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 2017 - MARZO 2018

MARZO 2018

Dirección · Campus Isla Teja · Valdivia · Chile

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

ÍNDICE

		Página
1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVOS	6
3.	ANÁLISIS DE DATOS AMBIENTALES DE LARGO PLAZO	7
	3.1. Antecedentes climáticos del área de estudio	7
	3.2. Objetivos	8
	3.3. Material y métodos	8
	3.3.1. Recopilación de datos históricos	8
	3.3.2. Análisis de temperatura mínima del aire, precipitaciones, caudal hídrico y del espejo de agua	8
	3.4. Resultados	11
	3.4.1. Temperatura mínima del aire	11
	3.4.2. Precipitaciones	15
	3.4.3. Caudal hídrico del río Cruces	24
	3.4.4. Nivel del espejo de agua	29
	3.5. Conclusiones	33
	3.6. Referencias	34
4.	COMPONENTES DEL PROGRAMA	36
	4.1. COMPONENTES ABIÓTICOS	36
	4.1.1. CALIDAD DEL AGUA	36
	4.1.1.1 Objetivos	36
	4.1.1.2. Material y métodos	37
	4.1.1.3. Resultados	43
	4.1.1.4. Análisis comparativos en relación a la calidad de agua	197
	4.1.1.5. Conclusiones	207
	4.1.2. CALIDAD DEL SEDIMENTO	210
	4.1.2.1.Objetivos	210
	4.1.2.2. Material y métodos	210
	4.1.2.3. Resultados	214
	4.1.2.4. Análisis comparativos en relación a la calidad de sedimento	264
	4.1.2.5. Conclusiones	278
	4.1.2.6. Referencias	280

4.2. COMPONENTES BIOLÓGICOS 282

4.2.1. MACRÓFITAS ACUÁTICAS 282
4.2.1.1. Análisis espacio-temporal de la calidad del agua y cobertura de macrófitas acuáticas mediante sensores remotos 282
4.2.1.1.1. Antecedentes 282
4.2.1.1.2. Objetivos 283
4.2.1.1.3. Material y métodos 284
4.2.1.1.4. Resultados 299
4.2.1.1.5 Conclusiones 336
4.2.1.1.6. Referencias 338
4.2.2. MACROINFAUNA DE FONDOS SEDIMENTARIOS 341
4.2.2.1. Antecedentes 341
4.2.2.2. Objetivos 342
4.2.2.3. Material y métodos 342
4.2.2.4. Resultados 346
4.2.2.5. Conclusiones 399
4.2.2.6. Referencias 401
4.2.3. MACROFAUNA DE FONDOS RITRALES 421
4.2.3.1. Antecedentes 421
4.2.3.2. Objetivos 422
4.2.3.3. Material y métodos 422
4.2.3.4. Resultados 427
4.2.3.5. Conclusiones 443
4.2.3.6. Referencias 444
4.2.4. FAUNA DE CAMARONES 451
4.2.4.1. Antecedentes 451
4.2.4.2. Objetivos 452
4.2.4.3. Material y métodos 453
4.2.4.4. Resultados 458
4.2.4.5. Conclusiones 515
4.2.4.6. Referencias 516
4.2.5. ICTIOFAUNA 518
4.2.5.1. Antecedentes 518
4.2.5.2. Objetivos 521
4.2.5.3. Material y métodos 522
4.2.5.4. Resultados 528
4.2.5.4.1. Estudios comunitarios y poblacionales 528
4.2.5.4.2. Elementos y compuestos químicos en *Galaxias maculatus* 553
4.2.5.4.3. Estado sanitario y análisis histopatológicos 590
4.2.5.5. Conclusiones 606
4.2.5.6. Referencias 609

4.2.6. HERPETOFAUNA **613**
4.2.6.1. Antecedentes **613**
4.2.6.2. Objetivos **614**
4.2.6.3. Material y métodos **615**
4.2.6.4. Resultados **619**
4.2.6.5. Conclusiones **628**
4.2.6.6. Referencias **629**
4.2.7. AVIFAUNA **640**
4.2.7.1. Análisis comunitarios y poblacionales de la avifauna acuática **640**
4.2.7.1.1. Antecedentes **640**
4.2.7.1.2. Objetivos **640**
4.2.7.1.3. Material y métodos **640**
4.2.7.1.4. Resultados **645**
4.2.7.1.5. Conclusiones **669**
4.2.7.2. Composición de la comunidad, condición corporal y eficacia biológica de la avifauna de las riberas **670**
4.2.7.2.1. Antecedentes **670**
4.2.7.2.2. Objetivos **671**
4.2.7.2.3. Material y métodos **671**
4.2.7.2.4. Resultados **678**
4.2.7.2.5. Conclusiones **690**
4.2.7.2.6. Referencias **692**
4.2.7.3. Elementos y compuestos químicos en Garza blanca (*Ardea alba*) **694**
4.2.7.3.1. Antecedentes **694**
4.2.7.3.2. Objetivos **695**
4.2.7.3.3. Material y métodos **695**
4.2.7.3.4. Resultados **697**
4.2.7.3.5. Conclusiones **725**
4.2.8. MAMIFEROS ACUATICOS **727**
4.2.8.1. Antecedentes **727**
4.2.8.2. Objetivos **728**
4.2.8.3. Material y métodos **728**
4.2.8.4. Resultados **731**
4.2.8.5. Conclusiones **735**
4.2.8.6. Referencias **737**

4.3. ANÁLISIS COMPARATIVOS DE DATOS OBTENIDOS EN PROGRAMAS DE DIAGNÓSTICO Y MONITOREO CON ESTUDIOS PREVIOS DE RIESGO ECOLÓGICO **746**
4.3.1. Antecedentes **746**
4.3.2. Objetivos **747**

4.3.3. Material y métodos 748
4.3.4. Resultados 749
4.3.5. Discusión 761
4.3.6. Conclusiones 761
4.3.7. Referencias 762

4.4. CAMBIOS DE USO DEL SUELO 763
4.4.1. Antecedentes 763
4.4.2. Objetivos 764
4.4.3. Material y métodos 764
4.4.4. Resultados 767
4.4.5. Conclusiones 778

4.5. CONOCIMIENTO ECOLÓGICO LOCAL 779
4.5.1. Antecedentes 779
4.5.2. Objetivos 782
4.5.3. Material y métodos 782
4.5.4. Resultados 784
4.5.5. Evaluación del programa 792
4.5.5. Recomendaciones tendientes a implementar ……Programas de Ciencia Participativa 795
4.5.6. Referencias 797

5. SINTESIS, ALCANCES Y AMENAZAS O ADVERTENCIAS 798

6. EQUIPO DE TRABAJO 807

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.

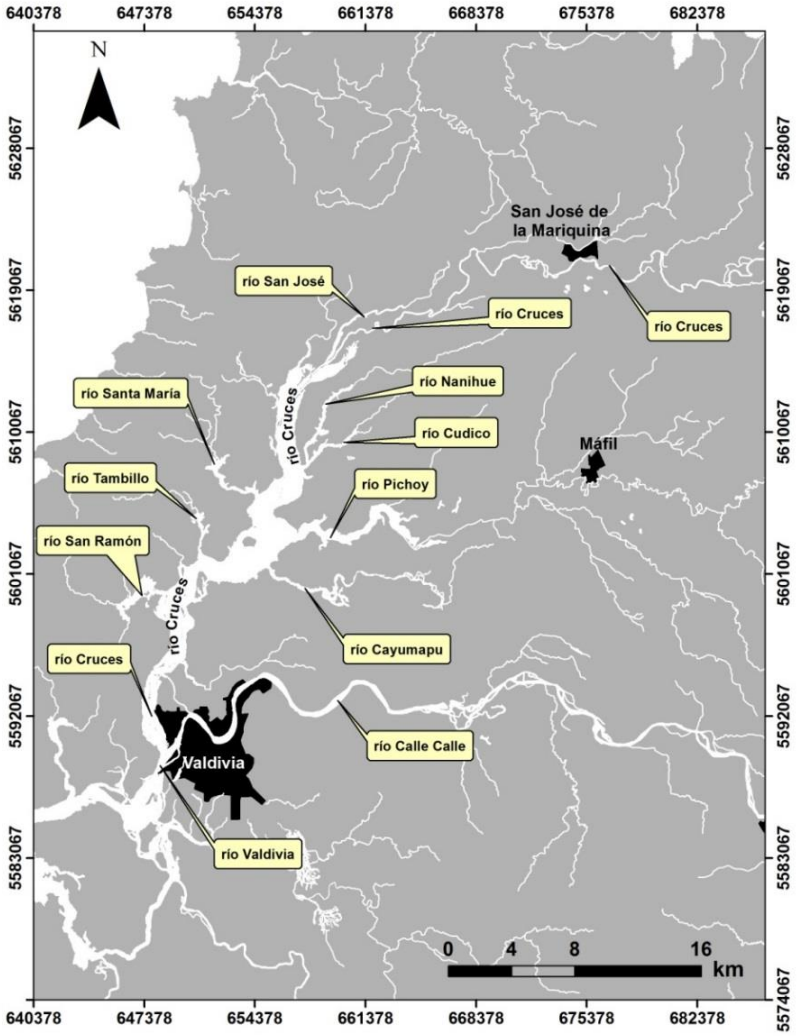


Figura 1. Ubicación del humedal del río Cruces (HRC) y los ríos tributarios de mayor importancia por su volumen hídrico.

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. ANALISIS DE DATOS AMBIENTALES DE LARGO PLAZO

3.1. ANTECEDENTES CLIMÁTICOS DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de Valdivia posee un clima templado lluvioso con influencia mediterránea; según Köppen en Koeppe & de Long (1958) del tipo Cfb (C=clima templado, f=húmedo, b=mes más cálido inferior a 20^{o}C). Las precipitaciones fluctúan entre 1.300 y 3.500 mm al año (datos 1900 – 2017, presente estudio), con importantes fluctuaciones interanuales originadas por el paso de sistemas frontales sobre la zona. Durante los meses de mayo a agosto se concentra entre el 60 al 70% de las precipitaciones anuales, siendo junio y julio los meses más lluviosos cuando las precipitaciones pueden superar los 400 mm de agua caída. Los meses más secos son enero y febrero 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 indicado una tendencia de disminución de largo plazo de las precipitaciones (Rusticucci & Penalba 2000, Quintana & Aceituno 2012, González-Reyes & Muñoz 2013). Debido a la alta pluviosidad de la zona, la humedad relativa promedio anual es cercana al 80% (Dirección Meteorológica de Chile), aun cuando durante los meses de invierno esta puede superar el 90%.

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 2017.
- 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 ocho 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 1970-2017.

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 el registro histórico diario de la temperatura del aire (^{o}C) y precipitaciones (mm) de la UACh entre 1960 y 2016. Desde 1960 a 2010 los datos provienen de la estación meteorológica del ex - Instituto de Geociencias ubicado en el campus Isla Teja, a partir el 1 de enero al 10 de octubre de 2011 desde la estación meteorológica ubicada en el Fundo Santa Rosa (39^{o}47’18.28’’S y 73^{o}14’4.97’’W). Los datos de caudales hídricos y altura del

espejo de agua cubren el período 1970-2016 y 2000 - 2016, 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, METEOCHILE: 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 (Agromet, INIA)	1 ene 2015	31 dic 2017
		METEOCHILE	Aeropuerto Pichoy	1 oct 2011	31 dic 2017
	Temperatura del aire	UACh	Campus Isla Teja	1 ene 1960	31 dic 2016
	Caudal río Cruces	DGA	Rucaco	1 ene 1969	31 dic 2017
	Nivel de agua	DGA	Rucaco	1 ene 2000	31 dic 2017

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 2017, pero es discontinua en los siguientes tramos: 1 agosto al 3 de septiembre de 1972, 1 de febrero al 18 de mayo, 12 de octubre al 31 de diciembre de 2011, 25 de febrero al 10 de abril, 17 julio al 31 de julio y 1 noviembre al 1 de diciembre del año 2014.

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).

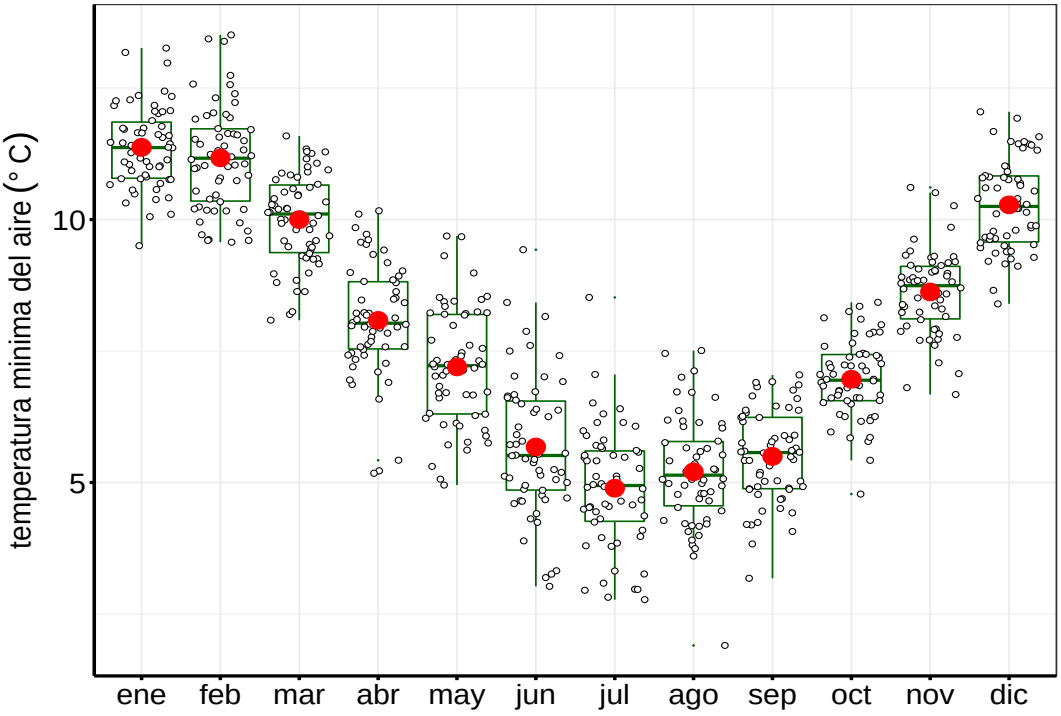


Figura 3.1. Patrón estacional de las temperaturas mínimas del aire en Valdivia. Los círculos negros con fondo blanco indican los promedios mensuales desde enero de 1960 a diciembre del año 2017; los puntos de color rojo indican el valor promedio de todos los valores mensuales.

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* = 0.00027). La prueba de Mann-Kendall sobre las anomalías estandarizadas indica que no existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis de no tendencia (*tau*= -0.0323 *p-value* = 0.20214), de modo que las variaciones observadas en la temperatura mínima mensual en el periodo 1960 a 2017 fueron de carácter aleatorio (Fig. 3.3 B).

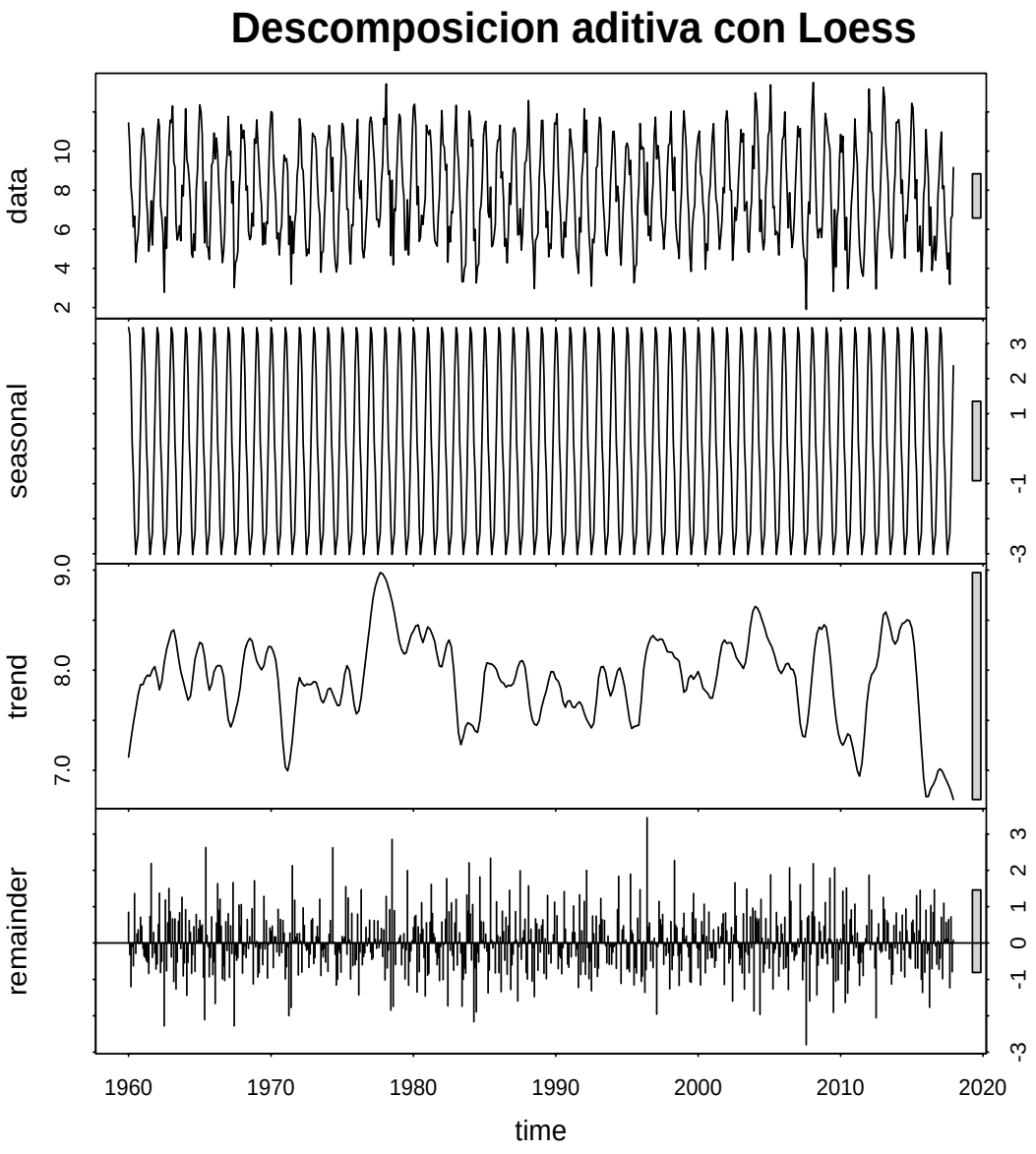


Figura 3.2. Descomposición aditiva con Loess de la serie de temperaturas mínimas mensuales de la zona de Valdivia, desde enero de 1960 a diciembre de 2017.

