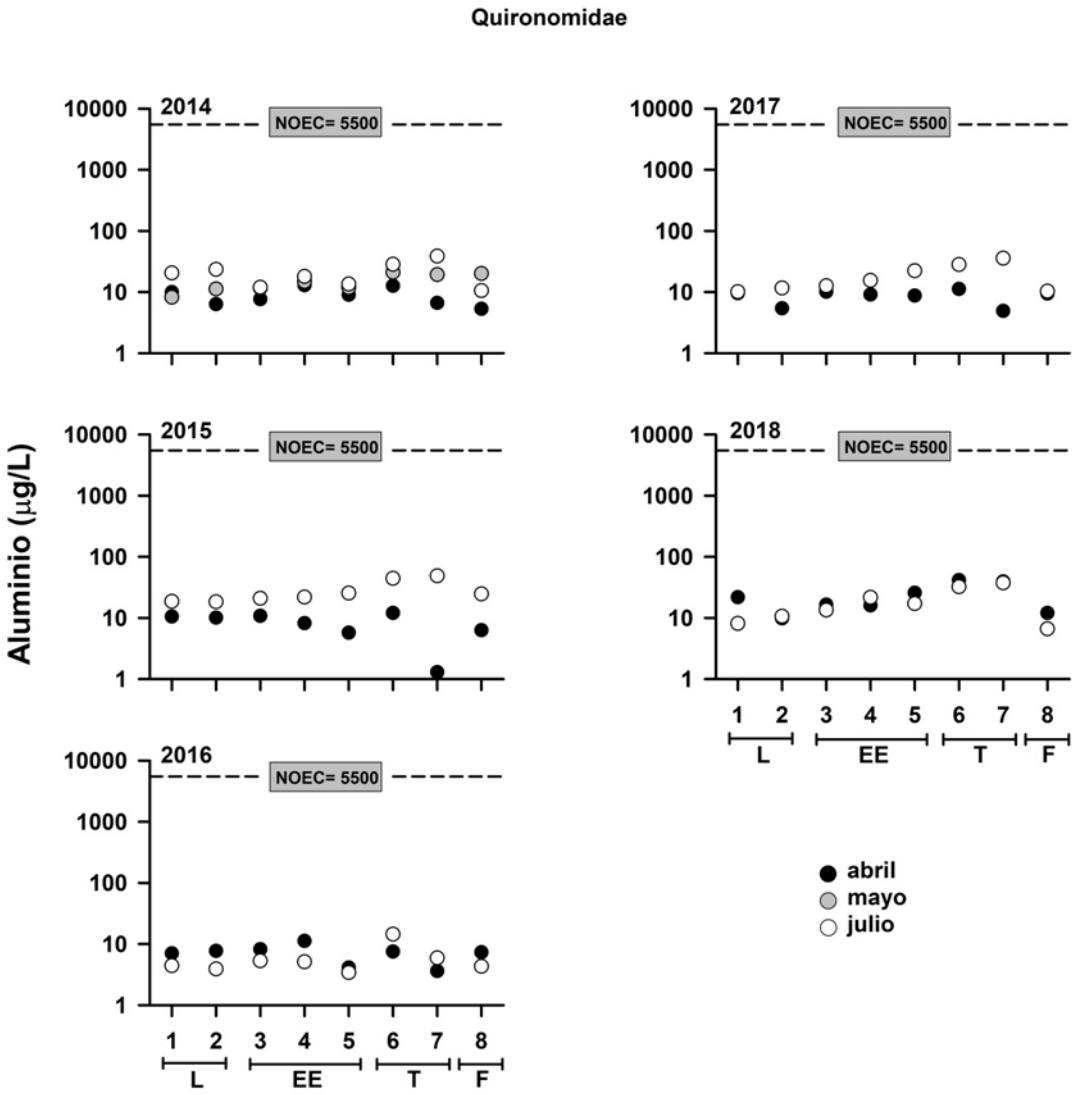


Figura 4.3.15. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Aluminio disuelto en la especie de la familia Quironomidae sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Aluminio disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa 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.

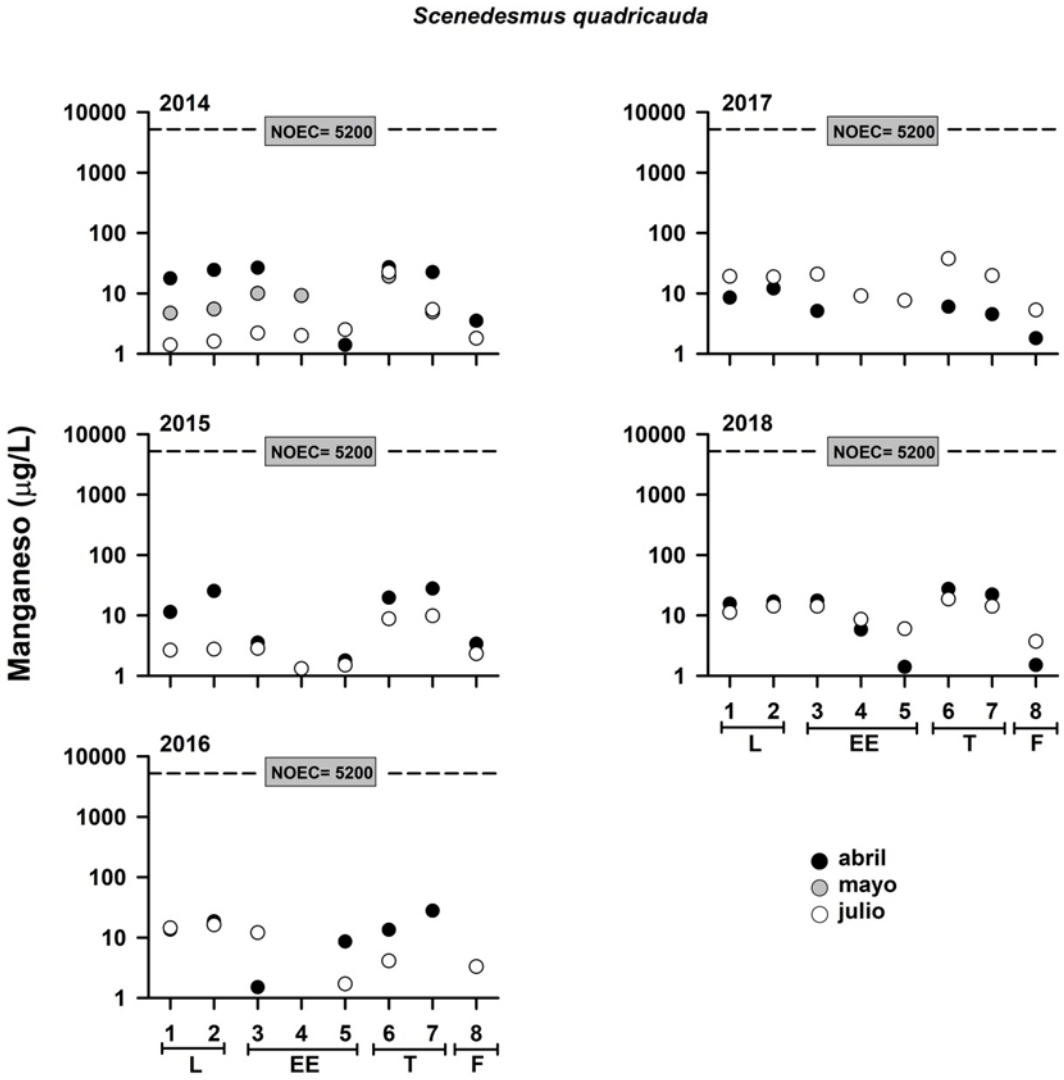


Figura 4.3.16. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Manganeso disuelto en la especie *Scenedesmus quadricauda* sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Manganeso disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa 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.

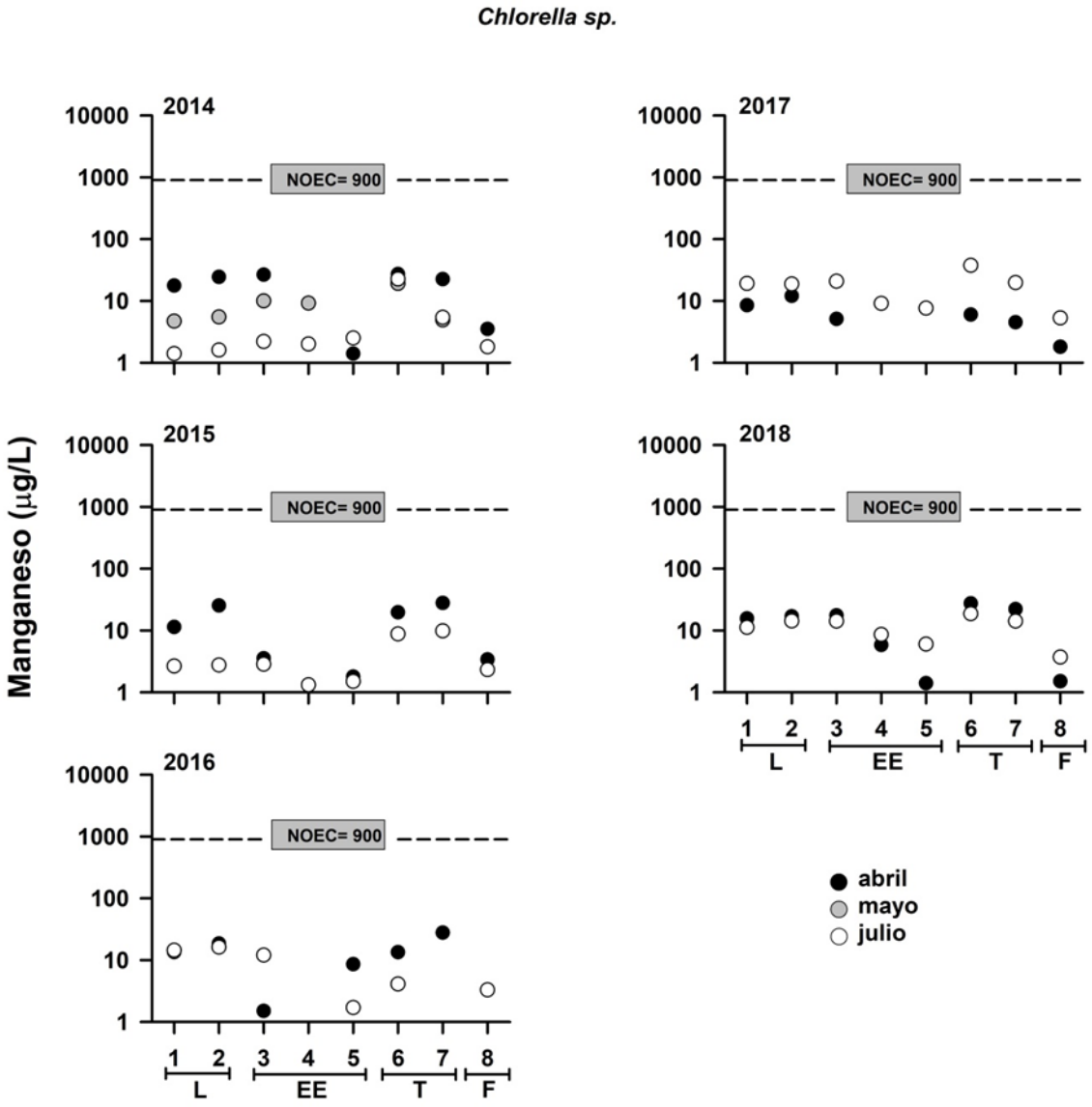


Figura 4.3.17. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Manganeso disuelto en la especie *Chlorella* sp. sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Manganeso disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de 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.

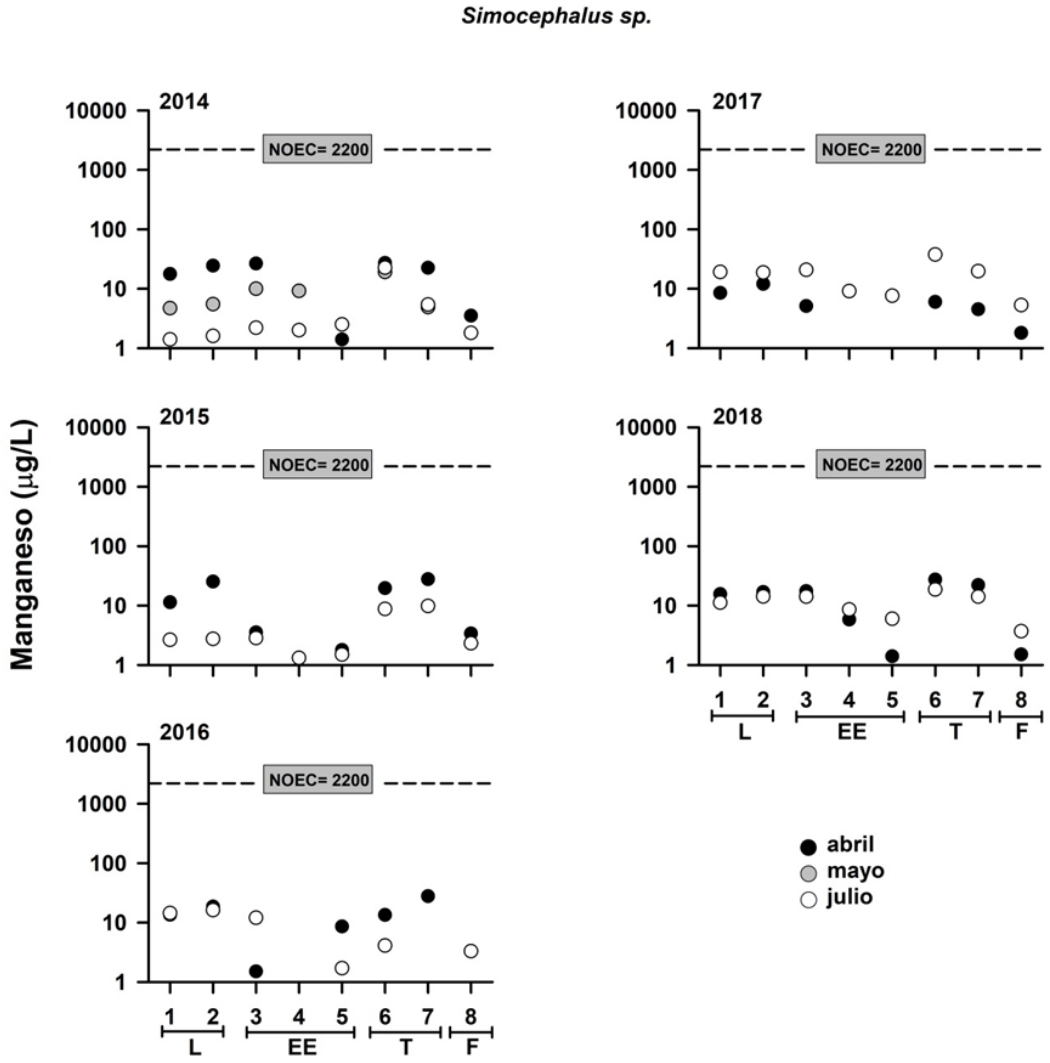


Figura 4.3.18. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Manganeso disuelto en la especie S*imocephalus* sp. sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Manganeso disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa 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.