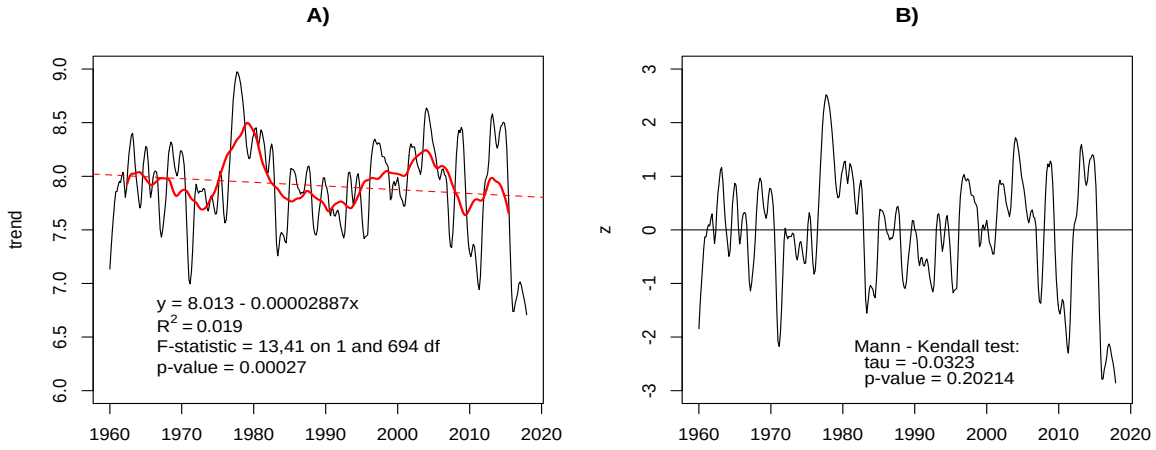


Figura 3.3. A) Componente de tendencia de las temperaturas mínimas mensuales en la zona de Valdivia desde 1960 a 2017, derivada de la descomposición por Loess. La línea roja continua indica el alisado de la serie para un periodo de 120 meses; la línea roja segmentada muestra el ajuste de un modelo lineal 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 2017, 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 1960-2016 (Fig. 3.4 A, *p-value* = 0.4792) 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= - 0.0182, *p-value* = 0.846).

Durante todo el período se observa una importante variabilidad interanual registrándose tres eventos de minimas, específicamente en los años 1971, 2011 y 2016 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. Al igual que en la serie mensual se observan fluctuaciones, pero con periodos que podrían abarcar entre 10 y 11 años.

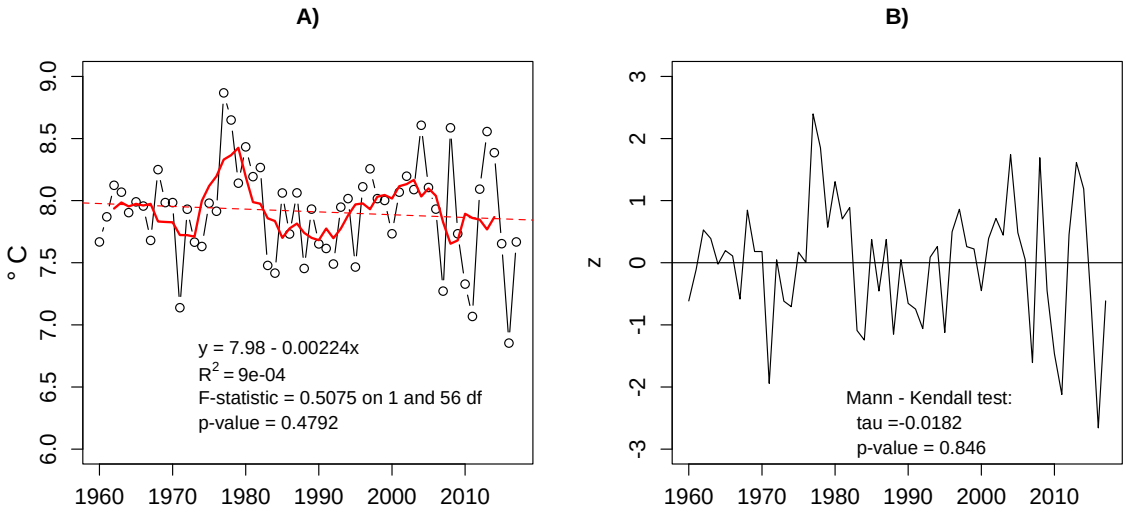


Figura 3.4. A) Temperaturas mínimas anuales promedios en la zona de Valdivia desde 1960 a 2017. La línea roja continua indica el alisado de la serie para un promedio móvil de 5 años; la línea roja segmentada muestra el ajuste de un modelo lineal a la serie; **B)** Anomalías estandarizadas (z) de la tendencia.

3.4.2. Precipitaciones

Datos

La serie de precipitaciones diarias comprende desde 1960 a 2017. Esta serie fue construida con datos de la estación Teja de la UACh (1960-2010). Entre los años 2011 y 30 de mayo 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 junio del año 2015 al presente se usaron los datos generados por la estación meteológica 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 (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).

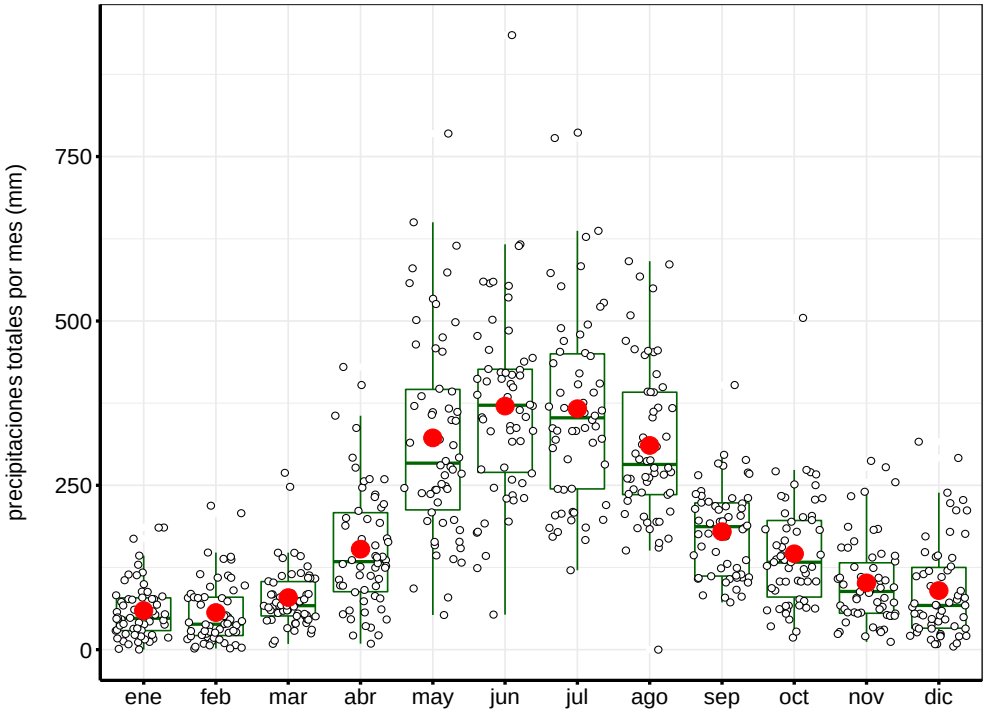


Figura 3.5. Variabilidad mensual y patrón histórico estacional de las precipitaciones registradas entre 1960 y 2017 en Valdivia. Los círculos negros con fondo blanco indican las precipitaciones mensuales desde enero de 1960 a diciembre de 2017; los puntos de color rojo indican el valor promedio de todos los valores mensuales. Fuente de datos: UACh, complementados con datos de la Dirección Meteorológica de Chile.

Precipitaciones enero - diciembre de 2017

Durante el periodo 2012 – 2017, se observa déficit de lluvias invernales prácticamente durante todos los años con excepción del año 2015 y 2017. En este periodo destacan las bajas precipitaciones invernales del 2012, 2012, 2013 y especialmente las ocurridas el 2016, año en que ocurrió el mínimo histórico anual. La mayoría de las precipitaciones mensuales del año 2017, estuvieron bajo los promedios históricos (1960-2011), con excepción del mes de febrero, agosto y octubre. agosto fue un mes excepcionalmente lluvioso por las altas precipitaciones ocurridas las cuales alcanzaron los 590,9 mm (Fig. 3.6), lo que representó el 26,73% del total anual ocurrido en Valdivia, de

acuerdo con las mediciones realizadas en la estación meteorológica austral, en el fundo Santa Rosa de la UACh.

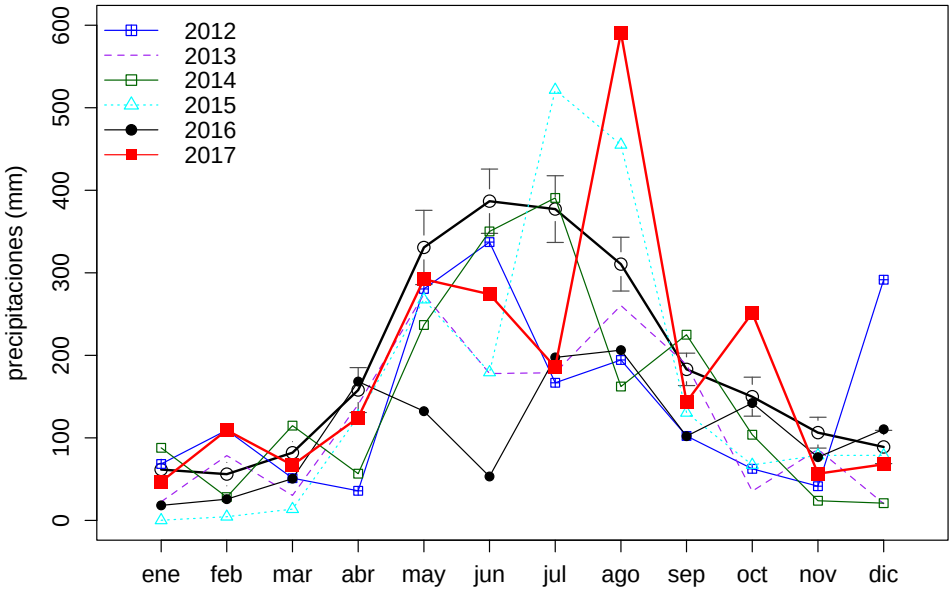


Figura 3.6. Patrón histórico estacional de las precipitaciones medias mensuales registradas entre 1960 y 2011 en Valdivia (círculos negros con fondo blanco y barras de error correspondientes a desviación estándar) y precipitaciones mensuales de los últimos 6 años (2012 a 2017).

Descomposición de la serie mensual

La descomposición de la serie mensual de precipitaciones se realizó mediante Loess (Local polynomial regression fitting) en R. El método usado detecta fácilmente la estacionalidad, tan evidente de las precipitaciones en el área de Valdivia, sin que se observe una tendencia evidente de disminución de la pluviosidad entre los años 1960 y 2017 (Fig. 3.7).

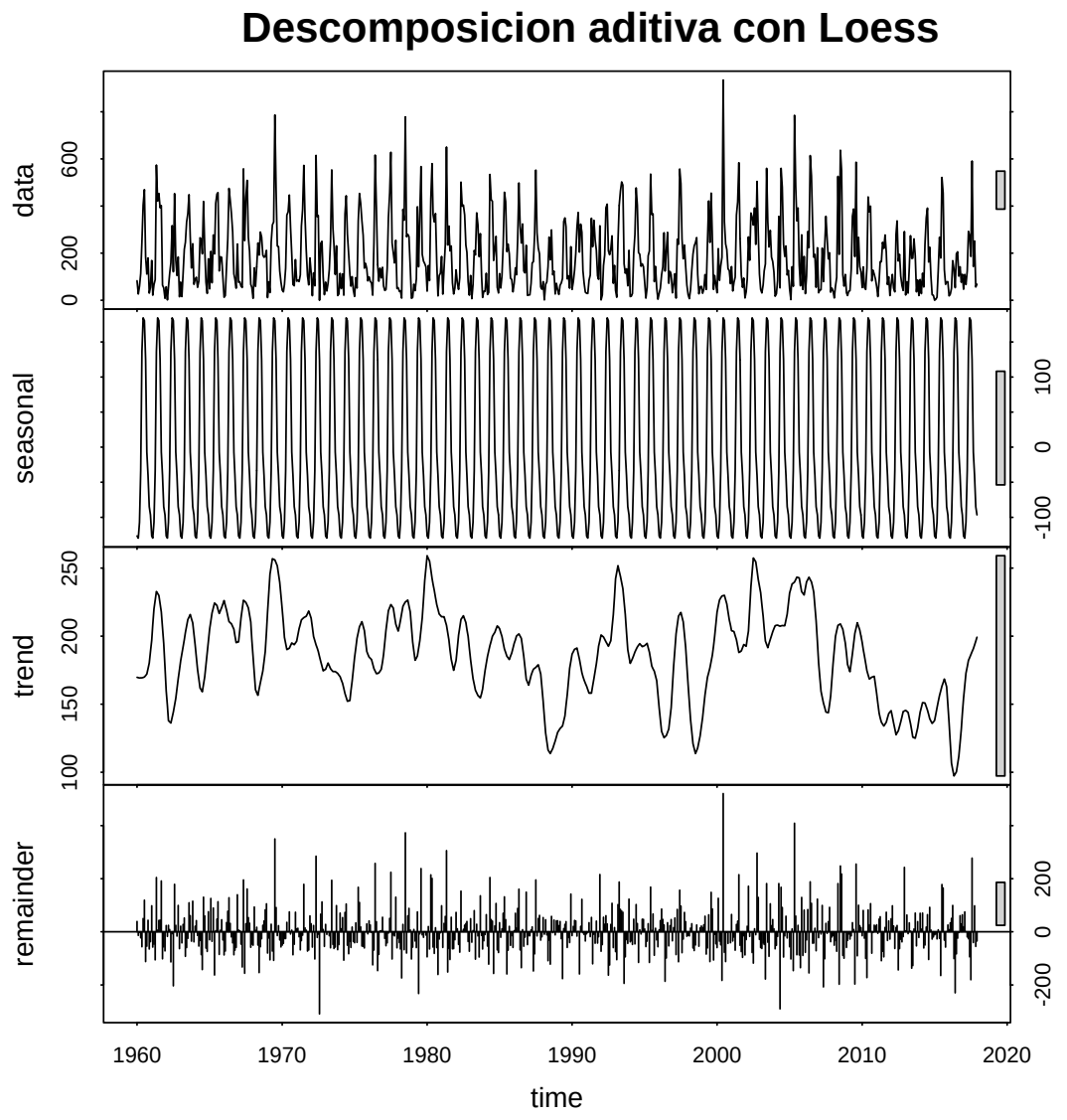


Figura 3.7. Descomposición aditiva con Loess de la serie de precipitaciones mensuales de la zona de Valdivia desde 1960 al 2017, compuestas por la serie UACh y complementada con datos de la estación Aeropuerto Pichoy.

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 (Fig. 3.7).

El análisis de la componente de tendencias (trend) de la serie de precipitaciones obtenida por Loess, indica que además de las fluctuaciones estacionales, existen otras de

mayor período con ciclos de 120 a 156 meses, que originan a nivel decadal oscilaciones en torno a un nivel medio que decrece hacia los años recientes (Fig. 3.8 A). El ajuste de un modelo lineal (*p-value* = 4,059e-14) y la prueba de Mann-Kendall (*tau* = - 0.173, *p-value* = 9.66e-12, Fig. 3.8 B) indican que los datos no soportan la hipótesis nula de no tendencia; es decir, que el decrecimiento de las precipitaciones hacia los años recientes es estadísticamente significativa.

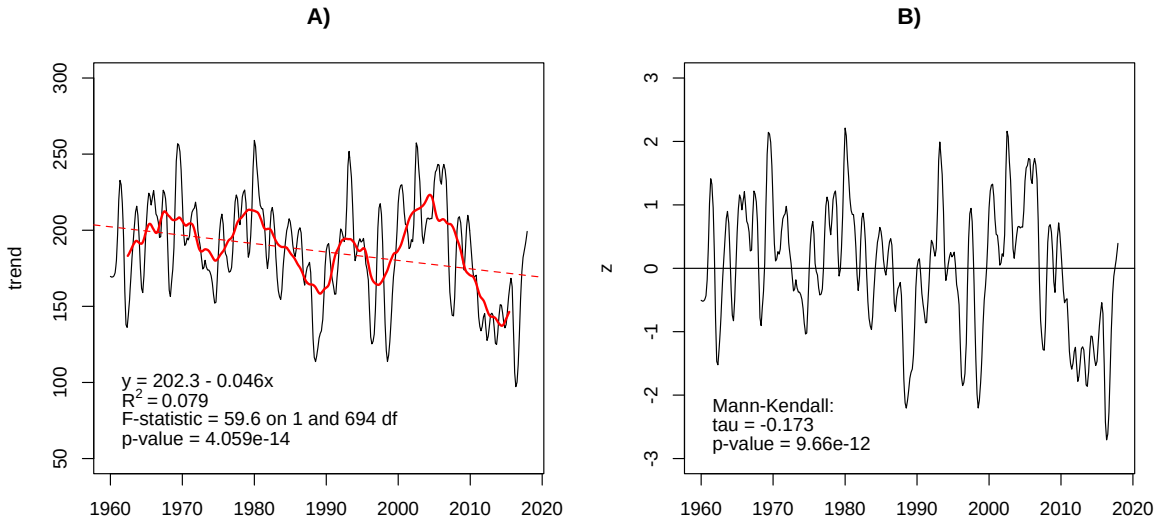


Figura 3.8. A) Componente de tendencia (trend) de la serie mensual de las precipitaciones en la zona de Valdivia desde 1960 a 2017, obtenida mediante descomposición aditiva con Loess. La línea roja indica un alisado lineal de la serie con periodo entre 120 a 136 meses. La línea roja segmentada indica 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 2017 (Fig. 3.9 A). El análisis de esta serie mediante un modelo lineal muestra que la tendencia observada es estadísticamente signicativa (p-value = 0.042). 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= -

0.176 p-value = 0.052), de modo que las variaciones observadas en las precipitaciones medias anuales en el período 1960 a 2016 siguieron un patrón aleatorio (Fig. 3.9 B).