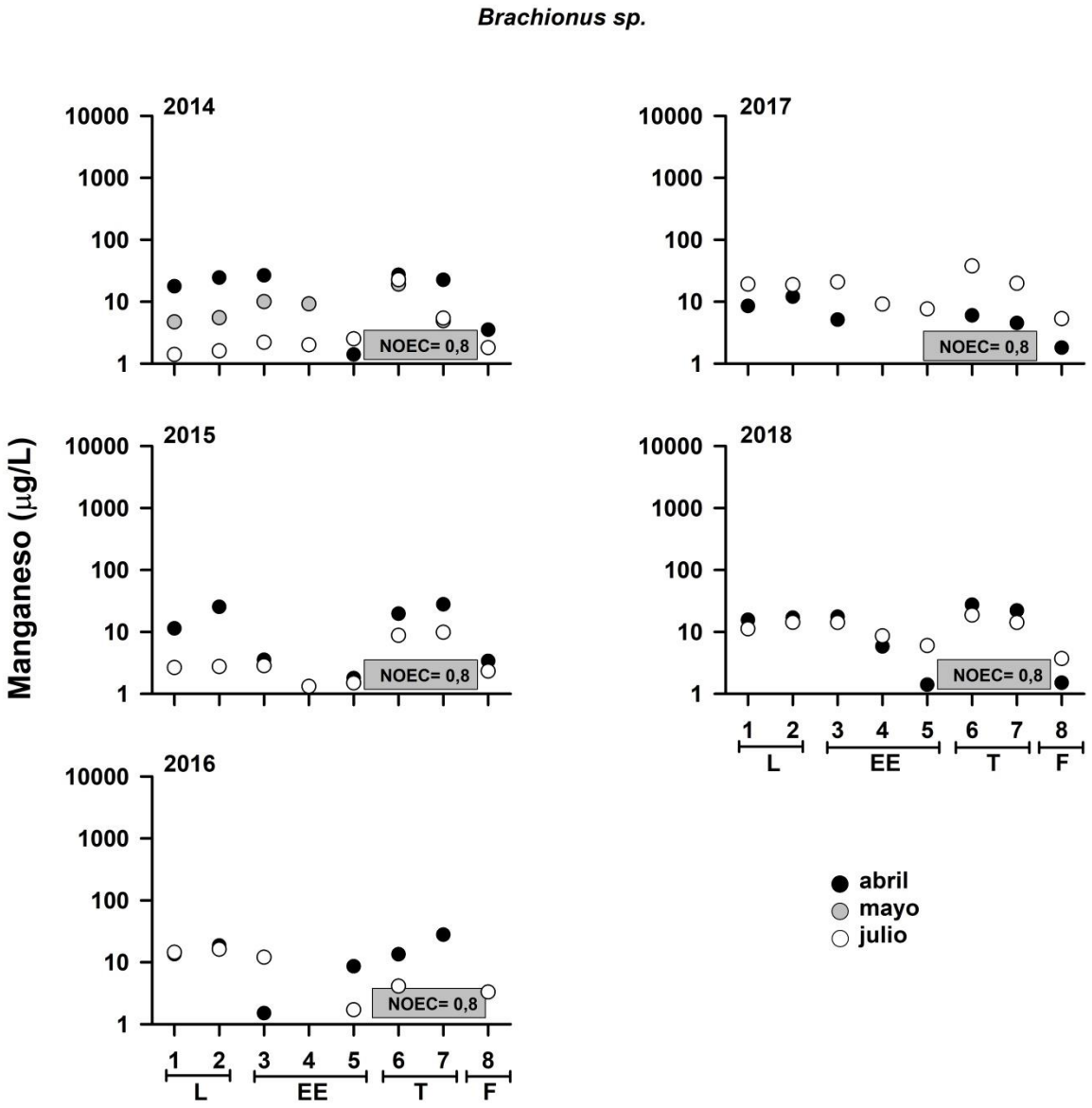


Figura 4.3.19. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Manganeso disuelto en la especie *Brachionus* sp. sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Manganeso disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de 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.

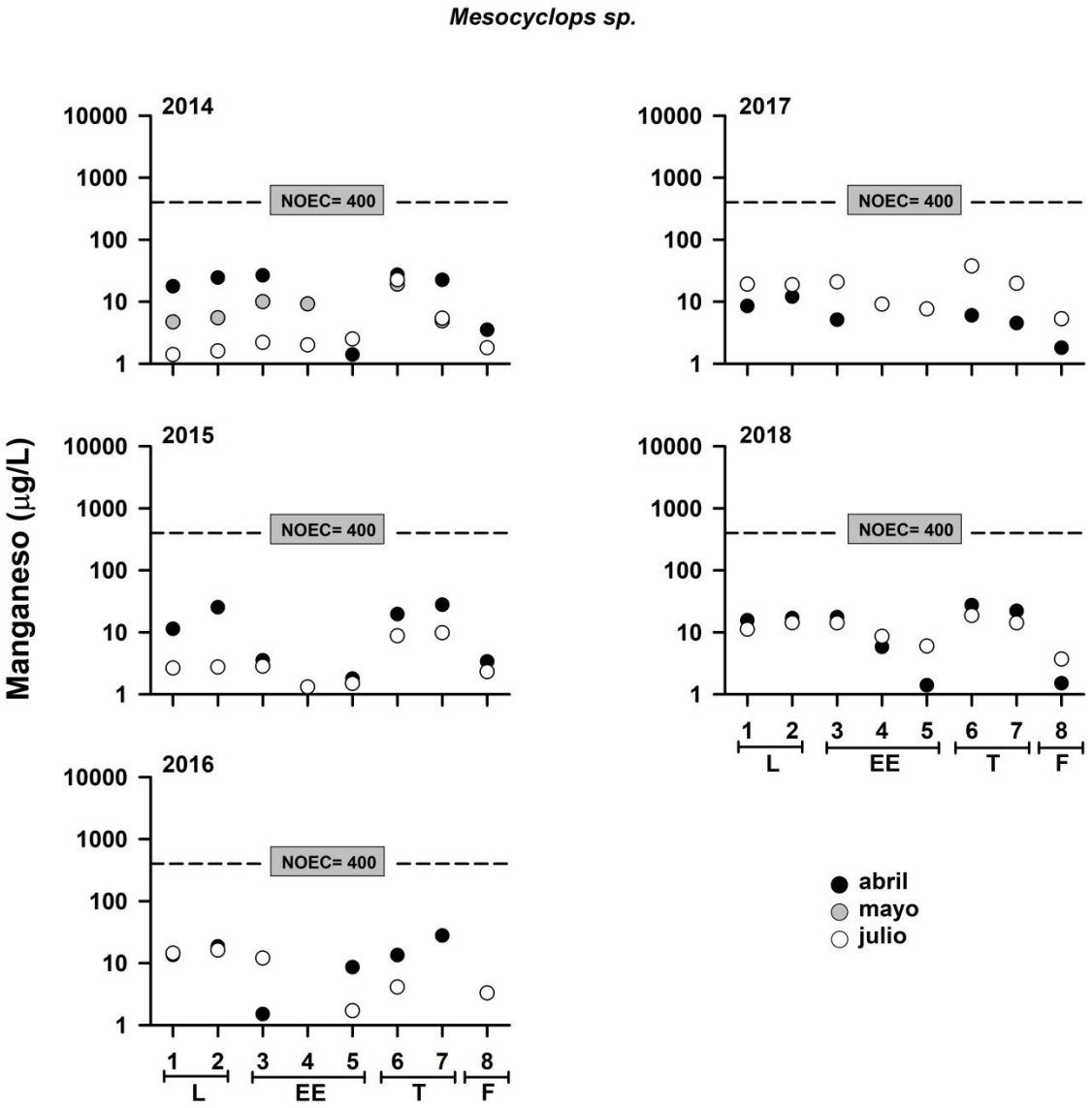


Figura 4.3.20. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Manganeso disuelto en la especie *Mesocuclops* sp. sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Manganeso disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa 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.

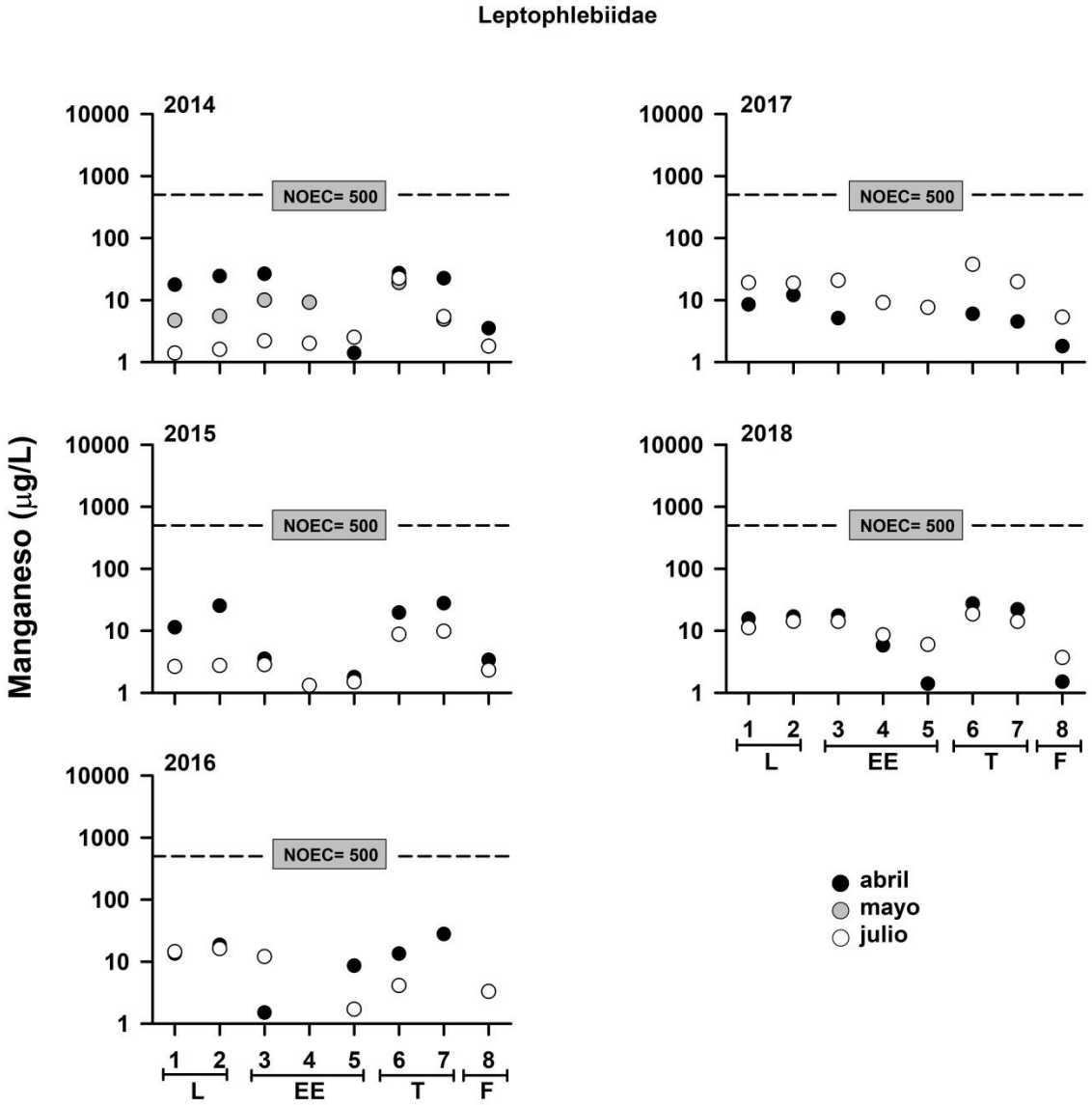


Figura 4.3.21. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Manganeso disuelto en la especie de la familia Leptophlebiidae sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Manganeso disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante 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.

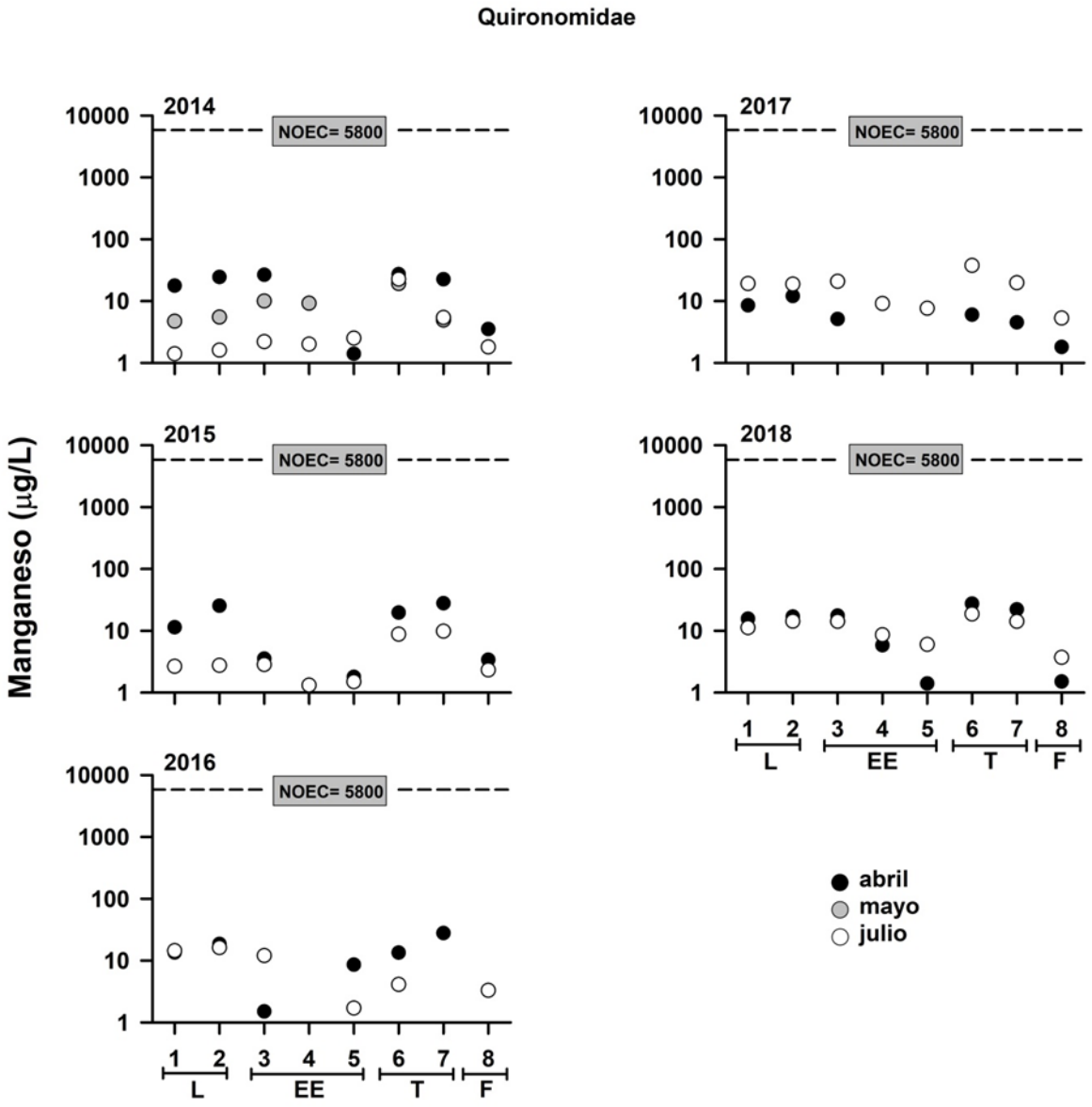


Figura 4.3.22. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Manganeso disuelto en la especie de la familia Quironomidae sometida a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Manganeso disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el 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 durante el periodo 2014-2018), 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 2018, las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disuelto en el agua del área de estudio alcanzaron valores extremos de 249,2 - 10,7; 48,7 - 1,3 y 37,5 - 0,2 µg/L respectivamente.
- Las concentraciones registradas entre los años 2014 y 2018 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 2018, 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 en cuestión.
- 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 presentarían 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 (Chorley y Kennedy, 1971). Estos sistemas de carácter socio ambiental, requieren indispensablemente de un análisis integral, ya que las alteraciones que se producen en los sistemas sociales o económicos, se transfieren al sistema natural que actúa como receptor de los cambios. En este contexto, resulta absolutamente necesario y pertinente realizar un análisis de la forma en que se comportan los sistemas socio económicos 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 económicos, como es el cambio en los usos y cobertura superficial del suelo. Uno de estos cambios dice relación expresa 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 la calidad del sistema hidrológico.

Debido a esto, es necesario analizar los cambios que se producen 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

- Analizar los cambios ocurridos en el poblamiento del área de influencia sobre el HRC.
- Comparar los resultados obtenidos en el cuarto año del Programa de Monitoreo Ambiental (año 20187) con los de los años anteriores de ese programa (año 2015 a 2017) y con los resultados del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (año 2014).

4.4.3. Materiales y métodos

El área monitoreada corresponde a una superficie de 335.576,1 hectáreas, la que abarca la totalidad de la cuenca del río Cruces y que drena hacia el HRC y sus ríos tributarios. 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) (Figura 4.4.1).

Para estudiar de forma más detallada los usos en la cercanía del HRC y sus ríos tributarios, se generó una cobertura de información que contiene los usos de la tierra, ubicados a una distancia aproximada de 1 kilómetro de los cursos de agua. Esta zona de influencia (o zona “buffer”) representa una superficie total de 65.107,4 ha lo que equivale aproximadamente al 20 % del total de la superficie monitoreada (335.576,1 hectáreas). La Figura 4.4.2 presenta el área de influencia del HRC, superficie que fue la utilizada en el análisis de los cambios ocurridos en la población y el poblamiento.

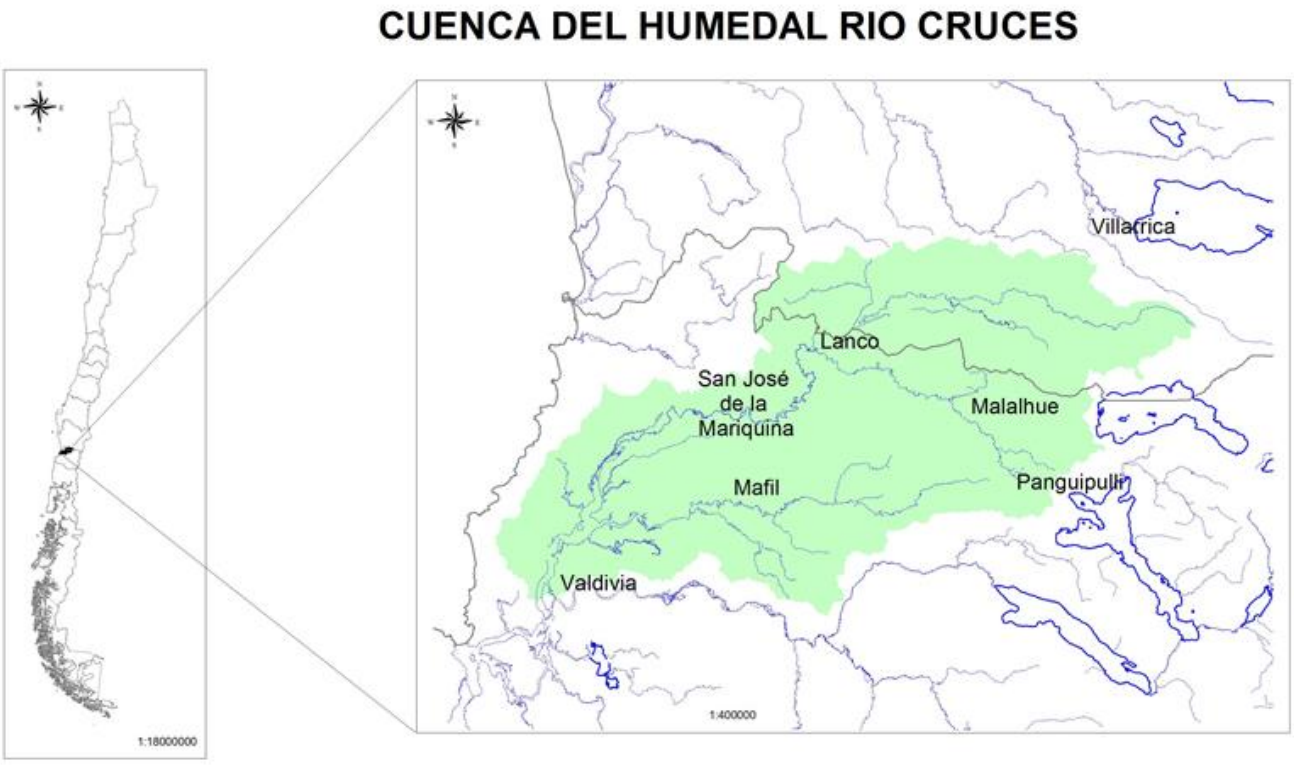


Figura 4.4.1. Área de estudio.

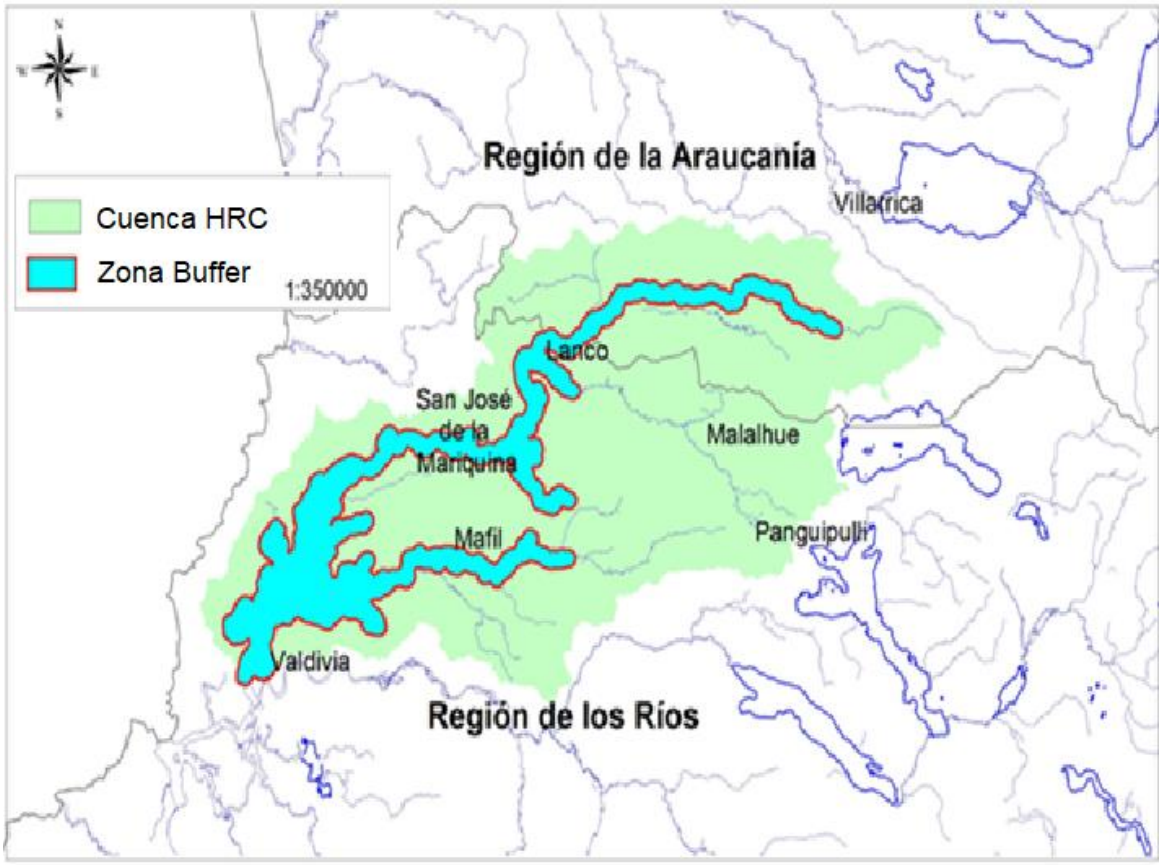


Figura 4.4.2. Ubicación de la zona de influencia del HRC y sus ríos tributarios.

La metodología aplicada durante el primer año del Programa de Monitoreo (2015) consistió en un análisis de la información de la población y el poblamiento a nivel de localidad y entidad de población, para el área de influencia directa sobre el HRC o zona" buffer". El análisis corresponde así al área delimitada por la distancia de un kilómetro aproximadamente, a ambos lados del eje del río Cruces y de sus principales ríos tributarios, la que se constituye en el área de influencia directa sobre el humedal y que corresponde a la misma superficie definida en el monitoreo de cambios en el uso del suelo. Similar criterio se siguió durante los restantes años del monitoreo.

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 obtenidas desde la plataforma de Google Earth. 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 y 2011.

4.4.4. Resultados. Población y poblamiento del área de influencia sobre el HRC.

Los resultados obtenidos en esta etapa del Programa de Monitoreo del HRC se presentan a continuación. Para el caso del análisis de 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 o "buffer" llegaba a los 18.792 habitantes. Proyectando esa población a una tasa de crecimiento constante de 1,5% anual, resultante de la tendencia de crecimiento demográfico observada entre los años 1992 y 2002[3], se llega a la cifra de 22.468 habitantes para el año 2014 y 23.847 habitantes al año 2018, en el área definida como de influencia directa del HRC, es decir a un kilómetro a ambos lados de los cauces.