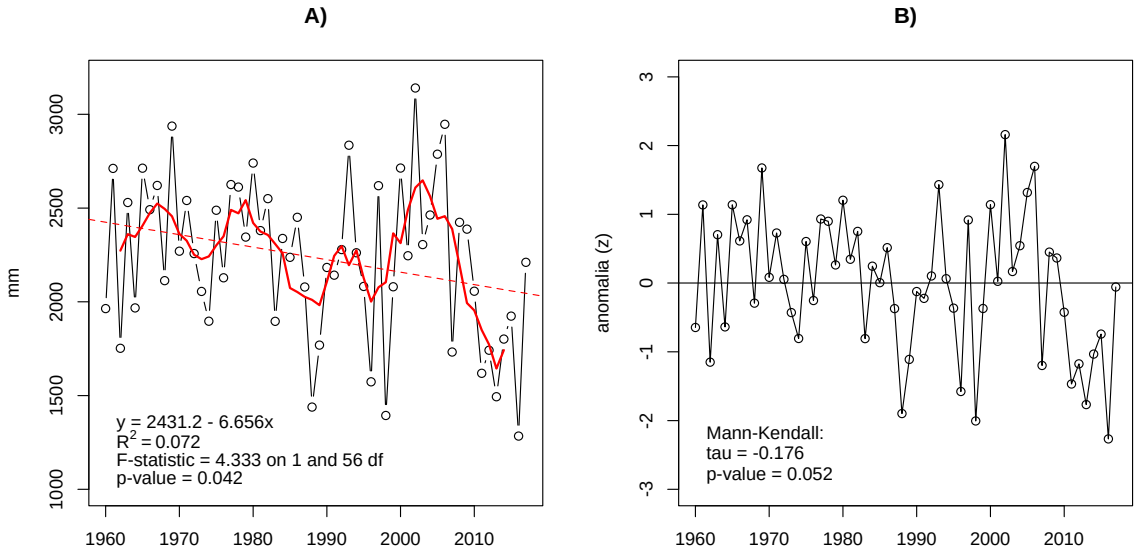


Figura 3.9. A) Serie anual de las precipitaciones en la zona de Valdivia desde 1960 a 2017, compuestas por la serie UACh y complementada con datos de la Dirección Meteorológica de Chile (estación Aeropuerto Pichoy). La linea roja indica un suavizado lineal de 6 años. La línea roja segmentada corresponde 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 28 años (1989-2016). En este periodo los valores extremos de precipitaciones fueron más acentuados alcanzando valores menores a 1500 mm y también mayores a los 3000 mm. Lo cual es coincidente con el cambio de frecuencia e incremento de valores extremos de bajas precipitaciones durante el siglo XX, los cuales se habrían acentuado durante la segunda mitad de dicho siglo (González-Reyes & Muñoz , 2013).

En esta serie, se observan fluctuaciones cíclicas de 10 a 13 años entre periodos 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 período, destaca la caída persistente

de las precipitaciones en los últimos 7 años, alcanzando en el 2016 el menor valor entre 1960 y 2016.

La declinación global detectada en la serie anual precipitaciones desde el año 1900 al 2017 (Mann-Kendall *tau* = -0.248, *p-value* = 6.702e-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 periodo 1960 - 2017, se vio afectada en su significancia estadística por lo corto de la serie de datos. Por otro lado se observa que: 1) el nivel de precipitaciones del año 2016 es el mínimo registrado en 118 años (Fig. 3.10 A)), con 1247 mm de agua caida y 2) en los primeros 16 años del siglo XXI[1] (2001 - 2016) han ocurrido 4 casos con precipitaciones menores a un año normal con una probabilidad de ocurrencia de 0,25 (4/16); mientras que en el periodo (1900 - 2000) ocurrieron 6 casos con precipitaciones bajo el nivel de un año normal, lo que arroja una probabilidad de 0,06 (6/100), registrándose que cuatro de ellos ocurrieron en los últimos 15 años del siglo XX[2].

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

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

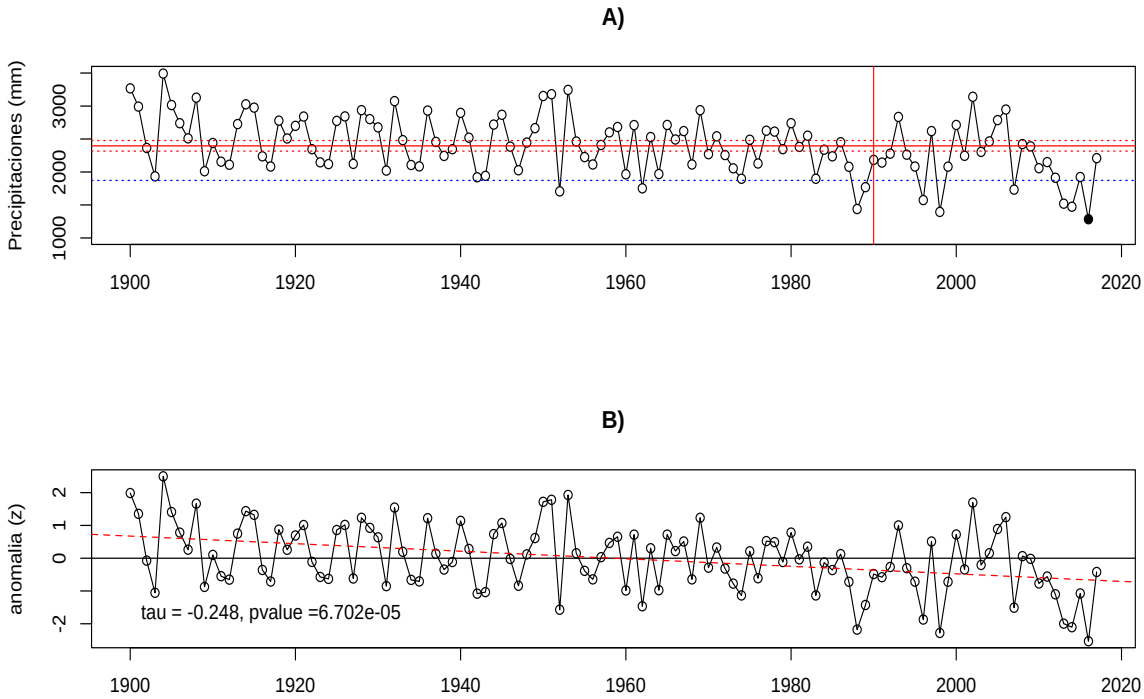


Figura 3.10. A) Serie anual de precipitaciones en Valdivia desde 1900 a 2017 y **B)** serie de anomalías estandarizadas para el mismo periodo. Las lineas rojas horizontales indican el promedio e intervalos de confianza de la media. La línea azul segmentada en A) indica en nivel de pluviosidad para un año normal según la Dirección Meteorológica de Chile, la línea roja vertical representa un año de referencia y el punto de color negro señala el valor mínimo histórico de precipitaciones de la series (118 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.

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 ido acompañado 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. Los datos abarcan desde el 1 de enero de 1970 al 31 de diciembre de 2017. Esta serie presenta algunos períodos con datos faltantes, los cuales fue necesario rellenar para obtener una serie de datos continuos. El relleno se llevó a cabo seleccionando un valor aleatorio entre los dos valores más cercanos correspondientes al día y mes del año anterior y posterior al dato faltante, lo que equivale a un muestreo aleatorio desde una distribución uniforme.

Variabilidad histórica mensual

Los valores históricos 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. En mayo, el caudal comienza a aumentar rápidamente para alcanzar su máximo en el mes de julio. En agosto los caudales continuan altos y a medida que se aproxima la primavera los caudales disminuyen a una tasa constante hasta diciembre.

El caudal del río Cruces está claramente correlacionado al patrón estacional de precipitaciones. La relación entre el caudal promedio anual del río Cruces en Rucaco y las precipitaciones anuales en Valdivia (1970 y 2017) 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* = 1.57e-10) y explica el 59,3 % de la variablidad observada entre ambas variables (R^2 = 0.593).

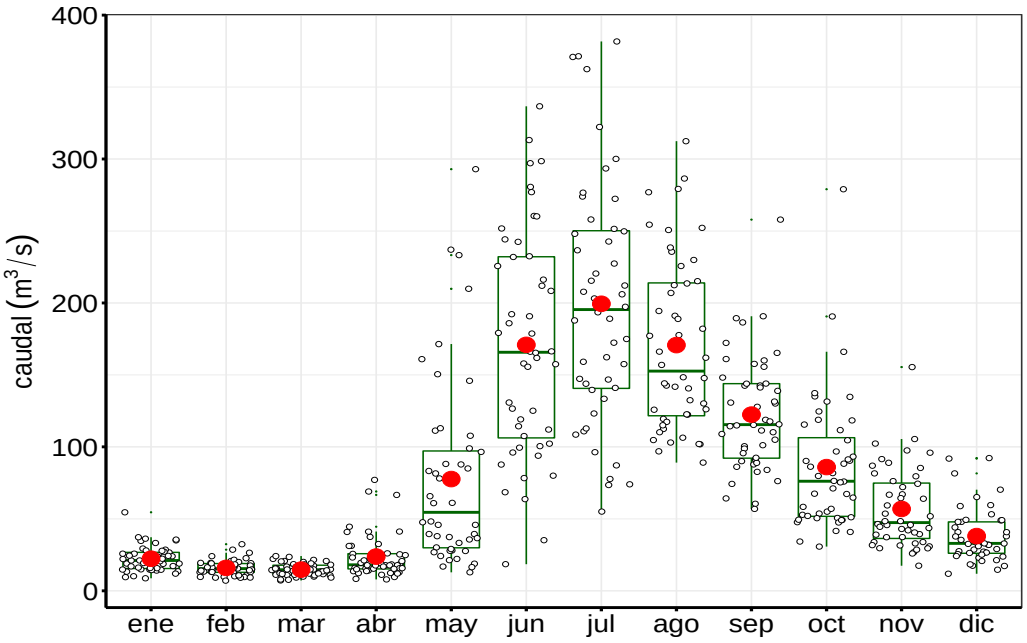


Figura 3.11. Patrón histórico estacional del caudal hídrico del río Cruces en el sector de Rucaco, obtenido a partir de datos diarios registrados por la Dirección General de Aguas entre el 1 de enero de 1970 y el 31 de diciembre de 2017. Los círculos negros vacíos indican los caudales promedios mensuales por año desde enero de 1960 a diciembre 2017; los puntos de color rojo indican los valores promedios totales del mes.

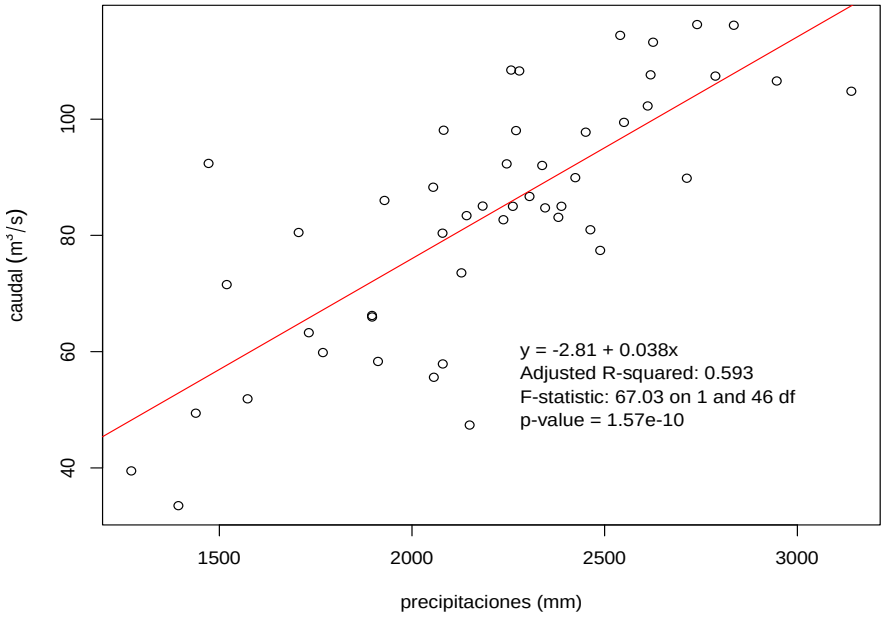


Figura 3.12. Relación lineal entre el caudal promedio del río Cruces (sector Rucaco) y las precipitaciones anuales en la zona de Valdivia.

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.

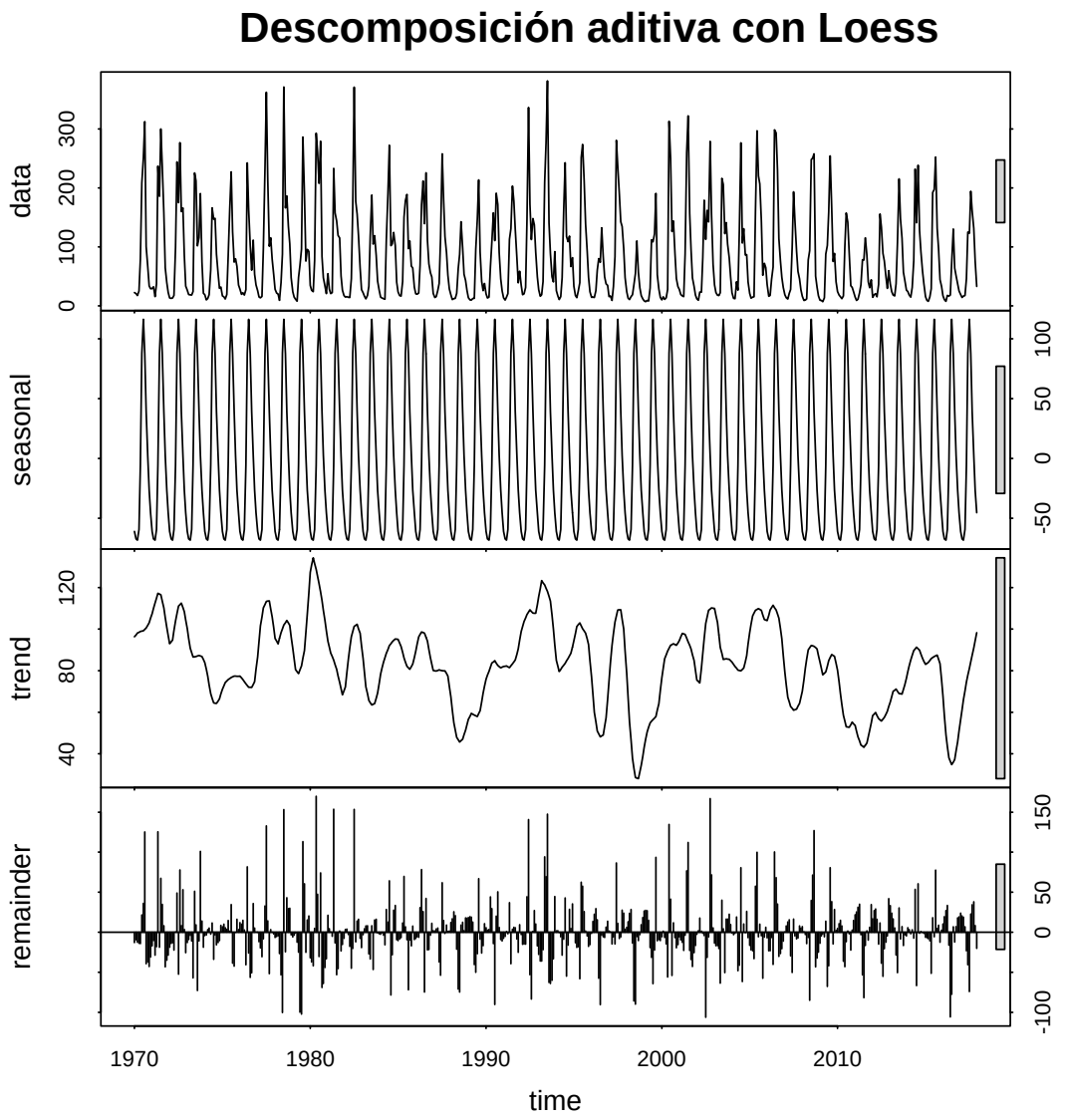


Figura 3.13. Descomposición aditiva con Loess de la serie de caudales medios mensuales en Rucaco desde el 01 enero 1970 al 31 diciembre de 2017, a partir de datos de la Dirección General de Aguas.

La alternancia de períodos con altos y bajos caudales de escala mayor a la estacional se observa de forma más clara en la Figura 3.14 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* = 5.09e-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 (trend) extraida desde Loess (Fig. 3.14 B). Estos resultados se ajustan o correlacionan con la tendencia observada en las precipitaciones (*cf.* Fig. 3.10B).