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.

[3] La tasa de crecimiento media anual se calculó a partir de los datos entregados por los Censos de Población y Vivienda de los años 1992 y 2002, obtenidos desde la página www.ine.cl

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.

La Figura 4.4.3 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 4.4.4.

Como se indicó en los Informes de Monitoreo anteriores, se advierte una creciente tendencia a la densificación del área construida, la que se puede apreeciar en la Figura 4.4.5, en la que como se señaló en el informe del 2017, 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 (según el DL 3.516, los predios ubicados fuera del límite urbano no pueden tener una superficie inferior a 0,5 ha. y no se puede construir más de una vivienda). Lo mismo se presenta en nuevos sectores de Cabo Blanco, registrados en la Figura 4.4.6.

En la Figura 4.4.6, la imagen a) presenta el patrón que corresponde a una ocupación en parcelas de 5.000 metros cuadrados, como indica la normativa citada en el párrafo anterior. En cambio, las imágenes b) y c), dan cuenta de la mencionada densificación del área construida.

Tal como se advirtió anteriormente, se debe dejar claro que si bien no existe evidencia de una transgresión a la normativa (aunque no se puede descartar), 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.

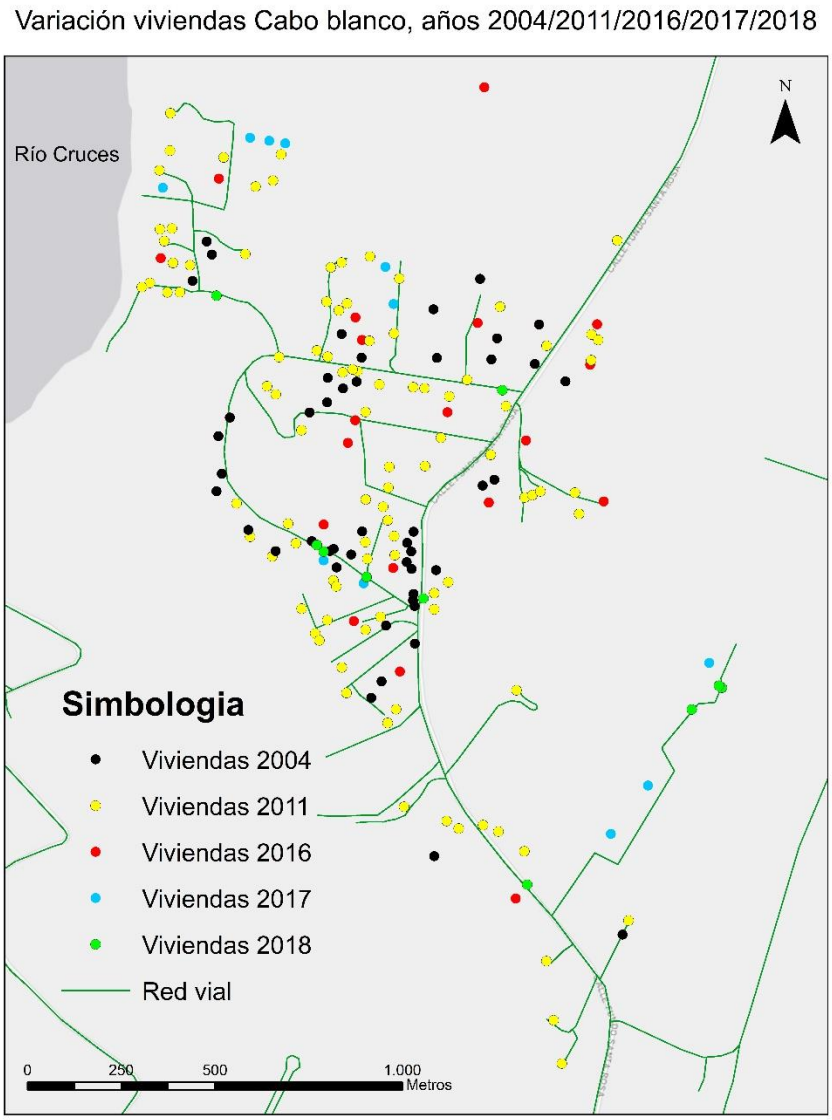


Figura 4.4.3. Variación del número de viviendas en Cabo Blanco: años 2004, 2011, 2016 y 2017. Fuente: Elaboración propia a partir de reconocimiento de terreno



Figura 4.4.4. Surgimiento de nuevas áreas de poblamiento en Cabo Blanco (El círculo rojo en la figura 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.



Figura 4.4.5. Subdivisiones y densificación en un área seleccionada en Cabo Blanco. Fuente: levantamiento de información en terreno sobre imagen Google Earth.



Figura 4.4.6. Subdivisiones y densificación en un área seleccionada en Cabo Blanco.Fuente: levantamiento de información en terreno sobre imagen Google Earth.

b) Sector Cayumapu

En el Informe de Monitoreo 2016, se mencionó la existencia de un loteo de más de 40 hectáreas 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, de la misma empresa inmobiliaria. Este segundo loteo, ubicado al norte de la villa Cayumapu, tiene una superficie aproximada de 5 hectáreas, lo que implica una cabida máxima de 10 parcelas (Figura 4.4.7). Durante el año 2018, se han instalado tresnuevas viviendas en este loteo.



Figura 4.4.7. Nuevo loteo de parcelas en sector norte de villa Cayumapu. Fuente: levantamiento de información en terreno sobre imagen Google Earth.

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 (Figura 4.4.8). 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 4.4.8. Urbanización en sector Cayumapu. Fuente: levantamiento de información en terreno sobre imagen Google Earth.

La Figura 4.4.9 presenta la variación en el número de viviendas del sector de Pichihuape, una de las áreas de poblamiento que se han identificado en la localidad de 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 2018), en el sector Cayumapu.

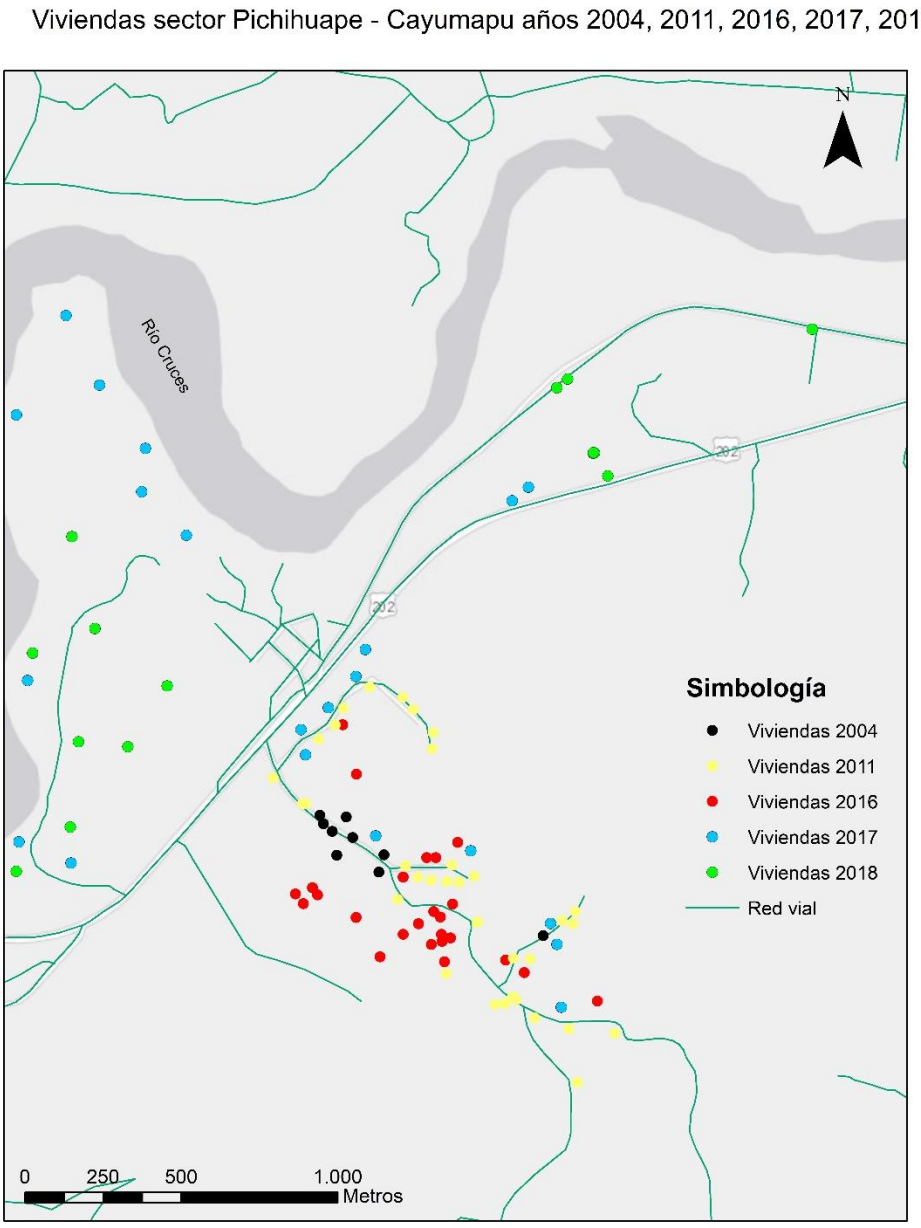


Figura 4.4.9. Variación del número de viviendas en Pichihuape: años 2004, 2011, 2016 a 2018. Fuente: Elaboración propia a partir de reconocimiento de terreno

El reconocimiento de terreno y el análisis de imágenes satelitales recientes (2018) ha permitido identificar 12 nuevas construcciones en el último año, lo que marca un importante dinamismo en el sector Cayumapu, dinamismo que se espera se incremente en

la medida en que comience a construirse de manera más intensa en los nuevos loteos que se mencionaron.

La Figura 4.4.9 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.

c) Sector de Punucapa.

La Figura 4.4.10 presenta la variación en las viviendas en el caso de la localidad de Punucapa. Como se puede apreciar, continúa la construcción de nuevas viviendas en este sector, aunque se ha reducido el ritmo de crecimiento. Estas nuevas construcciones surgen, principalmente, como manifestación de la búsqueda, por parte de habitantes de Valdivia, de áreas de mejores condiciones para vivir, específicamente por la posibilidad de disponer de mayores espacios a precios aún comparativamente convenientes. Durante el último año, objeto de este informe, las nuevas viviendas manifiestan una leve tendencia a extender el área poblada hacia el oriente, siguiendo el camino principal. En este caso también es necesario 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, en el sector norte del poblado. 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.

Si bien 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 en cuanto a movimientos de tierra y disposición de residuos, junto a otros efectos, recaerán finalmente en el HRC, dadas la orientación de las laderas, que dirijen los flujos de aguas superficiales, en dirección al HRC.

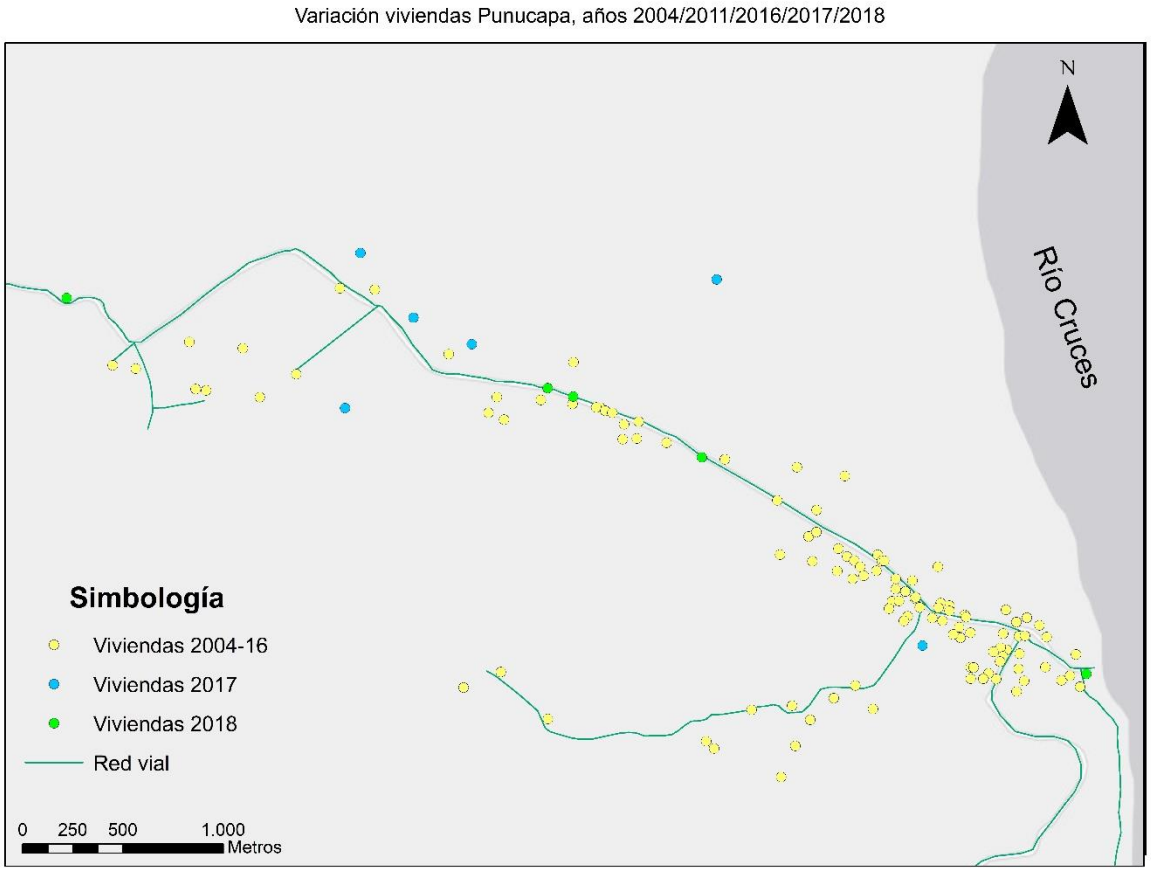


Figura 4.4.10. Variación del número de viviendas en Punucapa: años 2004, 2015, 2016 a 2018.Fuente: Elaboración propia a partir de reconocimiento de terreno

4.4.5. Conclusiones

- La dinámica de poblamiento del área de influencia estudiada (definida como área buffer), mantiene un ritmo moderado de crecimiento 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, según se ha podido establecer por la existencia de nuevos loteos en este sector.
- El área de estudio aún carece de un Instrumento de Ordenamiento Territorial que le otorgue algún grado de protección legal que regule la construcción de viviendas. 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 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.