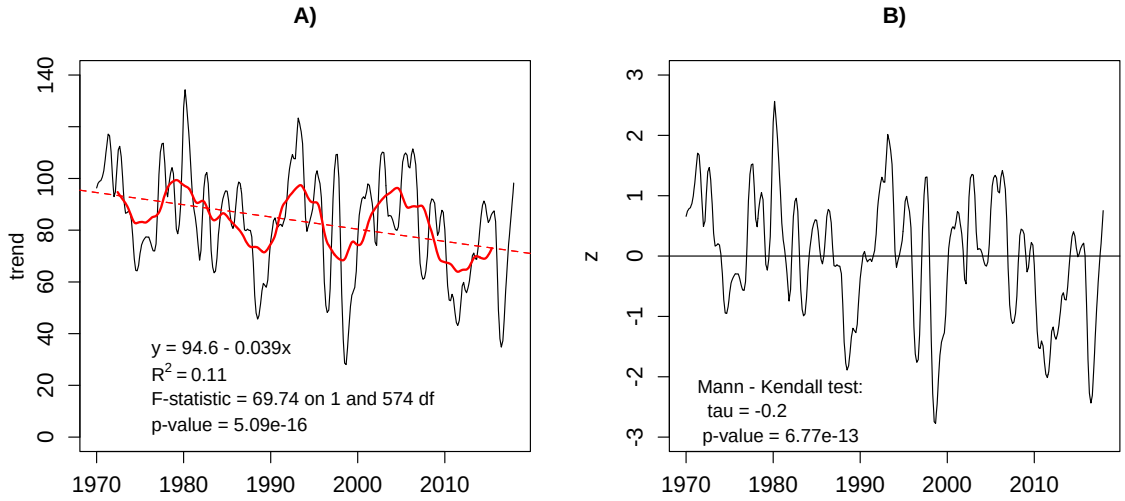


Figura 3.14. A) Componente de la tendencia (trend) obtenida a partir de la descomposición aditiva con Loess de la serie de caudales medios mensuales del río Cruces en Rucaco entre 1970 y 2017. La línea roja continua indica el suavizado de la serie para un período de 120 meses y la línea roja segmentada 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 = 5.34 con 46 gl, *p-value* = 0.025) 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* = - 0.20, *p-value* = 0.046) indica que existe evidencia en los datos para 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.

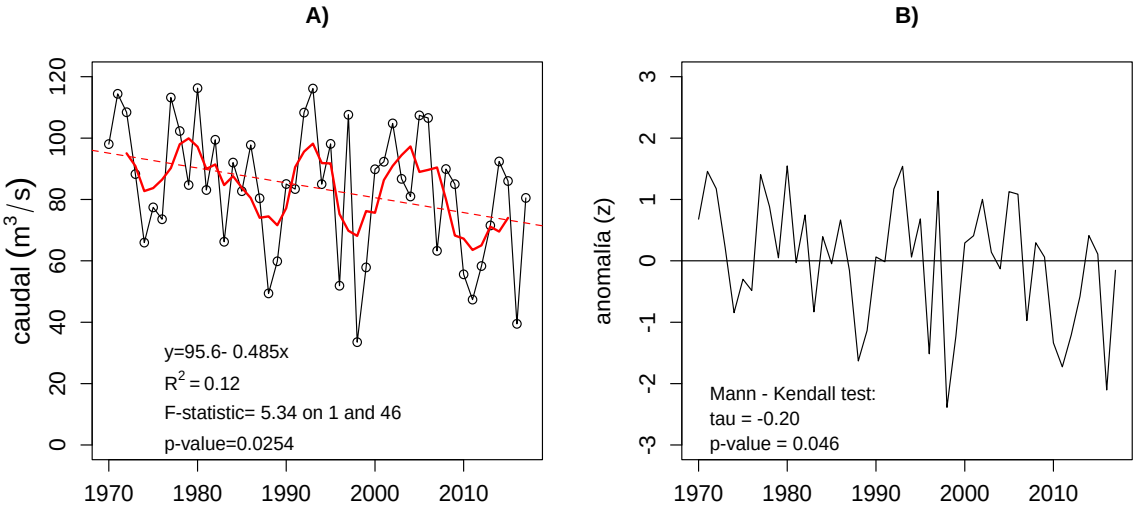


Figura 3.15. A) Serie de caudales medios anuales del río Cruces en Rucaco entre 1970 y 2016. La línea roja continua indica el alisado de la serie para un promedio móvil de 5 años y la línea roja segmentada el ajuste de un modelo lineal; B) Anomalías estandarizadas (z) de la componente de tendencia (trend) 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 2017, 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 llenados 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

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).

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. A diferencia del año 2016, en el 2017 a inicios de septiembre presentó caudales diarios excepcionalmente altos producto de las altas precipitaciones producidas a finales de agosto e inicios de septiembre. 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 picos 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.

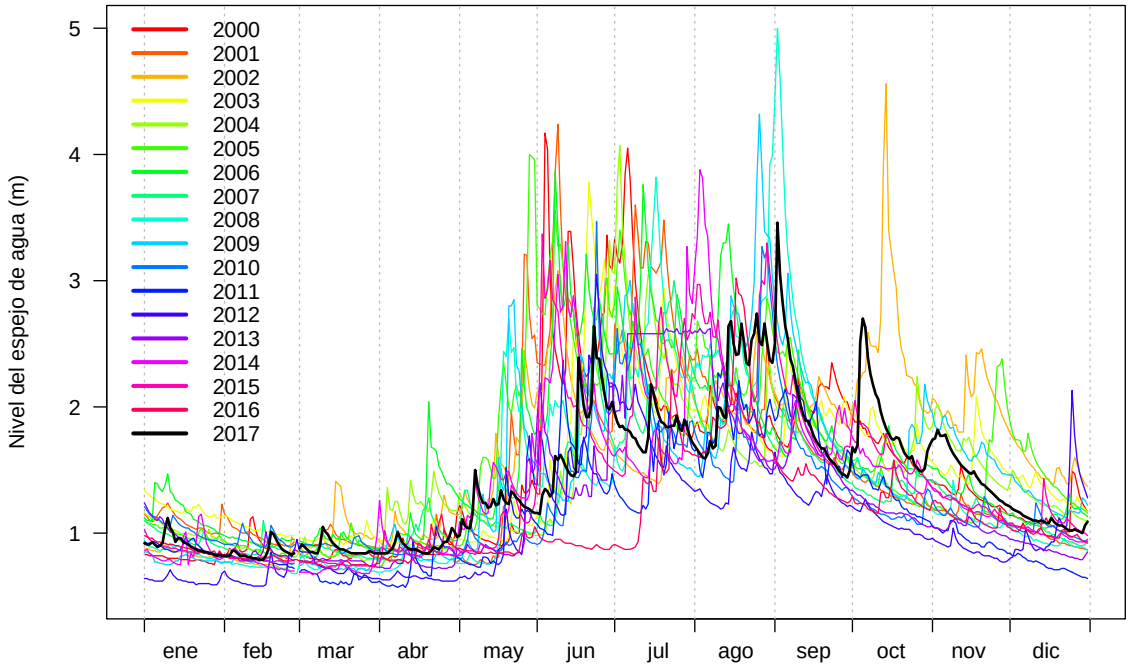


Figura 3.16. Patrón y variabilidad estacional del nivel del espejo de agua en el sector de Rucaco, río Cruces, entre el año 2010 y 2017.

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, y en el año 2016 (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, ratifica 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 directa 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 corroborada por la significativa correlación estadística entre ambas variables (Fig. 3.19).

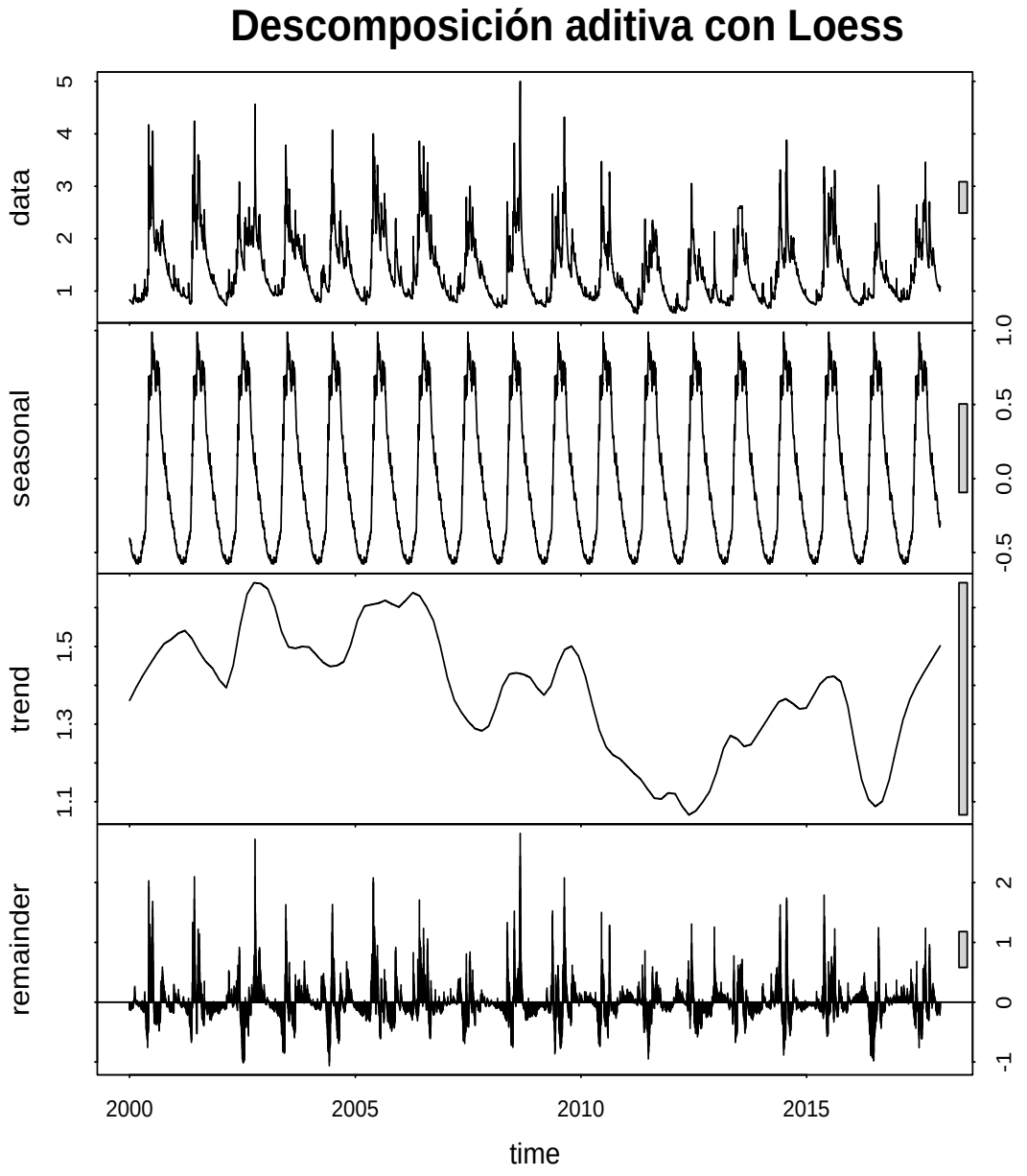


Figura 3.17. Descomposición aditiva de la serie de altura diaria del espejo de agua en el sector de Rucaco, río Cruces, entre el 1 enero de 2000 y el 31 de diciembre de 2017.

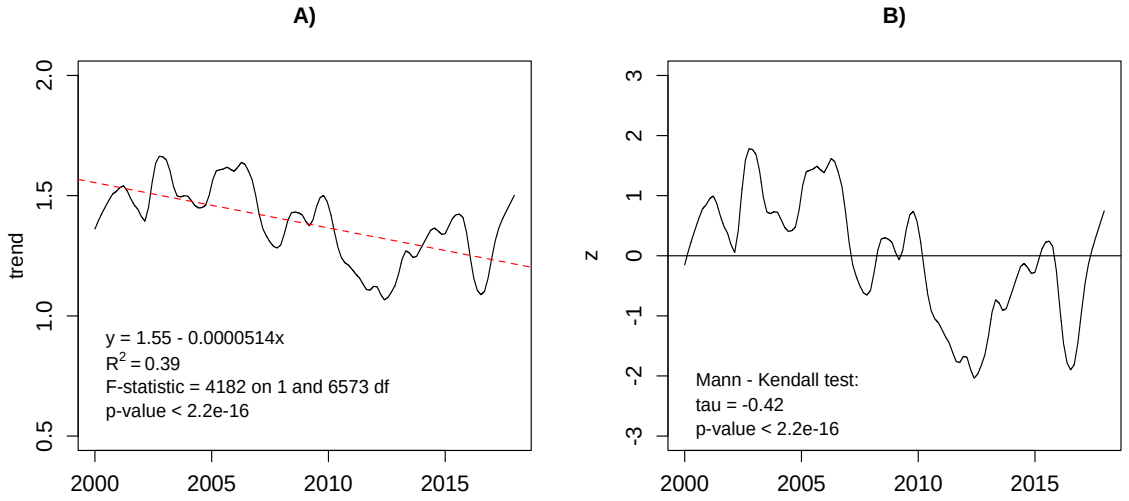


Figura 3.18. A) Componente de tendencia (trend) de altura diaria del espejo de agua del río Cruces en Rucaco entre el 1 de enero de 2000 y el 31 de diciembre de 2017. La línea roja segmentada señala el ajuste de un modelo lineal y, **B)** Anomalías estadarizadas (z) de la serie y test de Mann - Kendall.

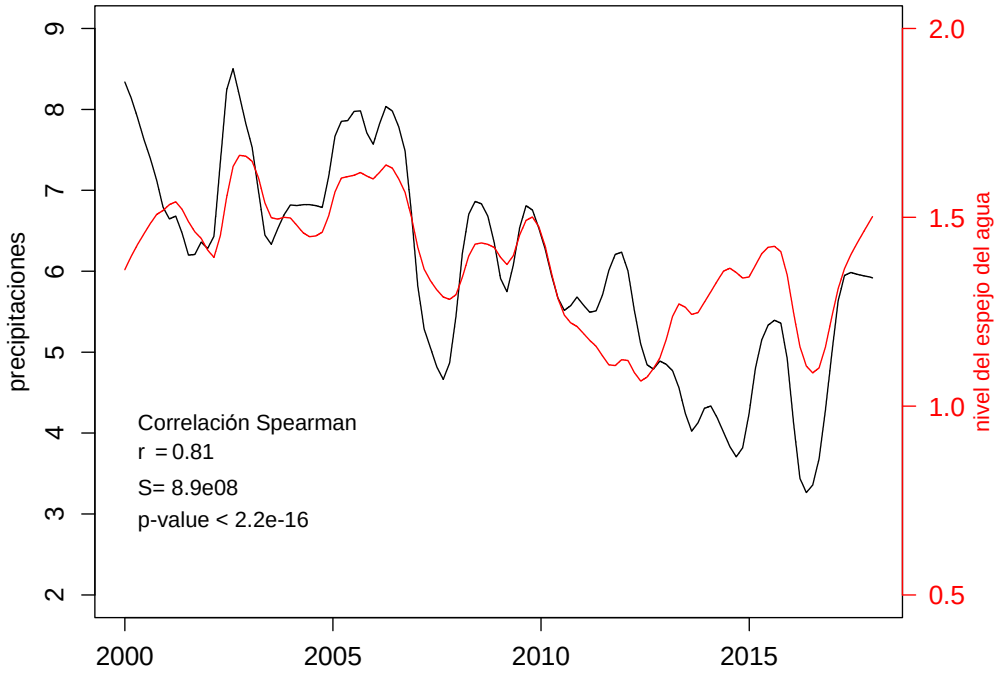


Figura 3.19. Correlación entre las precipitaciones diarias y nivel del espejo de agua del río Cruces en Rucaco, entre el 1 de enero de 2000 y el 31 diciembre de 2017.

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). Lo más relevante en este nuevo periodo del monitoreo es que: 1) la pluviosidad del año 2017 fue superior al nivel de referencia de un año normal (1871 mm, establecido por la Dirección Meteorológica de Chile) e inferior al promedio histórico ($\bar{x}$=2396 mm, IC =[2316 - 2476]) y, 2) las máximas precipitaciones acumuladas ocurrieron en agosto y no en julio, de acuerdo con el patrón histórico mensual.
- Las temperaturas mínimas del aire registradas desde 1960 a 2017, muestran la estacionalidad característica de la zona valdiviana. 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 no muestra tendencias a aumentar o disminuir; sin embargo, se observan fluctuaciones con periodicidad en torno a los 120 meses.
- A nivel anual, la temperatura mínima del aire muestra la misma tendencia y estacionalidad 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 - 2017), 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. secular.
- Fuera de la estacionalidad típica de las precipitaciones en la zona de Valdivia y del HRC, se observa, tanto en la serie mensual como anual, fluctuaciones a nivel de décadas en torno a un nivel promedio. secular.
- Las precipitaciones totales en la zona de Valdivia muestran una disminución significativa entre 1960 y 2017, 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 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.
- El 2016 se ha constituido en el año con la menor pluviosidad histórica en 118 años (1900 – 2017), y también en el mínimo global para el registro completo de precipitaciones en Valdivia entre 1853 y el 2016 (de acuerdo con datos publicados por González-Reyes & Muñoz, 2013).
- La serie histórica mensual de los caudales hídricos y espejo de agua del río Cruces en Rucaco, muestran como era de esperar una estacionalidad asociada directa y significativamente 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 observada en 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 ciudad 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. 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. 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. 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 .Marzo 2017. 830 pp.

4. COMPONENTES DEL PROGRAMA

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

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 tercer año del Programa de Monitoreo actualizado del HRC y sus ríos tributarios (abril 2017 - marzo 2018), 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 2017 (períodos de menor y mayor caudal hídrico, respectivamente). A

Además de lo anterior, se han recolectado datos mensuales entre enero y diciembre del año 2017 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 dos primeros años del Programa de Monitoreo del HRC.

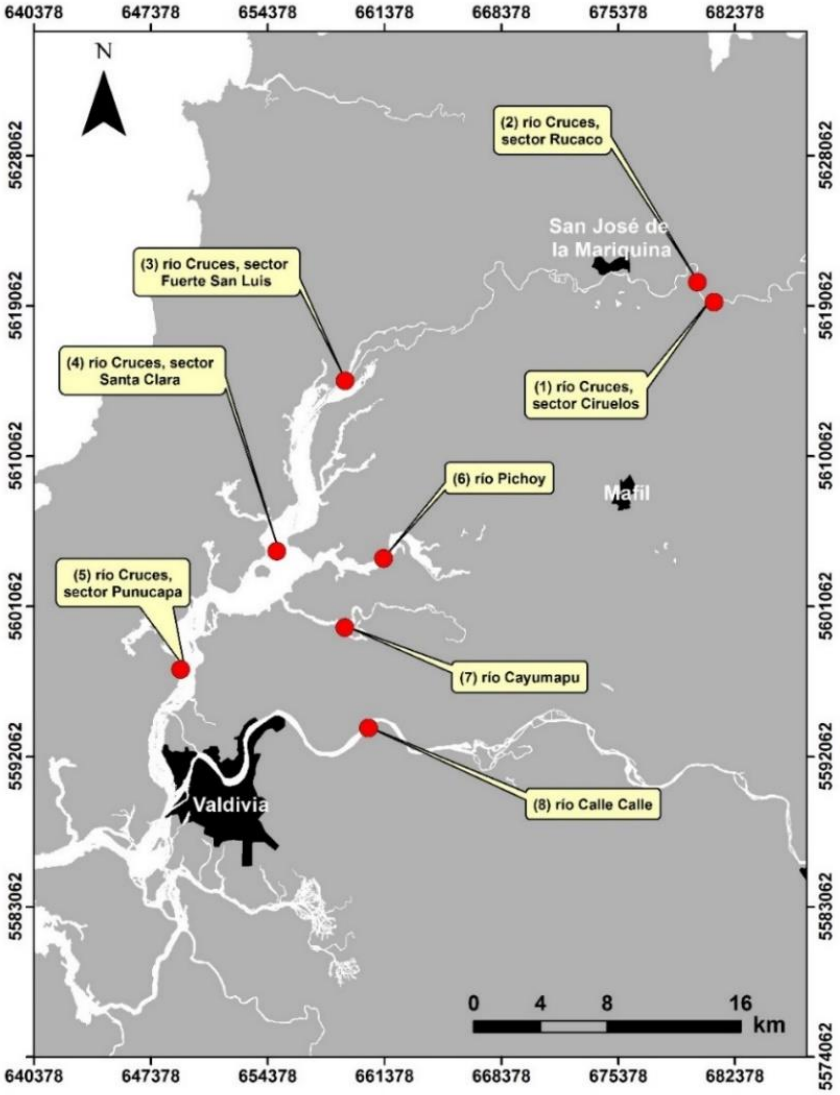


Figura 4.1.1.1. Ubicación de los sitios de muestreo (1 a 8) para análisis de calidad del agua en el área de estudio.

Tabla 4.1.1.1. Estaciones y fechas de muestreos de la calidad del agua durante abril y julio del año 2017.

Estaciones	período de menor caudal	período de mayor caudal
Porción superior del río Cruces (área límnica)		
1 (sector Ciruelos)	12-abr-2017	12-jul-2017
2 (sector Rucaco)	12-abr-2017	12-jul-2017
Eje central del río Cruces (área estuarial)		
3 (sector Fuerte San Luis)	11-abr-2017	10-jul-2017
4 (sector Santa Clara)	11-abr-2017	10-jul-2017
5 (sector Punucapa)	11-abr-2017	10-jul-2017
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)		
6 (río Pichoy)	10-abr-2017	11-jul-2017
7 (río Cayumapu)	10-abr-2017	11-jul-2017
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)		
8 (río Calle Calle)	10-abr-2017	11-jul-2017

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 y 2017, 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 y 2017), 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 y 2017.

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 y 2017, corresponden primer, segundo y tercer año 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 (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	20,2	20,1	18,3	12,8	12,0	7,7	6,3	9,8	13,1	15,0	16,5	19,9
2 (sector Rucaco)	20,8	19,8	18,7	13,4	12,9	9,2	7,4	10,2	12,5	16,1	17,3	20,6
Eje central del río Cruces (sector 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												
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												
8 (sector Calle Calle)	22,2	21,7	20,1	17,0	14,5	10,5	9,2	10,0	12,2	15,5	17,2	20,7

	temperatura (°C)											
estaciones	**2017**											
	ene	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Eje central del río Cruces (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	21,9	22,2	16,5	12,4	8,4	10,5	7,2	9,5	10,4	11,6	SD	15,5
2 (sector Rucaco)	21,0	21,8	17,8	13,2	8,9	10,8	7,5	9,6	11,0	12,1	SD	16,2
Eje central del río Cruces (sector 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												
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												
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

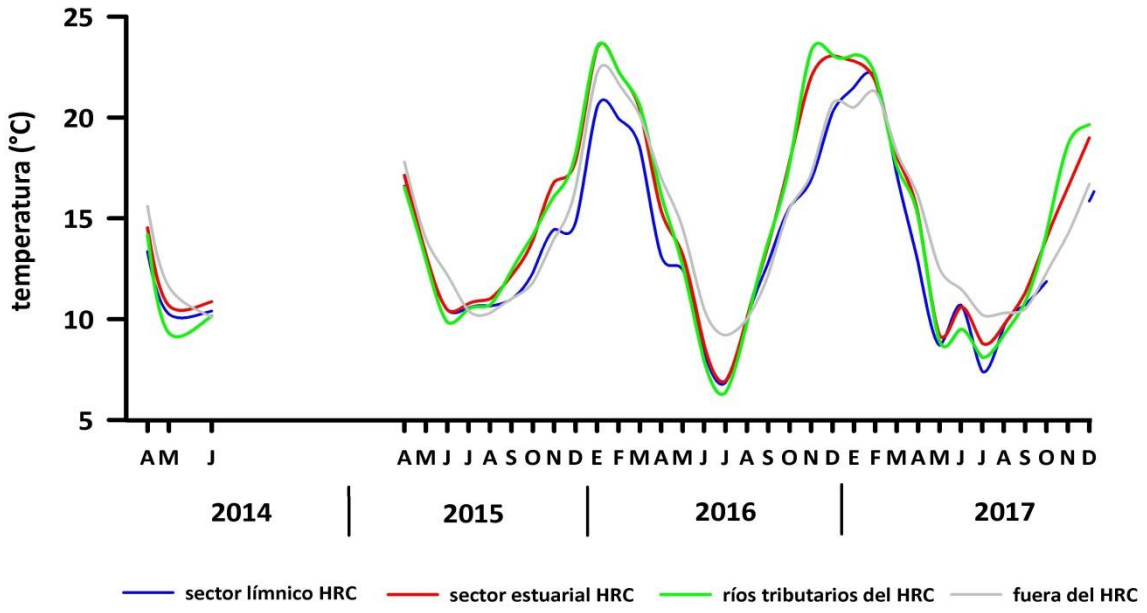


Figura 4.1.1.2. Comparación interanual de la temperatura (°C) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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 el año 2016 y 2017 (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 (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	7,6	8,3	8,7	8,4	7,8	7,2	7,6	8,2	7,6	8,1	SD	8,2
2 (sector Rucaco)	7,4	8,0	8,7	7,9	8,0	7,6	7,3	8,5	7,1	8,1	SD	8,1
Eje central del río Cruces (sector 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												
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												
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

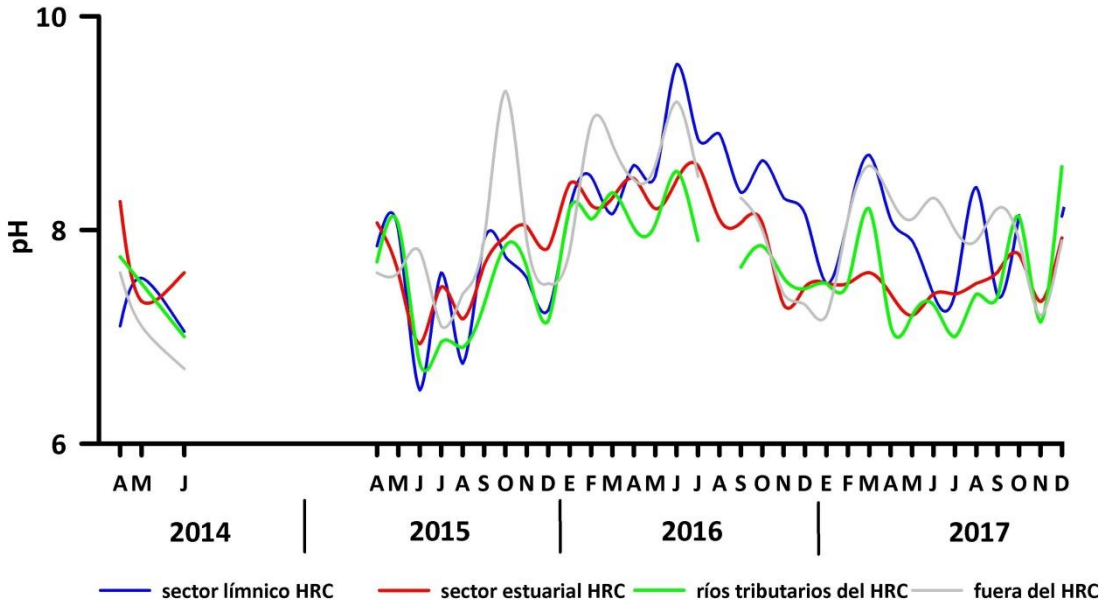


Figura 4.1.1.3. Comparación interanual del pH en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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, 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; durante esos meses, la conductividad del agua fue mayor en Rucaco *vs.* Ciruelos (en algunos meses hasta 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 (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	47,3	50,2	45,2	37,6	28,5	25,0	23,9	25,2	26,1	27,0	SD	36,2
2 (sector Rucaco)	174,2	133,1	147,9	128,5	67,6	38,9	39,6	35,3	52,8	53,9	SD	82,9
Eje central del río Cruces (sector 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												
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												
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

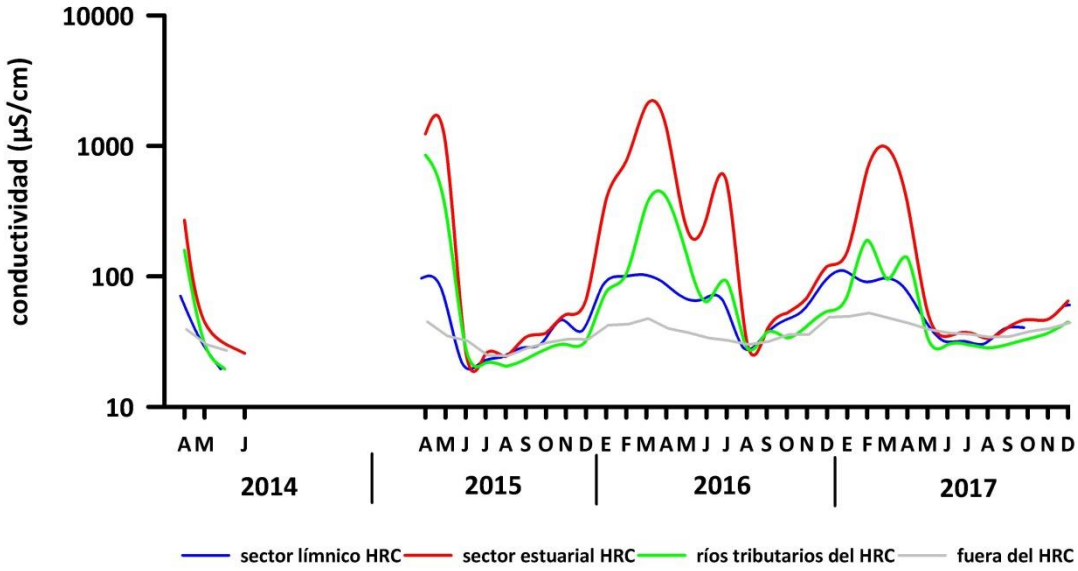


Figura 4.1.1.4. Comparación interanual de la conductividad (µS/cm) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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 (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

Estaciones	SDT (mg/L) 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 (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	32,1	34,5	35,1	31,9	27,3	22,5	23,4	23,4	23,4	23,4	SD	28,6
2 (sector Rucaco)	122,9	92,3	111,2	107,9	63,7	34,5	38,8	32,5	46,8	46,8	SD	65,0
Eje central del río Cruces (sector 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												
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												
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

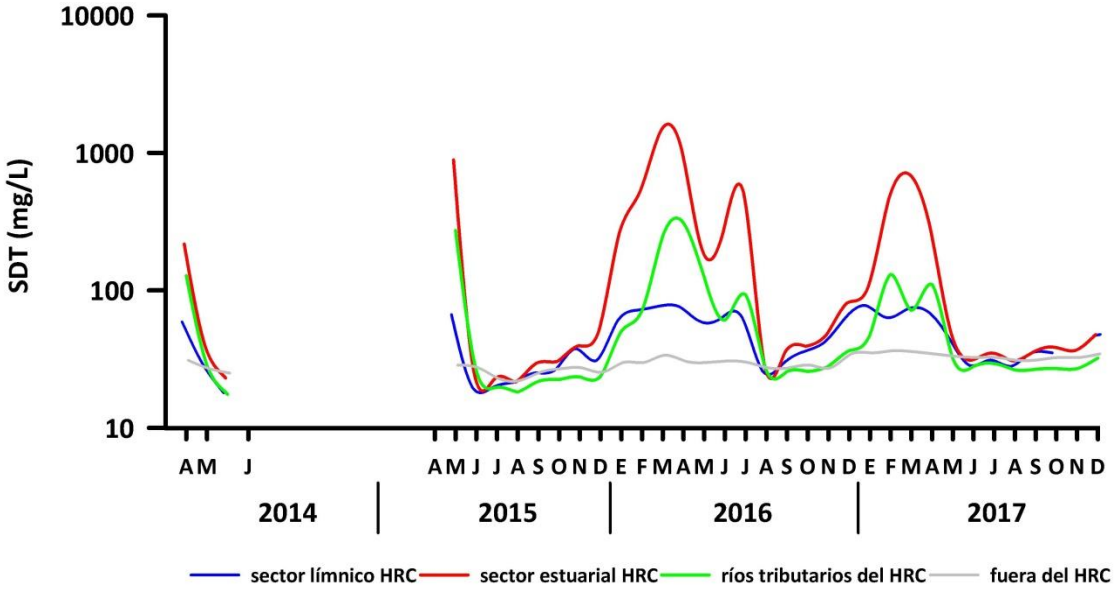


Figura 4.1.1.5. Comparación interanual de los Sólidos Disueltos Totales (SDT) (mg/L) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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 - 2017. 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 (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	4,1	4,7	2,9	2,1	5,4	8,0	3,9	4,6	2,4	2,4	*	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	*	5,7
Eje central del río Cruces (sector 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	*	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												
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												
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

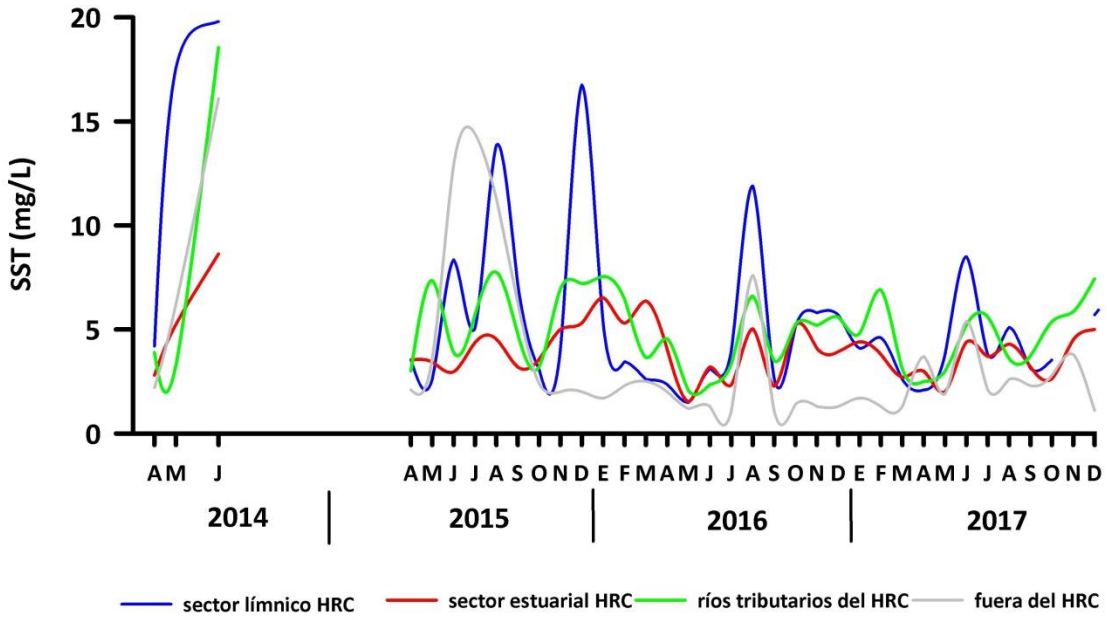


Figura 4.1.1.6. Comparación interanual de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) (mg/L) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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). Exceptuando las estaciones del sector límnico, los sitios ubicados en el eje central del río Cruces y en los ríos tributarios fueron los de menor transparencia (Fig. 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 (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	0,8	0,7	0,7	1,0	0,9	0,8	1,2	0,8	0,8	0,7	*	0,5
2 (sector Rucaco)	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	1,0	1,0	1,0	0,9	*	1,0
Eje central del río Cruces (sector 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												
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												
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

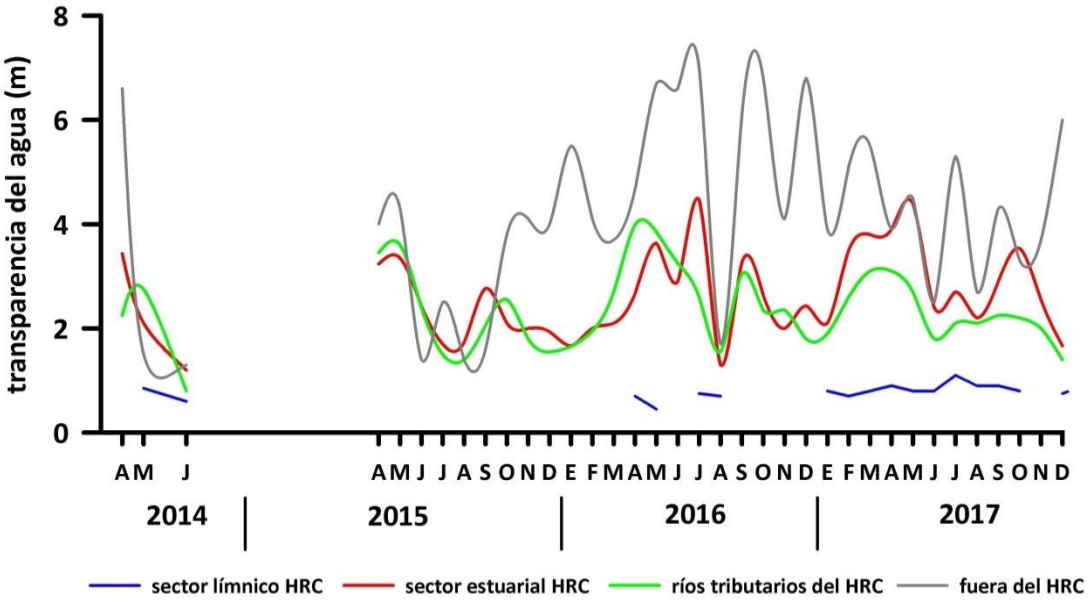


Figura 4.1.1.7. Comparación interanual de la transparencia (m) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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 (2014-2017) 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

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 (Tabla 4.1.1.9).