4.4.6. Referencias

Chorley, R. & Kennedy, B. 1971. Physical Geography: A Systems Approach. London. Prentice-Hall. 370 páginas

4.5. CONOCIMIENTO ECOLOGICO LOCAL

4.5.1. Antecedentes

Entre las orientaciones planteadas por el Consejo Científico Social para el diseño del Programa de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del Humedal del río Cruces (HRC), estuvo considerar la participación de la comunidad y su conocimiento ecológico local (en adelante CEL) en el diseño e implementación de ambas medidas.

Es así como entre los años 2014 y 2015 se desarrolló la etapa de diagnóstico del componente conocimiento ecológico local de las comunidades asentadas en el área de influencia del humedal, entendido este último como una forma particular de conocimientos, prácticas y creencias asociadas al territorio las cuales evolucionan, se adaptan y se transmiten de una generación a otra.

El trabajo de levantamiento y análisis de información realizado en este período de diagnóstico del CEL de las comunidades que habitan el HRC se hizo a partir de tres parámetros:

a) Interpretación de percepciones y experiencias compartidas por los habitantes del humedal.

b) Identificación de transformaciones o cambios detectados por los actores locales en el HRC.

c) Identificación de amenazas asociadas la vida social y la calidad ambiental del HRC en el futuro inmediato o a largo plazo.

Como resultado de este trabajo, se propusieron indicaciones que pudieran ser de utilidad para el monitoreo del CEL, a partir de lo cual se definió que la continuidad de este componente en esta nueva etapa no se orientaría al seguimiento del CEL diagnosticado sino

al diseño e implementación de un modelo que involucrara a las comunidades locales en el monitoreo del HRC. En este contexto, el diseño de un proyecto de promoción del conocimiento ecológico local que buscara generar un modelo participativo de monitoreo debía partir por plantearse al menos dos desafíos: por una parte, contribuir a acercar a las comunidades locales al HRC, y por otra parte promover la interacción entre el conocimiento científico y el conocimiento local, con el objeto de activar este último en el contexto de un programa de monitoreo netamente científico.

A finales del año 2015 comenzó la etapa de monitoreo del CEL, para lo cual la primera tarea fue profundizar la información de diagnóstico con el objeto de recabar antecedentes primarios y secundarios que permitieran planificar el posterior trabajo diseño de un sistema de monitoreo con participación de distintos actores vinculados al HRC.

Surgió entonces la pregunta de dónde debía implementarse un proceso de diálogo entre saberes científicos y locales. Al respecto la evidencia indica que las escuelas constituyen nodos culturales claves para toda comunidad, por cuanto son el centro de reunión y convivencia más importante de muchas localidades rurales, aglutinan a los miembros de la comunidad y son el eje a partir del cual se estructura el sistema de educación rural.

A partir del conocimiento obtenido y el contacto establecido con informantes clave durante la primera etapa de diagnóstico, se planificó en consecuencia el trabajo de monitoreo del CEL durante el año 2016 en torno a dos ejes: 1) profundizar en la historia social del HRC, y 2) elaborar un programa de monitoreo del HRC en conjunto con escuelas situadas en zonas aledañas al humedal, entendiendo que si las comunidades educativas generaban nuevos aprendizajes, el saber adquirido se traduciría en nuevas prácticas de relacionamiento con el humedal. Entre estas nuevas prácticas se consideró que podían estar aquellas basadas en aprendizajes incorporados en las comunidades desde el trabajo científico, constituyéndose con el tiempo en parte de un patrimonio local que puede cobrar

importancia según las condiciones históricas vigentes y que también permita a las comunidades locales comprender aspectos desconocidos del funcionamiento del ecosistema local y tener más herramientas para encarar nuevos acontecimientos socio-ambientales en el futuro.

Al final de este período, el equipo de trabajo elaboró un programa de monitoreo ecológico local, orientado al fortalecimiento de capacidades y conocimientos de comunidades escolares, buscando con ello permear en la red social comunitaria a través de las actividades que se desarrollen en las escuelas y favorecer la incorporación de nuevas prácticas de relacionamiento de las comunidades locales con el HRC.

Para abordar el objetivo de elaborar un programa de monitoreo participativo con escuelas del HRC, se realizó un proceso de planificación conjunto con los profesores de las escuelas, el cual fue implementado el año 2017 en cuatro escuelas piloto situadas en zonas aledañas al HRC.

La evaluación de esta experiencia indicó, entre otros aspectos, lo siguiente: i) la gran cantidad de planes y programas que por normativa deben diseñar y ejecutar en los establecimientos educacionales se traduce en una gran sobrecarga laboral para los profesores y, en consecuencia, en pocas posibilidades de dedicar tiempo a preparar y realizar nuevas actividades; ii) las estrategias pedagógicas tradicionales y los escasos conocimientos disciplinarios en el tema ambiental que poseen los docentes dificultan que sean ellos mismos quienes realicen las actividades del programa; iii) la extensión de la jornada escolar en general se ha traducido en al aumento de horas lectivas destinadas a repasar materias, lo que ha dejado poco espacio al desarrollo de actividades complementarias que permitan enriquecer el currículum; iv) en todos los establecimientos hay niños y niñas que demuestran mayor interés que la media en las actividades y temáticas abordadas por el programa y que no encuentran un nivel de reto adecuado en sus contextos escolares.

Los elementos anteriormente expuestos dieron cuenta, en definitiva, que la implementación del programa de monitoreo al interior las propias escuelas no resultaba apropiado, pero que sin embargo sí era recomendable diseñar un plan formativo que permitiera a los niños y niñas con mayor talento académico e interés en el área ambiental, profundizar conocimientos y desarrollar capacidades en un espacio y horario extra escolar.

Debido a que el número de colegios y estudiantes que participaron del programa piloto el año 2017 era bajo, a partir del año 2018 el programa de monitoreo ecológico local se extendió a cinco escuelas de la comuna de Valdivia, territorio vinculado directa y cotidianamente con el HRC y donde sus habitantes no siempre manifiestan suficiente conciencia ni conocimiento de su importancia ecológica, productiva y cultural. En los establecimientos seleccionados se detectó un trabajo persistente asociado a ecosistemas de humedales urbanos desde las mismas escuelas y a través de programas externos, donde han utilizado los humedales cercanos para la realización de talleres ambientales, grupos scout, brigadas ecológicas, aprendizaje servicio, actividades recreativas, entre otras.

Con la elección estratégica de las escuelas de Valdivia se logró no sólo aumentar de 40 a 132 el número de estudiantes que participan del programa, sino también permear en la red social comunitaria a través de la realización y planificación conjunta de actividades con grupos scout, el Centro de Humedales Río Cruces y la Red Escolar de Observadores de Humedales, impulsando de esta forma la incorporación de nuevas prácticas de relacionamiento de las comunidades escolares urbanas con el HRC y otros humedales emblemáticos.

4.5.2 Objetivos

- Implementar un programa de monitoreo ecológico local orientado al fortalecimiento de capacidades y conocimientos de estudiantes de establecimientos educacionales situados en el territorio de estudio, que permee en la red social comunitaria a través de las actividades que se desarrollen en las escuelas y que favorezca la incorporación de nuevas prácticas de relacionamiento de las comunidades locales con el HRC, permitiendo usar el conocimiento como una herramienta para encarar nuevas situaciones ambientales.

- Desarrollar actividades extra curriculares en establecimientos educacionales de las comunas de Valdivia y Mariquina que estimulen y despierten el interés de alumnos en temáticas relacionadas con el medio ambiente y los humedales.

- Desarrollar una experiencia piloto extraescolar con los niños y niñas que muestren intereses o altas capacidades en su relación con el entorno natural, para rediseñar e implementar en función de ello un plan formativo que les permita profundizar conocimientos y desarrollar habilidades fuera de ámbito escolar.

- Diseñar una oferta formativa para docentes que permita actualizar conocimientos sobre ecología de humedales y entregar herramientas metodológicas para la educación ambiental en aula y al aire libre.

4.5.3. Material y métodos

Considerando que es relevante incorporar el conocimiento respecto a cómo observan, exploran y se relacionan con el HRC y sus ríos tributarios los habitantes de zonas urbanas, el programa de monitoreo ecológico local se implementó en cinco escuelas de Valdivia y 4 escuelas de Mariquina, con grupos previamente constituidos en los

establecimientos o bien seleccionados por sus propios docentes, haciendo uso de algunos de los espacios y horarios disponibles en los establecimientos escolares para dichos fines.

Las escuelas que participaron del programa durante el año 2018 fueron las siguientes:

- Escuela Rural de Pufudi: establecimiento municipal de la comuna de Mariquina; aquí el programa de monitoreo local se implementó con un grupo de 8 niños y niñas de 4° a 8° básico del taller de medio ambiente.

- Escuela Particular Misional Pelchuquin: establecimiento particular subvencionado de la comuna de Mariquina; aquí el programa de monitoreo local se implementó en el taller de Brigada Ecológica al cual asistieron 11 niños y niñas entre 4° y 8° básico.

- Liceo Seminario Menor San Fidel: establecimiento particular subvencionado de la comuna de Mariquina; aquí el programa de monitoreo local se implementó con un grupo de 22 niños y niñas de 4° a 8° básico seleccionado por la profesora de ciencias del establecimiento.

- Escuela Particular Santa Cruz: establecimiento particular subvencionado de la comuna de Mariquina; aquí el programa de monitoreo local se implementó con un grupo de 25 niños y niñas de 4° a 8° básico seleccionado por la profesora de química del establecimiento.

- Escuela El Bosque: establecimiento municipal de la comuna de Valdivia aledaño al humedal El Bosque; aquí el programa de monitoreo local se implementó con un grupo de 11 niños y niñas de 5° y 6° básico pertenecientes al Taller Ambiental.

- Escuela Alemania: establecimiento municipal de la comuna de Valdivia; aquí el programa de monitoreo local se implementó con un grupo de 15 niños y niñas del

Taller A+S (Aprendizaje - Servicio) de 4° y 5° básico que trabajan recurrentemente en el humedal Santa Inés.

- Escuela Angachilla: establecimiento municipal de la comuna de Valdivia; aquí el programa de monitoreo local se implementó con un grupo de 24 niños y niñas del taller ambiental y el grupo scout de 4°, 5°, 6° y 7° básico que trabajan en los humedales urbanos en coordinación con la Red de Humedales de sector Angachilla.

- Escuela Leonardo da Vinci: Escuela municipal donde el programa de monitoreo local se implementó con un grupo de 24 niños y niñas participantes del taller de Ciencia y Brigada ecológica, de 5to, 6to, 7mo y 8vo básico.

- Escuela Fedor Dostoievski: Escuela municipal donde el programa de monitoreo local se implementó con un grupo de con 8 estudiantes de 6to básico del taller Ambiental.

Los contenidos del programa se abordaron de manera lúdica y práctica, prestando atención a la participación activa de los estudiantes y desafiando su capacidad de observación y análisis. Además del trabajo en aula, se realizaron salidas a terreno a los humedales para profundizar contenidos y la vinculación de los estudiantes con estos ecosistemas. Se consideró prioritario que los talleres en aula y las salidas a terreno fueran experiencias que los desafiaran y situaran en escenarios concretos, de manera de despertar intereses y promover el despliegue de sus habilidades de pensamiento crítico, manteniendo una planificación flexible en función de los requerimientos específicos de cada grupo. En el caso de las escuelas de la comuna de Valdivia, el trabajo en se realizó en coordinación con la Red Escolar de Observadores de Humedales (REDEOH) del Departamento de Medio Ambiente de la I. Municipalidad de Valdivia, que ejecutó su programa 2018 en los mismos cinco establecimientos, logrando con esta alianza una mayor profundidad en los contenidos abordados y por ende un mejor logro de los objetivos planteados.

Una vez concluido el año escolar y con ello las actividades planificadas en cada establecimiento, se convocó a una selección de estudiantes que demostraron capacidades o talentos especiales en las temáticas abordadas durante el año 2018 a participar de un programa intensivo en el verano. De esta forma, se implementó en el mes de enero de 2019 la actividad "Piloto del Modelo de Enriquecimiento Escolar para el fortalecimiento del conocimiento ecológico local y el monitoreo del humedal del Río Cruces", cuyos objetivos principales fueron aproximar a los estudiantes y profesores a una experiencia extracurricular de aprendizaje en torno a los humedales e indagar en los intereses de los niños y niñas participantes del programa para, en función de ello, diseñar una oferta formativa que permita escalar, durante el año 2019, en conocimientos, habilidades y competencias a los estudiantes del programa.