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 4.5.1.9).

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), 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)	3	1,295	0,431	7,290	**<0,001**	2014 > 2016=2017
	Mes (M)	1	0,898	0,898	15,163	**<0,001**	A < J
	Sector (S)	3	0,141	0,047	0,793	0,504	
	A x S	9	0,377	0,042	0,709	0,698	
	Error	47	2,782	0,059			
Transparencia	Año (A)	3	0,56028	0,18676	4,9985	**<0,01**	2017=2016 > 2014
(*)	Mes (M)	1	0,45631	0,45631	12,2128	**<0,01**	A > J
	Sector (S)	2	0,3429	0,17145	4,5888	**<0,05**	F > T
	A x S	6	0,05508	0,00918	0,2457	0,958	
	Error	35	1,30771	0,03736			

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 y 2017.

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 (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	9,5	10,1	12,5	12,6	14,1	12,7	13,9	12,6	12,8	12,6	SD	10,9
2 (sector Rucaco)	9,7	10,5	12,0	12,0	14,6	12,5	14,0	13,9	13,1	13,0	SD	11,4
Eje central del río Cruces (sector estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	8,1	9,9	9,6	11,0	12,9	12,4	13,2	12,6	12,6	13,1	11,9	10,2
4 (sector Santa Clara)	8,1	9,5	10,8	12,1	14,6	11,6	12,5	13,9	13,2	13,1	SD	9,4
5 (sector Punucapa)	8,8	9,4	10,8	12,1	13,1	11,3	12,6	13,3	12,8	12,7	11,2	9,7
Ríos tributarios del río Cruces												
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												
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

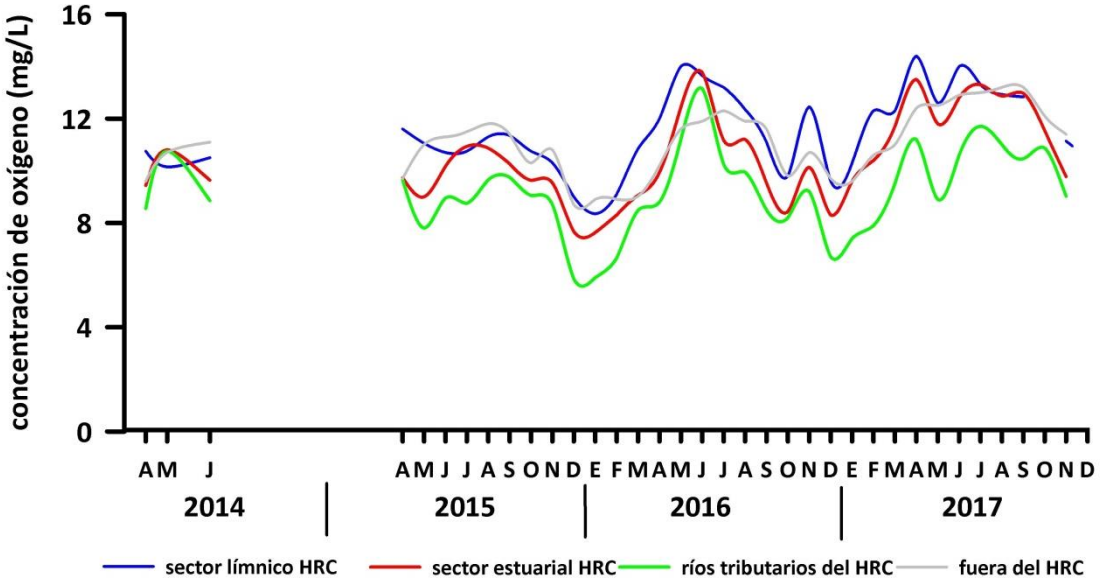


Figura 4.1.1.8. Comparación interanual de la concentración de oxígeno (mg/L) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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 (sector límnico)												
1 (sector Ciruelos)	108,9	116,0	127,8	118,2	121,6	113,3	115,5	111,1	114,6	115,7	*	109,3
2 (sector Rucaco)	110,5	119,1	129,5	114,0	127,1	112,7	116,2	123,6	118,6	121,5	*	115,4
Eje central del río Cruces (sector estuarial)												
3 (sector fuerte San Luis)	94,1	113,0	100,7	106,5	113,0	107,9	113,9	111,3	112,9	123,6	114,4	108,6
4 (sector Santa Clara)	96,6	109,6	115,0	121,2	128,2	104,2	107,7	121,7	121,0	128,1	*	103,5
5 (sector Punucapa)	101,5	107,0	117,7	122,4	112,1	100,9	108,3	116,5	118,5	128,2	121,7	105,2
Ríos tributarios del río Cruces												
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												
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

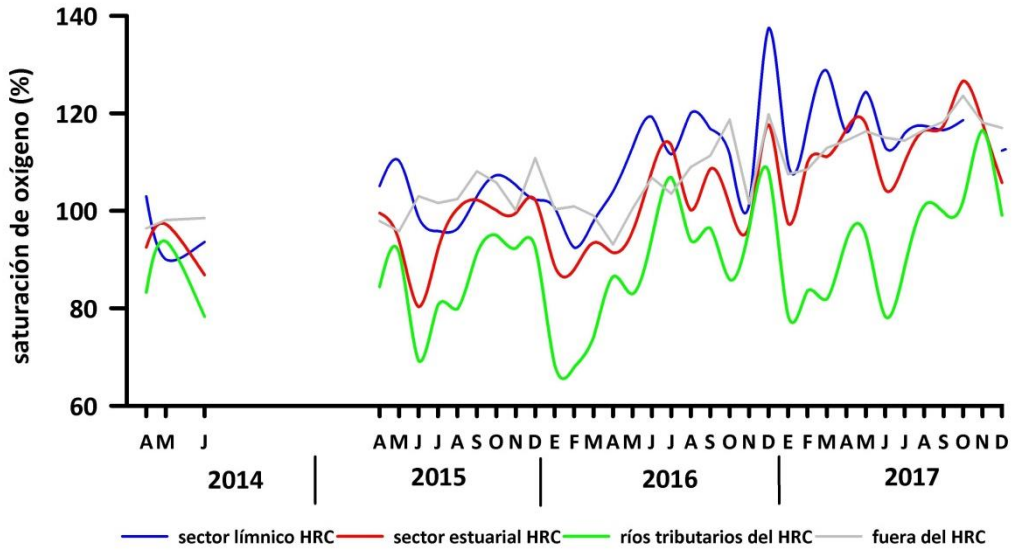


Figura 4.1.1.9. Comparación interanual de la saturación de oxígeno (%) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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

La Tabla 4.1.1.13 muestra que las concentraciones de oxígeno fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante los años 2016 y 2017, en los meses de mayor caudal hídrico (julio) y en aguas del sector límnico.

Los valores de saturación de oxígeno fueron significativamente más bajos ($p<0,05$) durante el año 2014 y 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)	3	60,571	20,190	13,060	**<0,001**	2014 < 2015 < 2016 = 2017
	Mes (M)	1	38,396	38,396	24,834	**<0,001**	A < J
	Sector (S)	3	23,232	7,744	5,009	**<0,05**	L > T
	A x S	9	5,503	0,611	0,396	0,930	
	Error	39	60,293	1,546			
Oxigeno (%)	Año (A)	3	3147,8	1049,26	9,980	**<0,001**	2014 < 2016=2017; 2015 <2017
(***)	Mes (M)	1	3,61	3,61	0,031	0,860	
	Sector (S)	3	2867,6	955,87	8,295	**<0,001**	T < L= EE= F
	A x S	9	573,1	63,68	0,553	0,828	
	Error	47	5992,8	105,14			

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.

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 y 2017. 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)				
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)

estaciones	DBO_5 (mg/L) 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)	*	*

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 y 2017. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado

	DQO (mg/L)				
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 (0,71)	7,5 (3,54)
5 (sector Punucapa)	7,5 (2,1)	3,0 (0,0)	6,0 (0,0)	7,5 (0,71)	6,5 (3,54)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	6,0 (0,0)	6,0 (1,0)	12,0 (0,0)	14,5 (0,71)	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 (1,41)	4,0 (4,0)

	DQO (mg/L)			
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)

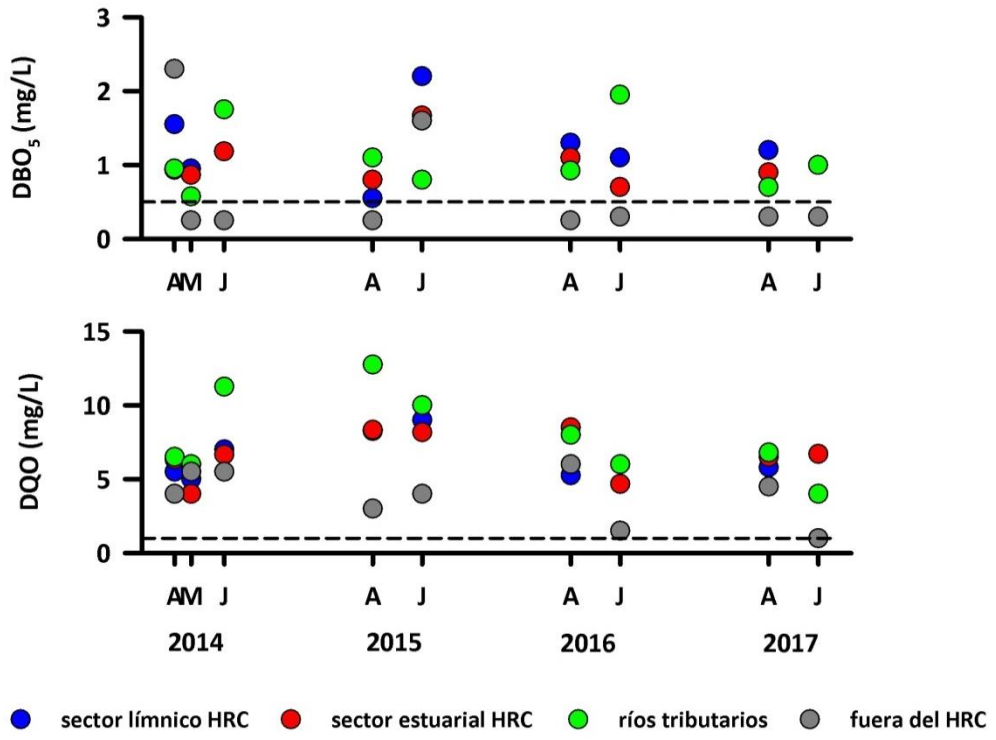


Figura 4.1.1.10. Comparación interanual de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y de la demanda química de oxígeno (DQO) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. Línea segmentada indica el 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 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 y Sector.

Tabla 4.1.1.16. Variabilidad interanual (2014-2017) 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

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 el año 2015 y primariamente en los sectores del eje central y tributarios del río Cruces (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 bemanda 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), 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)	3	1,95	0,650	1,13	0,345	
	Mes (M)	1	0,15	0,150	0,26	0,611	
	Sector (S)	3	1,96	0,650	1,14	0,344	
	A × S	9	2,88	0,320	0,56	0,823	
	Error	47	26,95	0,570			
DQO	Año (A)	3	105,45	35,1	7,99	**<0,001**	2015 > 2016 = 2017
	Mes (M)	1	9,77	9,77	2,20	0,143	
	Sector (S)	3	116,43	38,81	8,82	**<0,001**	EE=T > F
	A × S	9	47,31	5,26	1,19	0,321	
	Error	47	206,78	4,40			

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.

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 y 2017. 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)

	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)

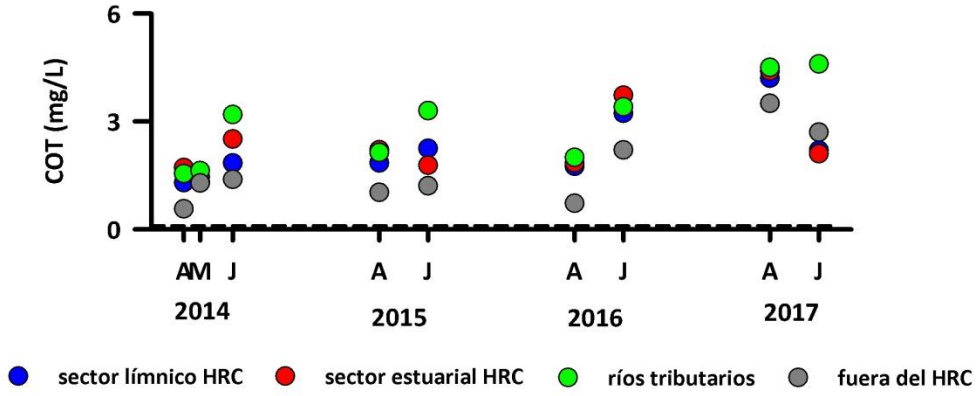


Figura 4.1.1.11. Comparación interanual de la concentración de carbono orgánico total en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. La línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

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 y 2017) 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

Los análisis indican que las concentraciones de COT fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2017, durante el periodo de mayor caudal hídrico (julio) y en eje central estuarial y ríos tributarios del HRC (Tabla 4.1.1.20).

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), 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)	3	0,650	0,217	8,519	**<0,001**	2017 > 2014 = 2015
	Mes (M)	1	0,119	0,119	4,679	**<0,05**	J > A
	Sector (S)	3	0,548	0,183	7,184	**<0,001**	EE = T > F
	A × S	9	0,177	0,019	0,773	0,642	
	Error	47	1,195	0,025			

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.

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 y 2017.

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 (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 y 2017. 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)

	N-NH4 (mg /L)	
estaciones	**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)

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 y 2017. 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)

	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)

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 y 2017. 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)	*	*

	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)	*	*	*	*

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 y 2017. 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)

	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)

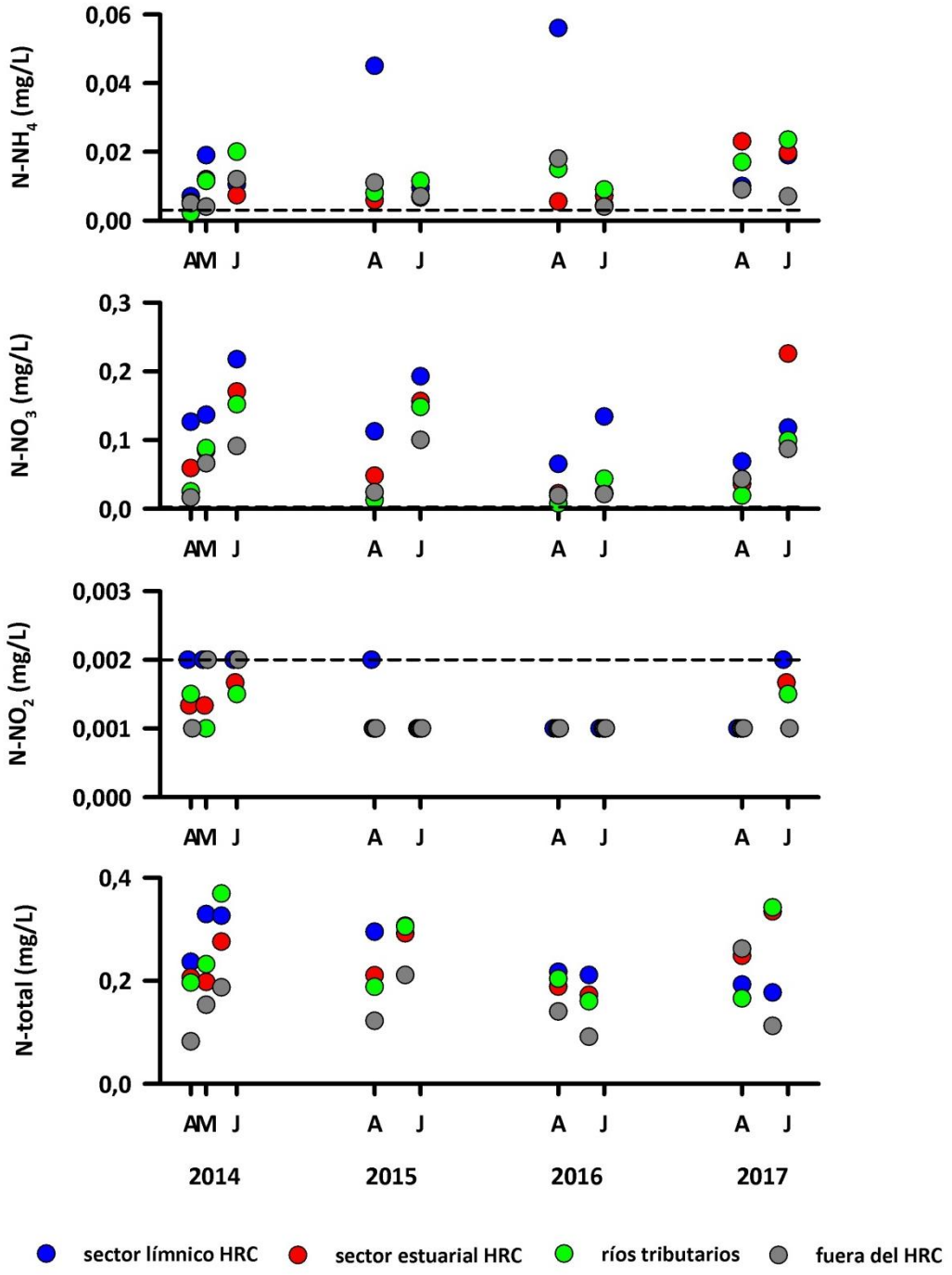


Figura 4.1.1.12. Comparación interanual de la concentración de amonio (N-NH_4), nitrato (N-NO_3), nitrito (N-NO_2), y nitrógeno total (N-total) en aguas superficiales del sector sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. 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 y 2017. 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 (2014-2017) 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

Las concentraciones de Amonio fueron significativamente más altas (p<0,05) durante el año 2017. No se observaron otras diferencias significativas (p>0,05), 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 (julio) y en el sector límnico (Tabla 4.1.1.26). Los contenidos de Nitrógeno total fueron significativamente más altos (p<0,05) durante los años 2014 y 2015, durante julio y en el sector límnico, eje central estuarial y ríos tributarios del HRC (Tabla 4.1.1.26).

Tabla 4.1.1.26. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en 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 y 2017), 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)	3	0,0215	0,0072	3,183	**<0,05**	2017 > 2014
	Mes (M)	1	0,0004	0,0004	0,184	0,670	
	Sector (S)	3	0,0088	0,0029	1,297	0,286	
	A × S	9	0,0144	0,0016	0,712	0,695	
	Error	47	0,1057	0,0022			
$N\text{-}NO_3$ (*) (**)	Año (A)	3	0,168	0,056	7,195	**<0,001**	2016 < 2014 = 2015 = 2017
	Mes (M)	1	0,426	0,426	54,687	**<0,001**	A < J
	Sector (S)	3	0,184	0,061	7,873	**<0,001**	L > EE = T = F
	A × S	9	0,068	0,007	0,962	0,482	
	Error	47	0,434	0,080			
N-Total (*)	Año (A)	3	0,0574	0,019	4,349	**<0,01**	2014 = 2015 > 2016
	Sector (S)	3	0,0782	0,026	5,927	**<0,01**	EE = L= T > F
	Mes (M)	1	0,0407	0,041	9,244	**<0,01**	A < J
	A x S	9	0,0487	0,0054	1,231	0,299	
	Error	47	0,2067	0,005			

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 y 2017.

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 y 2017. 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)

	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)

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 y 2017. 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)

	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)

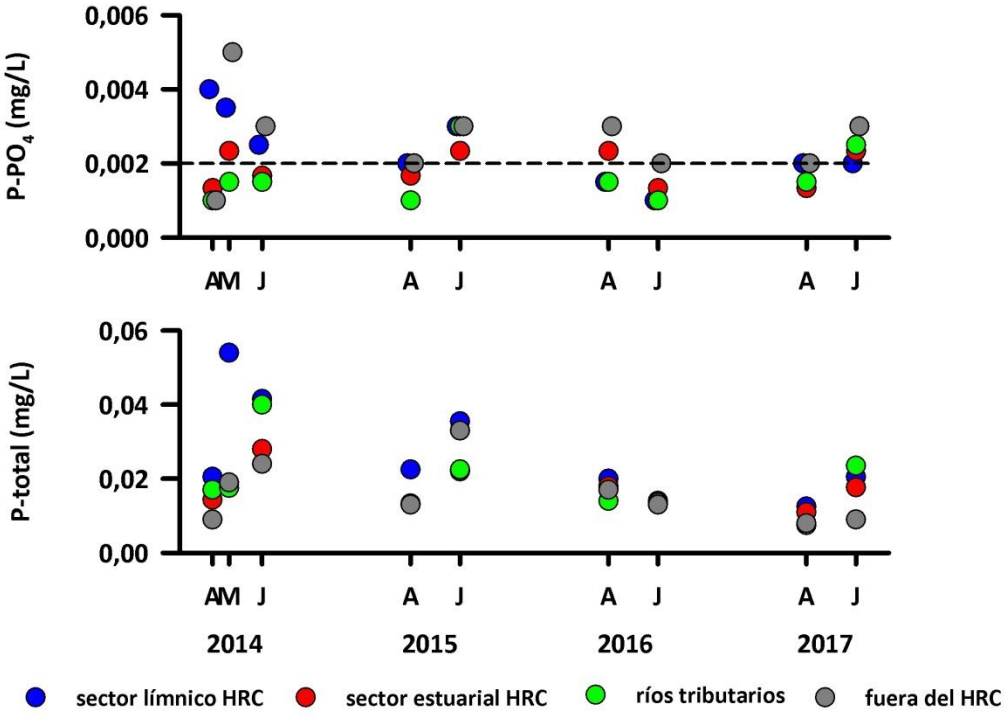


Figura 4.1.1.13. Comparación interanual de la concentración de Fosfato ($P\text{-}PO_4$) y Fósforo total (P-total) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. La línea segmentada indica el límite 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 y 2017. 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 (2014-2017) y estacional (abril- julio) de la concentración de Fosfato ($P\text{-}PO_4$) y Fósforo Total (P-Total) en aguas superficiales en los sectores de estudio: L = sector límnico del río Cruces; EE = eje estuarial y central del río Cruces; T = ríos tributarios del humedal del río Cruces y F = fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

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

No se observaron diferencias significativas en las concentraciones de Fosfatos al comparar años, períodos o sitios de muestreo (Tabla 4.1.1.30).

Las concentraciones de Fósforo total fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2014, durante el periodo de menor 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 y 2017), 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)	3	6,68e-06	2,23e-06	1,6365	0,193	
	Sector (S)	3	1,10e-05	3,68e-06	2,7020	0,056	
	Mes (M)	1	3,06e-06	3.06e-06	2,2483	0,140	
	A x S	9	1,86e-05	2,07e-06	1,5193	0,169	
	Error	47	6,40e-05	1,36e-06			
P-Total (*)	Año (A)	3	0,5168	0,1723	8,392	**<0,001**	2014>2016 = 2017; 2015>2015
	Mes (M)	3	0,4967	0,4967	24,196	**<0,001**	A < J
	Sector (S)	1	0,2534	0,0845	4,114	**<0,05**	L > EE = F
	A x S	9	0,1656	0,0184	0,896	0,536	
	Error	47	0,9648	0,0205			

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

Bacterias Coliformes totales y fecales

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

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 y 2017. 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)

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 y 2017. 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)

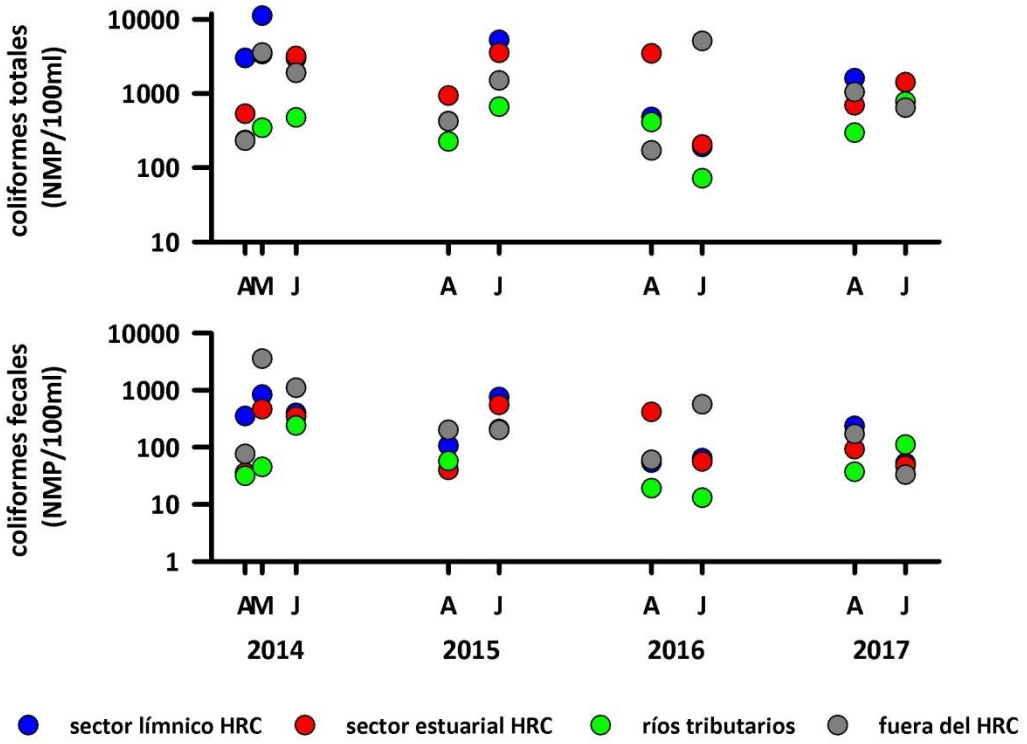


Figura 4.1.1.14. Comparación interanual de la concentración de Bacterias coliformes totales y fecales (NMP/100ml) en aguas superficiales del sector sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

.

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 (2014-2017) 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

Las concentraciones de Bacterias coliformes totales no mostraron diferencias significativas ($p>0,05$) entre años, pero sí ($p<0,05$) entre campañas y sectores; tales concentraciones fueron más altas durante el mes de julio y en el sector límnico y eje central estuarial del HRC cuyas concentraciones no difirieron significativamente ($p<0,05$) entre sí (Tabla 4.1.1.34).

Las concentraciones de Bacterias coliformes fecales detectadas durante los años 2014 y 2015 fueron significativamente ($p<0,05$) más altas que las detectadas durante los años 2014 y 2015 (Tabla 4.1.1.34). Las concentraciones de estas bacterias fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante los meses de julio y en los sectores límnico y fuera del HRC (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) 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)	3	1,7072	0,5691	2,536	0,068	
(*)(**)	Mes (M)	1	0,6992	0,6992	3,116	**0,016**	J > A
	Sector (S)	3	3,1549	3,707	3,249	**<0,001**	L = EE >T
	A x S	9	1,5055	0,1673	0,7454	0,665	
	Error	47	10,5480	0,2244			
Col. fecales	Año (A)	3	2,5378	0,8459	3,3310	**<0,01**	2014 = 2015 > 2016 = 2017
(*)(**)	Mes (M)	1	1,2062	1,2061	4,7497	**<0,001**	J > A
	Sector (S)	3	3,1242	1,0414	4,1007	**<0,01**	L = F > T
	A x S	9	1,2977	0,1442	0,5677	0,816	
	Error	47	11,9360	0,2540			

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.

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 y 2017.

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 (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 y 2017. 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**

	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)

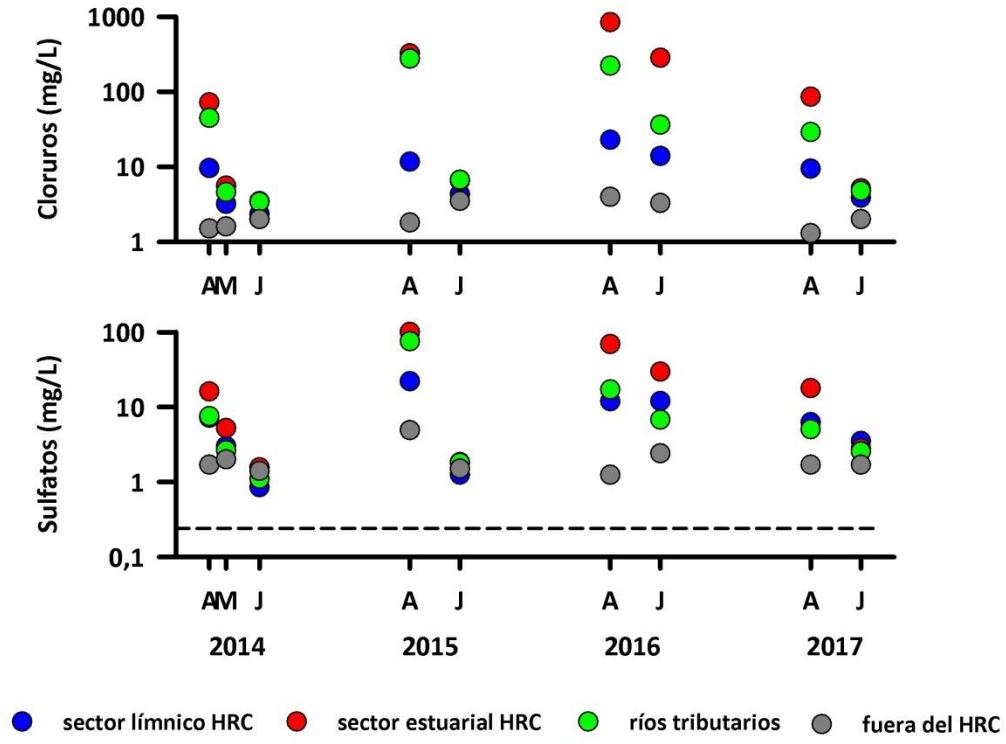


Figura 4.1.1.15. Comparación interanual de cloruros (mg/L) y sulfatos (mg/L) en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. La línea segmentada indica el límite de detección del método utilizado.

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 (2014-2017) 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

Las concentraciones de Cloruros registradas durante los años 2015 y 2016, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las registradas durante los años 2014 y 2017 (Tabla 4.1.1.37). Las concentraciones de estos compuestos fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en el eje estuarial y ríos tributarios y durante las campañas de menor caudal hídrico (Tabla 4.1.1.37).

Las concentraciones de Sulfatos no presentaron diferencias significativas ($p>0,05$) entre años, pero si ($p<0,05$) entre sectores (mayores en el eje central y estuarial) 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 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
Cloruro	Año (A)	3	6,611	2,204	8,617	**0,013**	2015 = 2016 > 2014 = 2017
(*)(***)	Sector (S)	3	9,975	3,325	13,003	**<0,001**	EE = T > L = F
	Mes (M)	1	5,353	5,353	20,934	**0,007**	A > J
	A × S	3	2,019	0,673	2,631	0,915	
	Error	53	13,553	0,256			
Sulfato	Año (A)	3	3,397	1,132	4,0959	0,053	
(*)(***)	Sector (S)	3	4,181	1,394	5,0409	**0,002**	EE = T > L = F
	Mes (M)	1	4,719	4,719	17,0694	**0,003**	A > J
	A × S	9	1,010	0,112	0,4060	0,926	
	Error	47	12,995	0,277			

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 y 2017 (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 y 2017. 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)

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 y 2017. 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)

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 y 2017. 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)

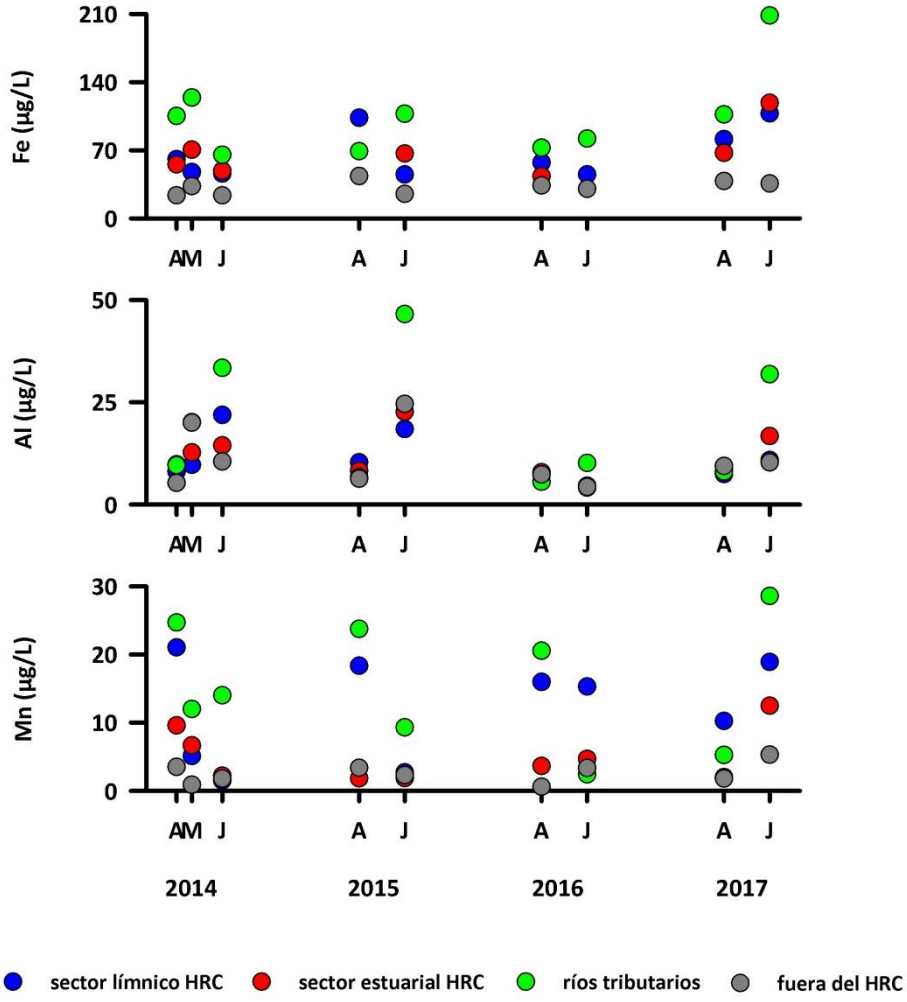


Figura 4.1.1.16. Comparación interanual de la concentración de Hierro, Aluminio y Manganeso disuelto en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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 y 2017) 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

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 el año 2017 y en los ríos tributarios, a la vez que 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 altas ($p<0,05$) durante los años 2014-2015 y 2017, 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), 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)	3	17985,77	5995,25	5,06	**0,006**	2017 > 2016 = 2014
	Sector (S)	1	355,63	355,63	0,30	0,588	
	Mes	3	30831,76	10277,25	8,67	**<0,001**	T > L = EE = F
	A × S	9	5853,53	650,39	0,54		
	Error	32	37914,73	1184,83			
Al (*)(***)	Año (A)	3	16,56	5,52	18,92	**<0,001**	2014 = 2015 = 2017 > 2016
	Mes (M)	1	20,62	20,62	70,70	**<0,001**	J > A
	Sector (S)	3	7,20	2,40	8,23	**<0,001**	T > L = EE = F
	A × S	9	2,37	0,26	0,90		
	Error	32	9,33				
Mn (**)	Año (A)	3	1,475	0,4917	0,3343	0,801	
	Mes (M)	1	0,763	0,7633	0,5190	0,475	
	Sector (S)	3	28,717	9,5723	6,5079	**<0,001**	T = L > EE = F
	A × S	9	7,149	0,7943	0,5400	0,838	
	Error	47	69,131	1,4709			

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 y 2017 (Programa de Monitoreo Ambiental del HRC).