La metodología escogida, tanto para la actividad piloto del mes de enero como para el programa del año 2019, es el Modelo de Enriquecimiento Escolar de Joseph Renzulli, el cual ha sido diseñado para el desarrollo del talento o las capacidades de los estudiantes y que comienza presentando a los alumnos un amplio espectro de disciplinas y tópicos que no son abordados en el currículo ordinario, trabajando de esta forma con una “triada de enriquecimiento” que se organiza en tres niveles:

1) Exposición a los alumnos nuevos intereses o estímulos

2) Entrenamiento grupal para el desarrollo de competencias

3) Profundización en grupos de investigación

La actividad realizada en el mes de enero abordó el punto 1 de la triada donde se expone a los estudiantes a nuevas ideas, a la vez que se mide y se crea interés. En total participaron de esta actividad 25 estudiantes y 3 profesoras, los cuales escogieron dos talleres de un total de cinco, como se muestra más adelante en la Tabla 4.5.3.

4.5.4. Resultados

En las siguientes tablas se presentan las actividades realizadas durante el periodo 2018 y enero 2019 en el programa de monitoreo ecológico local del HRC y los resultados obtenidos.

Tabla 4.5.1. Programa de actividades del Programa de Monitoreo Ecológico Local implementado el año 2018 en las escuelas

UNIDAD	CONTENIDOS	ACTIVIDADES
PLANIFICACIÓN CURRICULAR	- Comprometer participación de las escuelas. - Definir grupos y horarios de trabajo - Asignar un docente encargado - Coordinar con la REOHU de la I. Municipalidad de Valdivia	- Reunión de coordinación y planificación de actividades en cada escuela con Unidad Técnica Pedagógica. - Reunión de coordinación de actividades con escuelas de la red escolar de observadores de humedales de la I. Municipalidad de Valdivia. - Revisión programa curricular y actividades JEC de las escuelas para integrar a la planificación las actividades del programa de monitoreo
CONOCIENDO LOS HUMEDALES Y COMPRENDIENDO SUS FUNCIONES	- Presentación del proyecto a estudiantes. - Evaluación del estado actual de conocimiento y apreciación de los estudiantes sobre los humedales. - ¿Qué son los humedales? - Importancia social y ecológica de los humedales	- Actividad guiada: Desafío ¿Qué es un humedal? Abordar esta pregunta de manera dinámica y participativa con trabajo grupal orientado a deducir las funciones de un humedal mediante la observación de imágenes, objetos y el análisis de las relaciones entre sus componentes.

UNIDAD	CONTENIDOS	ACTIVIDADES
	- Comprender las funciones y principales características de un humedal. - Familiarizarse con conceptos recurrentes en la investigación de humedales.	
LOS HUMEDALES DE MI CIUDAD	- Conocer los humedales urbanos y su importancia dentro las ciudades. - Detectar amenazas y usos, analizando las funciones, beneficios, usos sociales y productivos de los humedales en general. - Organización e intervención ciudadana para la conservación de humedales.	- Salida a terreno a humedales Angachilla, Laguna El Alivio y Catrico.
PRESENTACION DEL HUMEDAL DEL RIO CRUCES Y SERVICIOS ECOSISTEMICOS	- Conocer la historia e importancia del HRC y Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter - Conocer algunas especies vegetales y animales que habitan el humedal del rio cruces - Conocer el concepto de "servicios ecosistémicos" y relacionarlos con las funciones y usos de los humedales	- Clase expositiva acerca de las características e importancia del HRC. - Análisis de la noticia del diario "Fuertes lluvias dejan en evidencia necesidad de proteger los humedales" (9 agosto Diario Austral) e historietas "Banco del Agua" de (RAMSAR). - Se introduce a los estudiantes a los servicios ecosistémicos a partir de la información que entregan las historietas y noticias (control de inundaciones, reposición de aguas subterráneas, depuración de aguas).

UNIDAD	CONTENIDOS	ACTIVIDADES
		- Ver videos sobre servicios ecosistémicos.
EL AGUA COMO COMPONENTE ESCENCIAL EN LOS HUMEDALES	- Analizar los factores que pueden afectar y deteriorar la calidad del agua. - Aprender a identificar el agua contaminada y cuáles son los efectos en los seres vivos del humedal - Reforzar la importancia del agua dulce y como los humedales contribuyen a su preservación. - Sensibilizar sobre el impacto de la contaminación en la naturaleza y la importancia del agua en los ciclos de vida en el humedal y fuera de él.	- Actividad practica "la gota contaminante" - Clase expositiva con apoyo de soporte audiovisual para reflexión grupal - ¿Qué pasa si se introduce y luego se saca un objeto del agua contaminada, por ejemplo, una pluma? ¿Y si el objeto fuera un ave acuática que se zambulle? - ¿Qué consecuencias pueden tener los contaminantes que flotan en el agua o que cubren su superficie?
ANFIBIOS Y CALIDAD DEL AGUA EN LOS HUMEDALES	- Conocer el ciclo biológico de los anfibios y su relación con el ecosistema acuático. - Observar distintas especies y conocer las condiciones necesarias para su correcta manipulación y estudio.	- Salida a terreno para la observación de anfibios, su hábitat y amenazas de conservación presentes en estos ecosistemas.
ECOLOGIA DEL HUMEDAL, ADAPTARSE O MORIR: EL CASO DE LAS AVES DEL HUMEDAL	- Qué es la biodiversidad e importancia de la riqueza genética. ¿Son todas las aves iguales? ¿Cuáles son adaptaciones de las aves a su ambiente? - Analizar el concepto de adaptación (biología)	- Observar distintas aves disecadas describiendo las adaptaciones de estas especies a las condiciones de vida en un humedal. - Ficha con imágenes sobre morfología de aves (forma de patas y picos) para que

UNIDAD	CONTENIDOS	ACTIVIDADES
	mediante la observación de especies de aves. - Conocer distintas aves emblemáticas de los humedales chilenos y reconocer las adaptaciones morfológicas que presentan las aves según su ambiente.	completen según la imagen que función creen que cumple esa adaptación. Actividad grupal para relacionar la morfología de un ave con ciertas conductas o hábitat. - Vincular los aprendizajes provocados por estas actividades con el título de esta unidad "Adaptarse o Morir".
OBSERVACION DE AVES DEL HUMEDAL EN SU HABITAT	- Diversidad de hábitat que ocupan las aves en un ecosistema. - Las fuentes de alimento para las aves de un humedal según la especie. - Reconocer sonidos de las aves presentes en un humedal. - Utilizar implementos y condiciones necesarias para la observación y estudio de aves (binoculares, guía de campo, libreta de campo).	- Salida a terreno para avistamiento de aves en su hábitat natural.
EL ARTE COMO MEDIO DE DIVULGACIÓN CIENTIFICA Y EDUCACIÓN AMBIENTAL	- Reconocer la naturaleza como fuente de inspiración humana no solo para la ciencia - Conocer la ilustración científica y naturalistas destacado (Darwin, Philippi, Maria Sibylla Merian). - Reflexionar si el conocer y estudiar una especie cambia nuestra	- Observación, investigación e Ilustración naturalista con acuarelas de una especie del humedal. - Realizar una ficha descriptiva de la especie escogida.

UNIDAD	CONTENIDOS	ACTIVIDADES
	percepción sobre ella y como la emoción puede favorecer el aprendizaje y la conservación.	
ACTIVIDAD DE CIERRE "HUMEDAL DEL RIO CRUCES EN TERRENO"	- Cierre de los talleres de formación sobre humedales realizadas durante el año 2018 con todas las escuelas participantes. Invitación a programa de verano.	- Salida a terreno en catamarán para recorrer el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter - Visita a exposición "Tierra de Ranas" de Explora CONICYT. - Cierre de actividades 2018

Tabla 4.5.2. Áreas de trabajo para "Piloto Modelo de Enriquecimiento Escolar para el fortalecimiento del conocimiento ecológico local y el monitoreo del humedal del Río Cruces".

ÁREA	DESCRIPCIÓN
1. Naturaleza y emoción para los oficios y la expresión artística	Línea de aprendizaje que busca, a través de distintas expresiones artísticas u oficios, vincular a los niños y niñas con la naturaleza, entendiendo que la emoción es la piedra angular de cualquier aprendizaje significativo y que las emociones positivas vividas, en y hacia la naturaleza, tienen un impacto concreto en actitudes de conservación a futuro. Para motivar a las personas a actuar en favor de la naturaleza, la educación sobre medio ambiente debe ser más integral en su alcance, mediante la inclusión del componente emotivo tanto como el conocimiento.
	Objetivos: 1) Generar distintos productos que permitan visualizar la riqueza natural de la región, específicamente los humedales. 2) Aprender-haciendo que la naturaleza es fuente de inspiración para el arte. 3) Generar vínculos con una o varias especies de los humedales mediante su observación detallada, investigación y trabajo persistente en algún producto artístico de difusión.

ÁREA	DESCRIPCIÓN
2. Tecnología para la ciencia ciudadana y la educación ambiental	La tecnología en la educación es una herramienta poco explotada en nuestros sistemas escolares, pese al gran interés que suscita en los niños y niñas. Debido al uso masivo de celulares en las nuevas generaciones, es un desafío emergente incorporar la tecnología y los procedimientos tecnológicos al aprendizaje. Por ejemplo, su uso para actividades de monitoreo de flora, fauna y amenazas ambientales, así como videos de animación para la difusión o sensibilización ambiental. Todo creado y gestionado por los propios estudiantes, en base a sus motivaciones y sensibilidades.
	Objetivos: 1) Crear animaciones o fotomontajes entretenidos para la difusión de la importancia del humedal, sus funciones y especies. 2) Trabajar con las plataformas o APP para el monitoreo ciudadano de los humedales. 3) Diseñar un juego de educación ambiental relacionado con el humedal.
3. Ciencia experiencial en los humedales	Línea de aprendizaje que se basa en aprender a través de la experiencia guiada, buscando posicionar la experiencia científica como centro en el aprendizaje y fomentando la observación de la naturaleza y generación de preguntas de investigación.
	Objetivos: 1) Guiar y mejorar la comprensión de los niños y niñas acerca de la naturaleza, sus procesos y las complejidades del funcionamiento de los ecosistemas, específicamente los humedales de la región 2) Acompañar a los niños y niñas en los procesos de indagación de la naturaleza y proporcionar las herramientas necesarias para escalar en la búsqueda del conocimiento.

Tabla 4.5.3. Contenido de los talleres implementados en enero para el programa"Piloto Modelo de Enriquecimiento Escolar para el fortalecimiento del conocimiento ecológico local y el monitoreo del humedal del Río Cruces"

ÁREA	TALLER	MONITOR	MODULO	ACTIVIDADES
ARTES Y OFICIOS	HumedArte Cerámica en Frío	Constanza Cifuentes Medica Veterinaria y Artista (Pitiwe)	1	- Aprendizaje e identificación de las especies más emblemáticas de los humedales a través de sus formas y colores. - Moldeado en cerámica y pintura de aves, jugando con las formas, siluetas y colores. - Creación de maqueta del humedal para exponer las especies trabajadas.
	Micro cuentos y timbres tallados (Linografía)	Pabla Lepin Licenciada en Artes Visuales (Timbres Mawûn)	2	- Registro y reconocimiento de la fauna que habita el humedal del Río Cruces en la comuna de Valdivia, para la realización de micro-cuentos y una serie de timbres tallados inspirados en la interacción entre diversas especies (linografía).
	Relatos del Humedal	Elisa Monsalve Ilustradora y Artista visual	2	- Creación de un personaje asociado a la ecología del humedal y un mini libro
CIENCIA Y TECNOLOGÍA	Crea tu Scratch del humedal. Tecnología en apoyo a los humedales	Erick Araya Ingeniero Informático UACh	1	- Aprender a usar el software Scratch, como medio para la difusión de los humedales visitados. Desarrollar juegos simples que ayuden a la comunidad infantil a conocer la flora y fauna de un humedal, así como tomar conciencia de la importancia del cuidado del humedal.
	Ciencia del humedal en terreno	Nadia Pérez y Kenneth Alvarado Programa Monitoreo HRC	2	- Trabajo en terreno con el ciclo de indagación. - Visita a laboratorios de la universidad para conocer diversos proyectos de investigación.

ÁREA	TALLER	MONITOR	MODULO	ACTIVIDADES
		Valeria Ochoa Coordinadora Educación Ambiental - DAEM de Valdivia. Con la colaboración del Centro Humedales (CEHUM)		- Acercamiento a la Ornitología en Parque Urbano El Bosque. - Acercamiento a la herpetología en terreno y reconocimiento de especies vegetales y animales en un ecosistema de bosque con manejo mixto, asociadas a un humedal. - Reflexiones sobre la importancia de recuperar el vínculo entre el ser humano y la naturaleza e incentivar el contacto con la naturaleza como hábito cotidiano para el bienestar y mejora en la calidad de vida.

4.5.5. Evaluación del programa

Como resultado del trabajo persistente con estudiantes y escuelas aledañas al HRC durante el periodo 2017-2018, el equipo ejecutor destaca los siguientes aspectos:

- Se consolidaron vínculos de confianza y acuerdos de trabajo conjunto con equipos directivos y docentes en escuelas de las comunas de Valdivia y San José de la Mariquina.

- Los docentes están fuertemente involucrados con el proyecto y existe la necesidad sentida de incorporar, desde el ámbito escolar y extraescolar, la educación ambiental y el monitoreo ecológico local del HRC y otros humedales de importancia regional.

- Luego de una serie de experiencias inspiradas en el método de enriquecimiento escolar o SEM[4], se conformó un grupo de aproximadamente 30 estudiantes pertenecientes a diversos establecimientos, que durante el proceso de charlas y salidas a terreno demostró especial interés y capacidades para enfrentar las temáticas abordadas, incluso fuera del ámbito escolar formal.

- Nuevamente se evidencia que la estructura curricular de la jornada escolar completa dificulta la incorporación de contenidos del programa de manera transversal y diversificada en las distintas asignaturas. Asimismo, las pautas de relaciones sociales arraigadas en las escuelas dificultan la implementación de actividades que puedan escalar en cuanto a la profundidad de los contenidos y permanencia de las acciones.

- Los intereses de los estudiantes son muy diversos, así como la forma de abordar una misma problemática o contenido. Por ello, las actividades se ven potenciadas en un ambiente extraescolar, con una organización de contenidos de acuerdo a los intereses de los alumnos y el acompañamiento personalizado de los estudiantes, que les permita desplegar y desarrollar sus habilidades en las distintas áreas del conocimiento con mayor autonomía.

Por estas razones y como se mencionó anteriormente, la planificación de actividades del programa de monitoreo ecológico local para el año 2019 se estructura metodológicamente en base al Modelo de Enriquecimiento Escolar de Joseph Renzulli, donde como principios centrales se considera:

- Otorgar la niños y niñas, que demuestran un interés mucho mayor que sus compañeros en el medio ambiente, la posibilidad de desarrollar capacidades y

[4] Modelo de enriquecimiento escolar diseñado para el desarrollo del talento, que comienza presentando a los alumnos un amplio espectro de disciplinas y tópicos que no son abordados en el currículo ordinario; En el programa de MHRC se desarrollaron diversas experiencias Tipo I, sobre ecología, conservación y monitoreo de humedales desde el arte, la ciencia y la tecnología.

adquirir conocimientos respecto a las temáticas abordadas por el programa de monitoreo del HRC.

- Otorgar a los niños y niñas, que expresan mayores capacidades y talentos, un nivel de reto adecuado para ellos mediante la realización de proyectos personales o grupales en base a sus intereses.

- Promover y facilitar mediante una oferta formativa organizada curricularmente, la vinculación de los estudiantes con la red de actores institucionales relacionados al HRC, que se encuentran con disposición a organizar y coordinar acciones relacionadas con educación ambiental en establecimientos educacionales.

La propuesta formativa del programa que se desarrollará durante el año 2019 se estructura en tres áreas: i) tecnología aplicada, ii) ciencias, y iii) artes y oficios. Para cada una de estas áreas, se ofrecerán durante el primer semestre una batería amplia de cursos breves que permita a los estudiantes explorar sus habilidades e intereses en una oferta curricular diversificada e idealmente innovadora. Luego, durante el segundo semestre los estudiantes podrán organizarse en grupos de enriquecimiento para desarrollar proyectos que surjan de su propio interés, contando para ello con el apoyo de monitores o mentores que los guíen en este proceso. En el anexo 1 se presenta la planificación de actividades para el año 2019.

ANEXOS

Anexo 1. Estructura metodológica propuesta para actividades periodo 2019

SEM	MES	FECHAS	UNIDAD	CONTENIDOS	ACTIVIDADES
1	MARZO	04 al 29	PLANIFICACIÓN CURRICULAR Y COORDINACIÓN TERRITORIAL	Planificación de actividades y cursos del primer semestre	- Revisión del programa curricular - Reunión de coordinación y planificación de actividades con monitores. - Presentación de la metodología, diseño de mecanismo de evaluación del programa
				Coordinación con red de actores institucionales relacionados al HRC	- Reunión con encargados de Educación Ambiental de I. Municipalidad de Valdivia y San José de la Mariquina
					- Reunión con equipo Centro Humedales CEHUM
					- Reunión Comunidad Humedal
			CONVOCATORIA Y DIFUSIÓN	Evaluación del periodo 2018 junto a la comunidad educativa	- Reunión con equipos directivos y docentes de todas las escuelas participantes del proyecto
				Lanzamiento del Programa	- Circuito de actividades de inducción y lanzamiento del Programa en cada escuela, dirigida a la comunidad escolar
	ABRIL	01 al 05			
		Sábado 13	INICIO DEL PROGRAMA	Presentación de actividades y contenidos generales	- Actividades generales de educación ambiental y presentación del HRC
					- Presentación del Programa a estudiantes
					- Elección de cursos e inscripción
		Sábado 20	FERIADO		
	MAYO	Sábado 04	ACTIVIDADES DE EXPLORACIÓN GENERAL	Implementación Módulo 1	Curso N° 1 Áreas CIENCIAS/TECNOLOGÍA /ARTES Y OFICIOS
		Sábado 11			
		Sábado 18			

SEM	MES	FECHAS	UNIDAD	CONTENIDOS	ACTIVIDADES
		Sábado 25	EXPERIENCIAS ENRIQUECIMIENTO TIPO II GENERALES	Implementación Módulo 2	Curso N°2 Áreas CIENCIAS/TECNOLOGÍA/ARTES Y OFICOS
	JUN.	Sábado 1			
		Sábado 8			
		Sábado 15		Implementación Módulo 3	Curso N°3 Área CIENCIAS/TECNOLOGÍA/ARTES Y OFICIOS
		Sábado 22			
	JUL.	Sábado 06			
		06 al 12	EVALUACIÓN	Evaluación de módulos 1, 2 y 3	A partir de la evaluación de los módulos se miden intereses para generar oferta de EXPERIENCIAS TIPO II ESPECIFICAS
		12 al 29	VACACIONES DE INVIERNO		
2	AGO.	Sábado 03	PRESENTACION OFERTA DE EXPERIENCIAS Y CONTENIDOS	Coordinación de actividades	Definir proyectos a desarrollar por cada grupo
		Sábado 10	ACTIVIDADES GRUPOS DE ENTRENAMIENTO; EXPERIENCIAS DE ENRIQUECIMIENTO TIPO II ESPECÍFICO	Entrenamiento de habilidades	Vincular a estudiantes con actores del territorio que puedan acompañar el proceso de desarrollo de proyectos de profundización en grupos pequeños
		Sábado 17			
		Sábado 24			
		Sábado 31			
	SEPT.	Sábado 07			
		09 al 23	ACTIVIDADES DE FIESTAS PATRIAS		
		Sábado 28	ACTIVIDADES GRUPOS DE ENTRENAMIENTO; EXPERIENCIAS DE ENRIQUECIMIENTO TIPO II ESPECÍFICO	Generar grupos de monitoreo escolar	Vincular a estudiantes con actores del territorio que puedan acompañar el proceso de desarrollo de proyectos de profundización en grupos pequeños Alumnos que hayan trabajado en un área de interés pasan ahora a profundizar sus conocimientos en dicha área utilizando metodología de
	OCT.	Sábado 05		Entrenamiento de habilidades	
		Sábado 19			
		Sábado 26			

SEM	MES	FECHAS	UNIDAD	CONTENIDOS	ACTIVIDADES
					investigación avanzada (lectura bibliográfica, trabajo por proyectos, etc.)
	NOV.	Sábado 09	ACTIVIDADES GRUPOS DE ENRIQUECIMIENTO TIPO III	Desarrollo de Talentos, autonomía y creatividad	Identificar estudiantes con talentos y compromiso individual en adquirir un conocimiento más profundo de un tema específico previamente trabajado. Favorecer la ejecución de proyectos reales en grupos de investigación o creación con la elaboración de un producto final que comunican finalmente a una audiencia
		Sábado 16			
		Sábado 23			
		Sábado 30			
	DIC.	02 al 06	**CIERRE - FINALIZACIÓN DE CLASES**		
		09 AL 20	**EVALUACIÓN**		

5. SINTESIS, ALCANCES Y AMENAZAS O ADVERTENCIAS

En relación a estado ambiental actual del HRC

En general, los resultados del Cuarto año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC son similares a los de los tres primeros años del mismo programa y a los del Programa de Diagnóstico Ambiental del humedal. Es decir, la variabilidad de los componentes abióticos y bióticos se ha mantenido similar, entre los años 2014 y 2018.

Para el caso específico de la **calidad de agua** del HRC:

i) La calidad de agua se ha mantenido acorde a normativas y guías ambientales (*i.e.*, Norma 1333 para Agua de Riego y Uso Recreativo y Guía CONAMA 2004 para el establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas). Es necesario recordar eso sí, que no todos los elementos o compuestos estudiados en el Programa de Monitoreo están presentes en las normas arriba aludidas, como por ejemplo Dioxinas y Furanos

ii) Durante el año 2018 se detectaron por primera vez en aguas del humedal las Dioxinas 2.3.7.8-TCDD (sector Punucapa) y 1.2.3.7.8-PCDD (sectores Rucaco y Punucapa); ambas dioxinas también fueron detectadas durante el 2018 en aguas del río Calle Calle (la 1.2.3.7.8-PCDD ya había sido detectada en este sector durante el año 2017).

Para el caso específico de **calidad de sedimentos** en el HRC:

No se han encontrado mayores diferencias entre años de muestreo; sin embargo, destaca lo siguiente: hasta la última campaña realizada durante abril del año 2018, no se ha detectado la Dioxina TCDD 2,3,7,8 en los sedimentos de ninguna de las estaciones muestreadas. Durante esa campaña, si se detectó

la Dioxina 1,2,3,7,8-PeCDD en los sedimentos provenientes de los ríos Pichoy y Cayumapu. Esta última dioxina ya había sido encontrada con anterioridad (abril 2017) en sedimentos del humedal (sector San Luis).

Para el caso específico de las **macrófitas acuáticas**:

i) El Luchecillo (*Egeria densa*) se limita a los fondos someros o bañados de todo el HRC; su frecuencia de ocurrencia se ha mantenido sin mayor variación desde el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (Fig. 6.1).

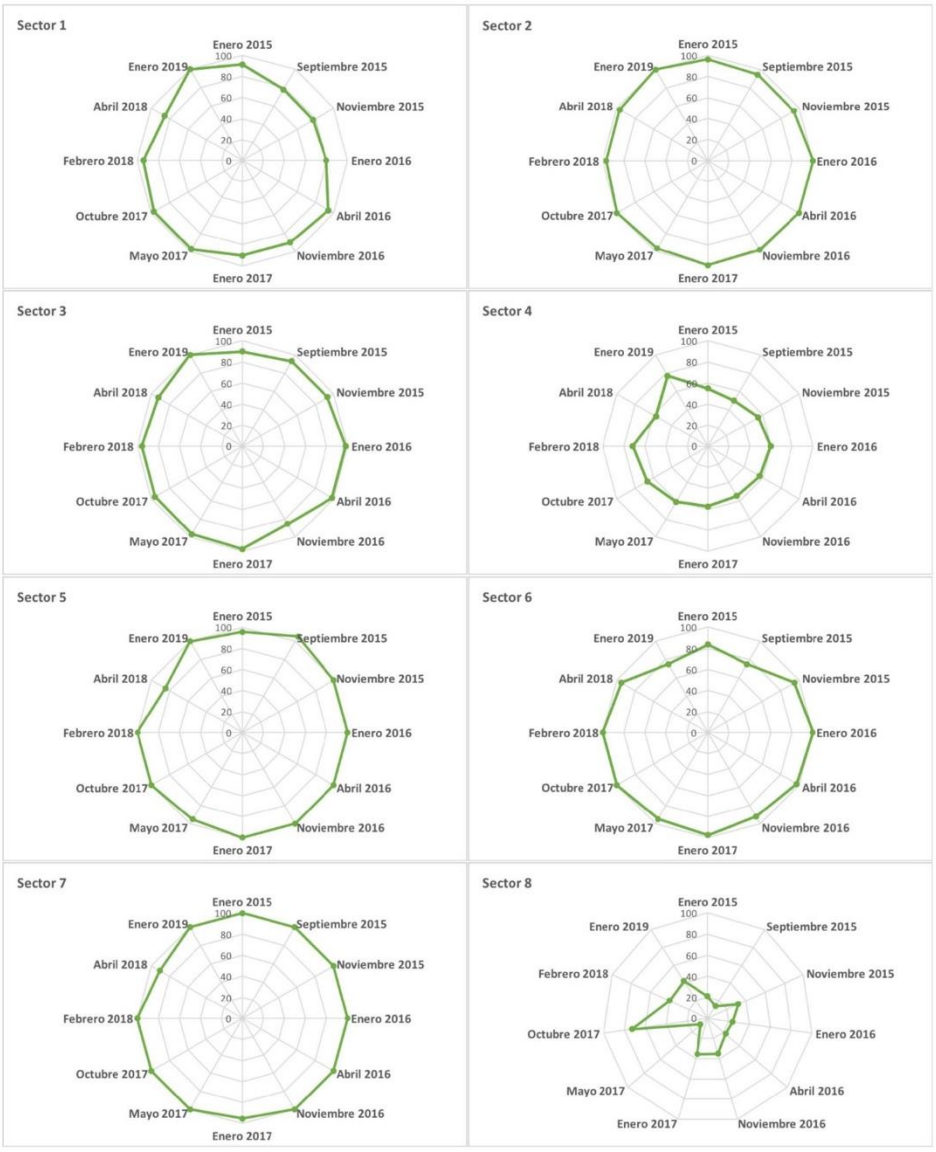


Figura 6.1. Presencia en porcentaje del Luchecillo (*Egeria densa*) en el HRC (para Metodología ver punto 4.2.7.1.3 (Material y métodos en Capítulo 4.2.7 Avifauna) y aplicable a macrófitas acuáticas).

ii) La ocurrencia del Huiro (*Potamogeton pusillus*) disminuyó notoriamente durante el tercer y cuarto año del Programa de Monitoreo (Fig. 6.2). El Huiro es una macrófita acuática consumida por el Cisne de cuello negro; por lo tanto, la eventual disminución sostenida de esta macrófita es un tema que debe tenerse presente, ya que lo observado podría ser el resultado de

interacciones interespecíficas entre macrófitas o cambios en el tipo de hábitat preferido de esta especie.



Figura 6.2. Presencia en porcentaje del Huiro (*Potamogeton pusillus*) en el HRC (para Metodología ver punto 4.2.7.1.3 (Material y métodos en Capítulo 4.2.7 Avifauna) y aplicable a macrófitas acuáticas).

iii) Durante el año 2018 se constató la desaparición del HRC de la Flecha de agua (*Sagittaria montevidensis*) en el HRC (Fig. 6.3), especie que en su momento

llevó a hipotetizar una eventual interacción competitiva por el espacio con el Luchecillo.

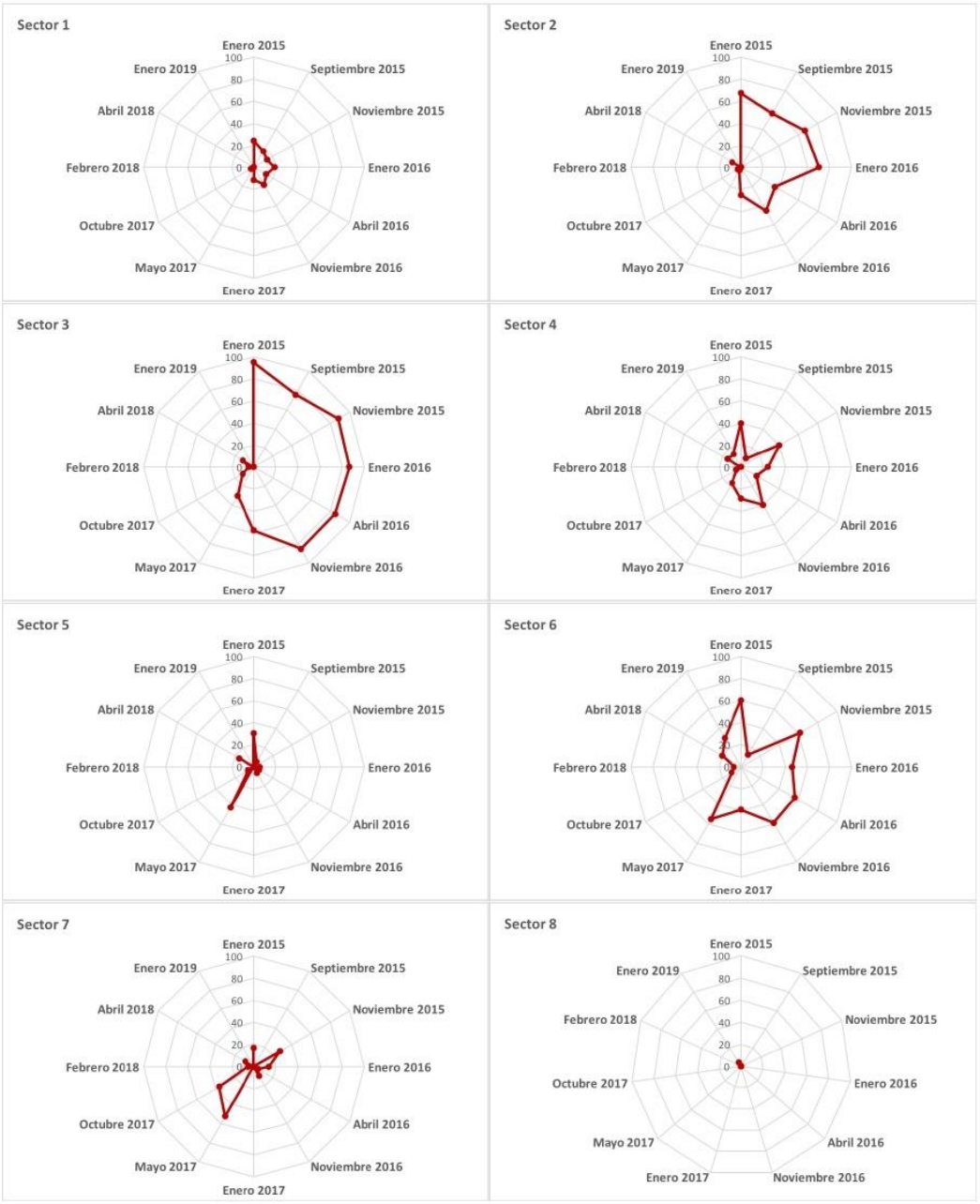


Figura 6.3. Presencia en porcentaje de la Flecha de agua (*Sagittaria montevidensis*) en el HRC (para Metodología ver punto 4.2.7.1.3 (Material y métodos en Capítulo 4.2.7 Avifauna) y aplicable a macrófitas acuáticas).

iv) La expansión espacial del Duraznillo de agua (*Ludwigia peploides)* en el HRC es un proceso constante (Fig. 6.4). Esta situación debe observarse con

atención ya que observaciones recientes muestran que esta especie crece sobre las plantas de Luchecillo, situación que podría resultar en detrimento para esta última, tal como en otras áreas donde se ha demostrado que especies de *Ludwigia* poseen efectos negativos o alelopáticos sobre otras macrófitas acuáticas.



Figura 6.4. Presencia en porcentaje del Duraznillo de agua (*Ludwigia plepoides*) en el HRC (para Metodología ver punto 4.2.7.1.3 (Material y métodos en Capítulo 4.2.7 Avifauna) y aplicable a macrófitas acuáticas).

Para el caso específico de la **fauna de camarones y peces ribereños** destaca, lo siguiente:

i) Durante el año 2018, solo se detectó la presencia de la Dioxina 2.3.7.8-TCDD en camarones recolectados en el sector Calle Calle.

ii) Al igual que durante el año 2017, durante el 2018 se detectó la presencia de la Dioxina 2.3.7.8-TCDD en puyes de los sectores Ciruelos, Rucaco y Calle Calle. A su vez, la Dioxina 1.2.3.7.8-PCDD fue detectada durante el 2018 solo en peces del sector Calle Calle, situación que también ocurrió durante el año 2017.

Para el caso específico de la **avifauna acuática**:

i) Las abundancias poblacionales del Cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*) siguen mostrando un alza sostenida, con un máximo de aproximadamente 16000 aves durante la primavera del año 2018 (Fig. 6.5); las abundancias de la Tagua (*Fulica armillata*) fambién han aumentado en el tiempo, pero de modo irregular; durante el año 2018 el máximo censado por CONAF fueron 17.400 aves (Fig.6.5).

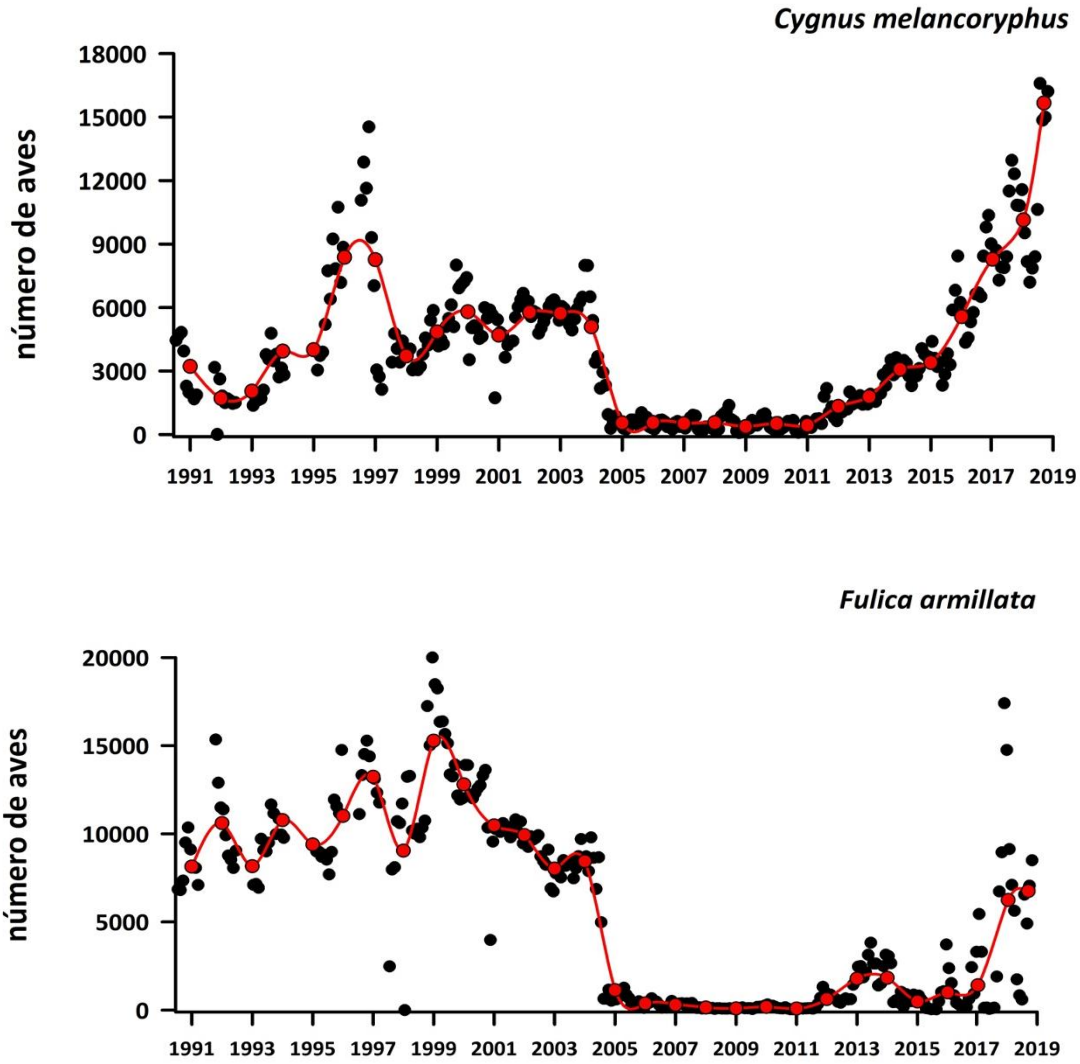


Figura 6.5. Variabilidad en las abundancias del Cisne de cuello negro y la tagua en el HRC. Fuente de datos: CONAF.

ii) Similar a lo observado en años anteriores, los tejidos musculares de la Garza blanca recolectados el otoño del año 2019 revelaron la presencia de las Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PCDD.

• En relación a **Amenazas o Advertencias:**

La Tabla 6.1 resume las amenazas o advertencias que han detectado los integrantes del equipo de trabajo del Monitoreo del HRC; destacan como las más relevantes en cuanto a calidad ambiental y sustentabilidad del humedal las siguientes:

i) Eventual proceso de bio - acumulación de compuestos químicos organicos, en vertebrados de niveles superiores de la trama trófica. Esto

ii) Modificación de áreas ribereñas por desarrollo inmobiliario u otros; por ejemplo, instalación de pista de aguas tranquilas en sector Puente Cruces & confluencia canal mareal Cau Cau y río Cruces, con la consecuente afectación de: áreas de nidificación y alimentación de aves acuáticas, fondos someros con abundante cobertura de macrófitas acuáticas que son el alimento de las aves acuáticas herbívoras del humedal y áreas de pajonales que soportan una alta diversidad de aves cantoras.

iii) Cambios de uso de suelo debido a expansión urbana y actividades de cultivo.

iv) Ausencia de zonificación que incluya todas las riberas del sistema del HRC y donde se incluyan objetos de conservación, como por ejemplo “hot spots” de diversidad de macrófitas acuáticas, áreas de refugio para la avifauna acuática y fauna de mamíferos, zonas de nidificación de aves y zonas de relevancia socio-cultural, etc.

Tabla 6.1. Lista de amenazas & advertencias a enero & febrero de los años 2015 (Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC), 2016, 2017, 2018 y 2019 (primer, segundo, tercer y cuarto año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, respectivamente). El número de signos + indica el grado de importancia de la misma, siendo +++ el nivel más alto. Ausencia de signos = amenaza o *advertencia no considerada como relevante durante el año respectivo.*

amenazas & advertencias	2015	2016	2017	2018	2019
Presencia del Visón	+++	+++	++	++	+
Eventual invasión de la Tortuga de orejas rojas	+++	++	+	+	+
Aumento en cobertura de la Flecha de agua	++	++	+		
Descargas de RILES de planta Valdivia de ARAUCO*	++	++	+	+	+
Eventual bio - acumulación de compuestos químicos, en vertebrados de niveles superiores de la trama trófica	+++	+++	+++	+++	+++
Modificación de línea de costa y fondos someros, debido a levantamiento continental inter - sísmico	++	++	++	++	++
Modificación de fondos someros y orillas por infraestructura vial acuática y dragados		++	++	+	+
Modificación de áreas ribereñas por desarrollo inmobiliario u otros (*e.g.* pista de aguas tranquilas)		++	+++	++	+++
Cambios de uso del suelo y contaminación difusa		++	+++	+++	+++
Disminución de agua caída			++	++	++
Ausencia de zonificación del socio – ecosistema de las riberas del HRC			++	+++	+++
Ausencia de programas de vinculación entre el CEL y la actividad de los investigadores en el área		++	++	+	
Desconfianza de la población ribereñas hacia ARAUCO, estado e instituciones académicas *	+++	++	++	+	+

6 EQUIPO DE TRABAJO

Se incluye a continuación el equipo de académicos, investigadores, asistentes técnicos y de investigación, que participaron en el cuarto año del Programa de Monitoreo Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (abril 2018 - marzo 2019).

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.
Nadja Bello, Biólogo Marino

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.