Con excepción del año 2014, el Zinc ha sido detectado en escasas ocasiones (Tabla 4.1.1.44), el Cadmio no se detectó en abril del año 2014 y con posteridad a este ocurrió en escasas ocasiones (Tabla 4.1.1.46), a la vez que el Arsénico y el Mercurio no han sido detectados (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 y 2017. 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)

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 y 2017. 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)

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 y 2017. 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)

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 y 2017. 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)	*	*	*	*

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 y 2017. * = 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)	*

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 y 2017. * = 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)	*	*	*	*

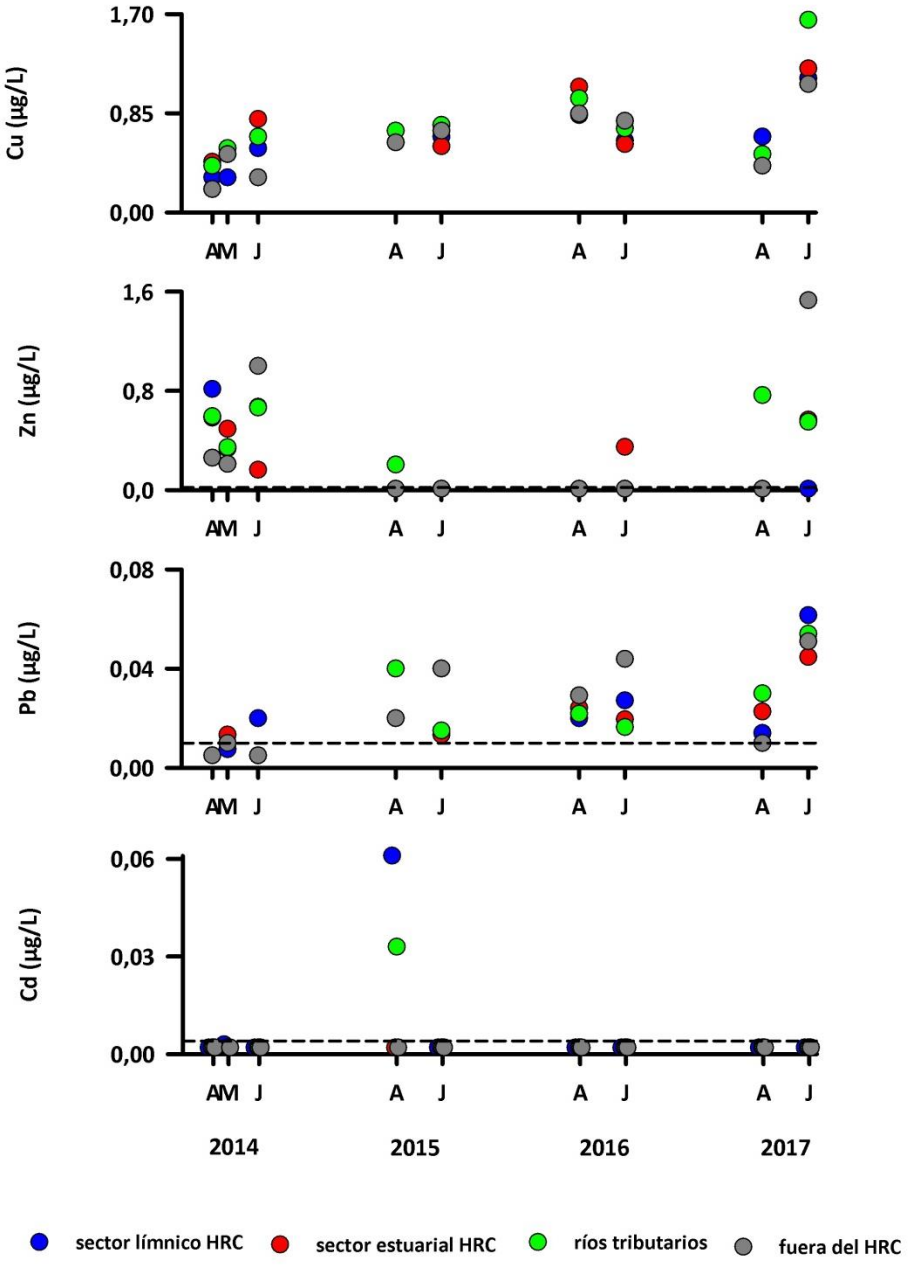


Figura 4.1.1.17. Comparación interanual de la concentración de Cobre, Zinc, Plomo y Cadmio disuelto en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. La línea segmentada indica el límite de detección 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 y 2017) 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

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 los años 2015, 2016 y 2017 no difirieron significativamente entre sí (p>0,05); estas fueron

significativamente más altas que durante el año 2014 ($p<0,05$). Por otra parte las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante los muestreos de julio (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 2014; no se observaron diferencias significativas ($p>0,05$) entre campañas y sectores (Tabla 4.1.1.50).

Las concentraciones de Plomo detectadas durante el año 2017 fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las encontradas durante los años 2015 y 2016. A su vez, los datos obtenidos durante las campañas de mayor caudal hídrico (julio) fueron significativamente más altos ($p<0,05$) que las obtenidos durante las campañas de menor caudal (abril) (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), 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)	3	0,6951	0,2317	9,1517	**<0,001**	2015 = 2016 = 2017 > 2014
	Mes (M)	1	0,1748	0,1748	6,9024	**<0,001**	J > A
	Sector (S)	3	0,1033	0,0344	1,3598	0,061	
	A × S	9	0,1452	0,0161	0,6374	0,290	
	Error	47	1,1899	0,0253			
Zn (*)(***)(1)	Año (A)	1	0,539	0,180	13,09	**<0,001**	2017 > 2014
	Mes (M)	1	0,052	0,052	3,82	0,059	
	Sector (S)	3	0,016	0,016	0,40	0,750	
	A × S	9	0,070	0,007	0,57	0,411	
	Error	47	0,439	0,013			
Pb (***)(2)	Año (A)	2	0,00095	0,00047	4,91	**<0,016**	2017 > 2015 = 2016
	Mes (M)	1	0,00139	0,00139	14,35	**<0,001**	J > A
	Sector (S)	3	0,00030	0,00100	1,03	0,396	
	A × S	9	0,00096	0,00016	1,69	0,165	
	Error	24	0,00233	0,00009			

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; (1) Solo se compararon los años 2014-2017, ya que durante los otros años este metal no fue detectado en la mayoría de los sectores; (2) No se incluyó el año 2014 en los análisis ya que durante abril no se detectó y en julio, solo se detectó en el sector límnico.

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 y 2017 (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 y 2017. 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)

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 y 2017. 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)

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 y 2017. 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)

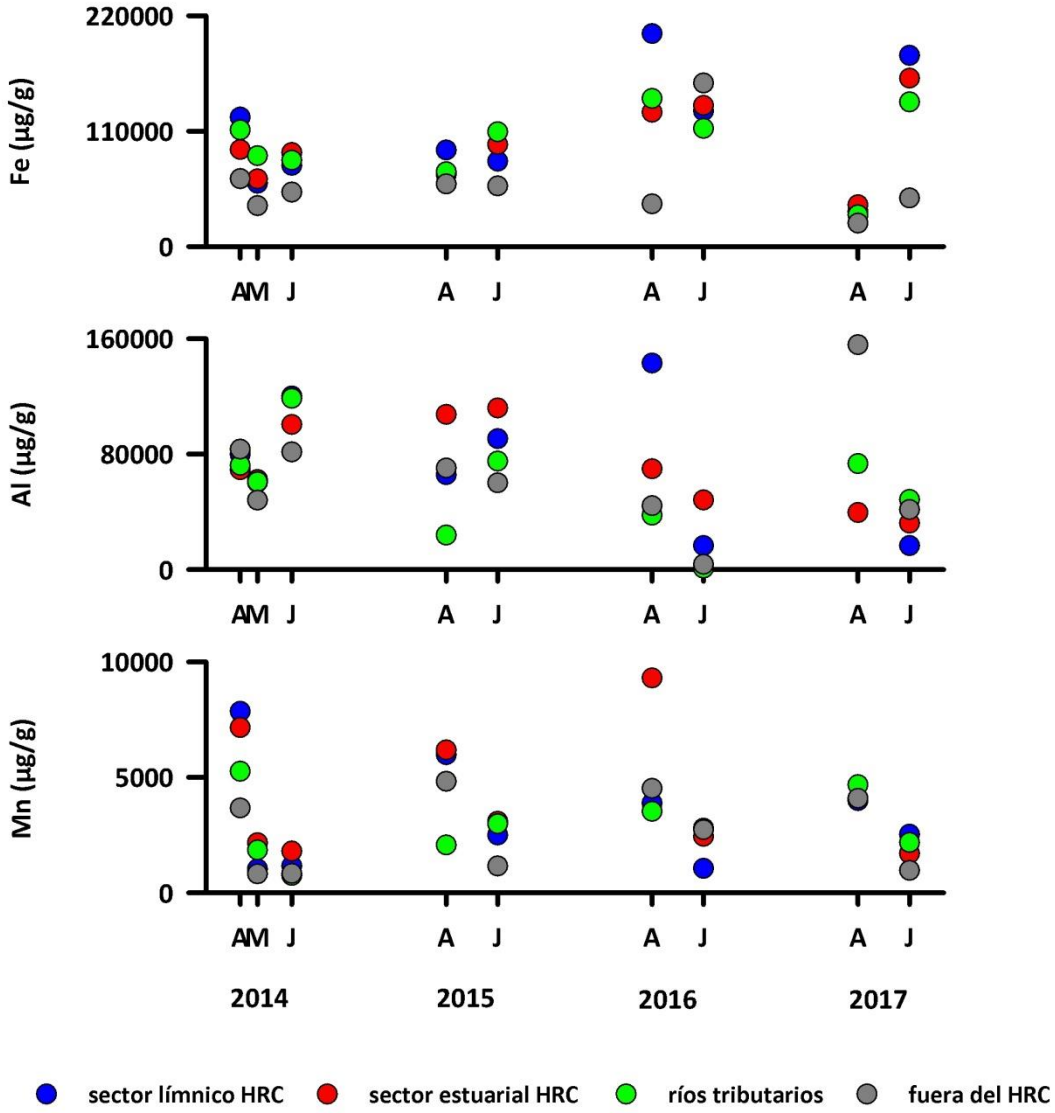


Figura 4.1.1.18. Comparación interanual de la concentración de Hierro, Aluminio y Manganeso particulado en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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 y 2017) 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/L)				Aluminio (µg/L)				Manganeso (µg/L)			
	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

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

Las concentraciones de Hierro particulado detectadas durante el año 2016 fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las detectadas durante los otros años. A su vez, las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el

período de mayor caudal (julio) y en los sectores límnico, eje estuarial y ríos tributarios (Tabla 4.1.1.55).

Las concentraciones de Aluminio fueron significativamente más bajas ($p<0,05$) durante el año 2016 y significativamente más altas ($p<0,05$) durante el periodo de bajo caudal hídrico (julio) (Tabla 4.1.1.55).

Las concentraciones de Manganeso no difirieron significativamente ($p>0,05$) entre años y sectores, pero sí entre periodos (significativamente más altas ($p<0,05$) durante 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 y 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
Fe (*)(***)	Año (A)	3	0,631	0,210	8,80	**<0,001**	2016 > 2014 = 2016 = 2017
	Mes (M)	1	0,387	0,387	16,18	**<0,001**	J > A
	Sector (S)	3	0,406	0,135	5,66	**0,003**	L = EE = T > F
	A x S	9	0,073	0,008	0,34	**<0,001**	
	Error	32	0,765	0,023			
Al (*)(***)	Año (A)	3	2,7922	0,9307	7,0995	**<0,001**	2014 = 2015 > 2016
	Mes (M)	1	0,7327	0,7327	5,5889	**<0,05**	A > J
	Sector (S)	3	0,8128	0,2710	2,0667	0,117	
	A x S	9	2,6700	0,2967	2,2629	0,034	
	Error	47	6,1617	0,1311			
Mn (*)(***)	Año (A)	3	0,0827	0,0276	0,4180	0,7409	
	Mes (M)	1	3,0819	3,0819	46,7652	**<0,001**	A > J
	Sector (S)	3	0,5272	0,1757	2,6668	0,0585	
	A x S	9	0,4109	0,0457	0,6928	0,7118	
	Error	47	3,0973	0,0659			

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

Cobre, Zinc y Plomo

Las Tablas 4.1.1.56 a la 4.1.1.58 y la Figura 4.1.1.19 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 y 2017 (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 y 2017. 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)

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 y 2017. 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)

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 y 2017. 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)

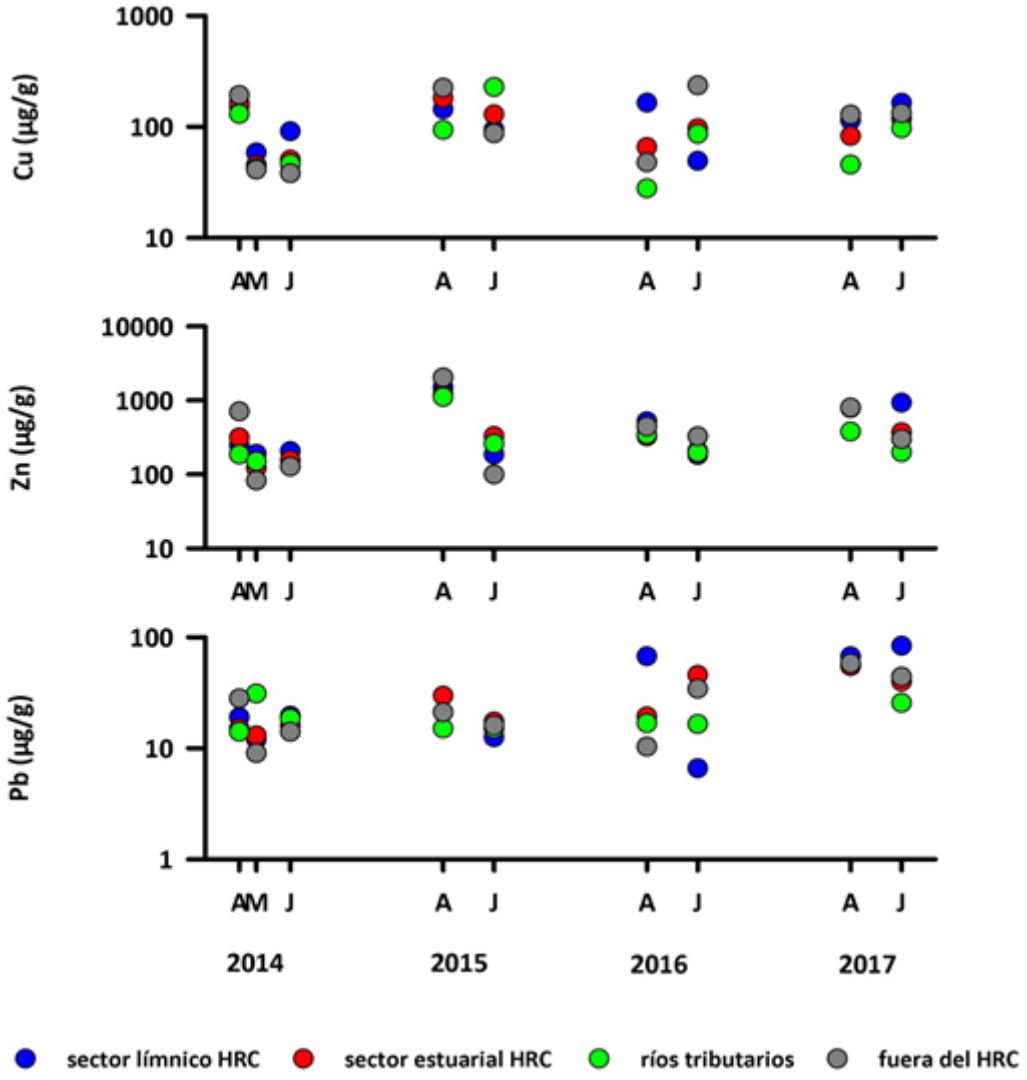


Figura 4.1.1.19. Comparación interanual de la concentración de Cobre, Zinc, Plomo y Cadmio particulado en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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 y 2017) 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/L)				**Zinc (µg/L)**				**Plomo (µg/L)**			
	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

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 fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2015 y en los sectores límnico y fuera del HRC (Tabla 4.1.1.60).

Las concentraciones de Zinc particulado detectadas durante los años 2015 y 2017, 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) y en los sectores límnico y eje estuarial (Tabla 4.1.1.60).

Las concentraciones de Plomo particulado detectadas durante el año 2017, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las registradas durante los otros años de estudio (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), 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)	3	0,391	0,130	5,36	**0,004**	2015 > 2014 = 2015 = 2016
	Mes (M)	1	0,030	0,030	1,25	0,271	
	Sector (S)	3	0,328	0,109	4,48	**0,010**	L = F > T
	A x S	9	0,238	0,026	1,08	0,399	
	Error	32	0,778	0,024			
Zn (*)(***)	Año (A)	3	1,507	0,502	12,69	**<0,001**	2015 = 2017 > 2014 = 2016
	Mes (M)	1	2,277	2,277	57,17	**<0,001**	A > J
	Sector (S)	3	0,376	0,125	3,15	**0,038**	L = EE > T
	A x S	9	0,493	0,054	1,37	0,240	
	Error	32	1,275	0,039			
Pb (*)(***)	Año (A)	3	2,3274	0,7758	14,1532	**<0,001**	2017 > 2014 = 2015 = 2016
	Mes (M)	1	0,0576	0,0576	1,0509	0,3105	
	Sector (S)	3	0,1499	0,0500	0,9115	0,4427	
	A x S	9	0,2967	0,0330	0,6014	0,7893	
	Error	47	2,5763	0,0548			

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

Cadmio, Arsénico y Mercurio

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

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 y 2017. 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)	*	*	*	*

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 y 2017. 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)	*

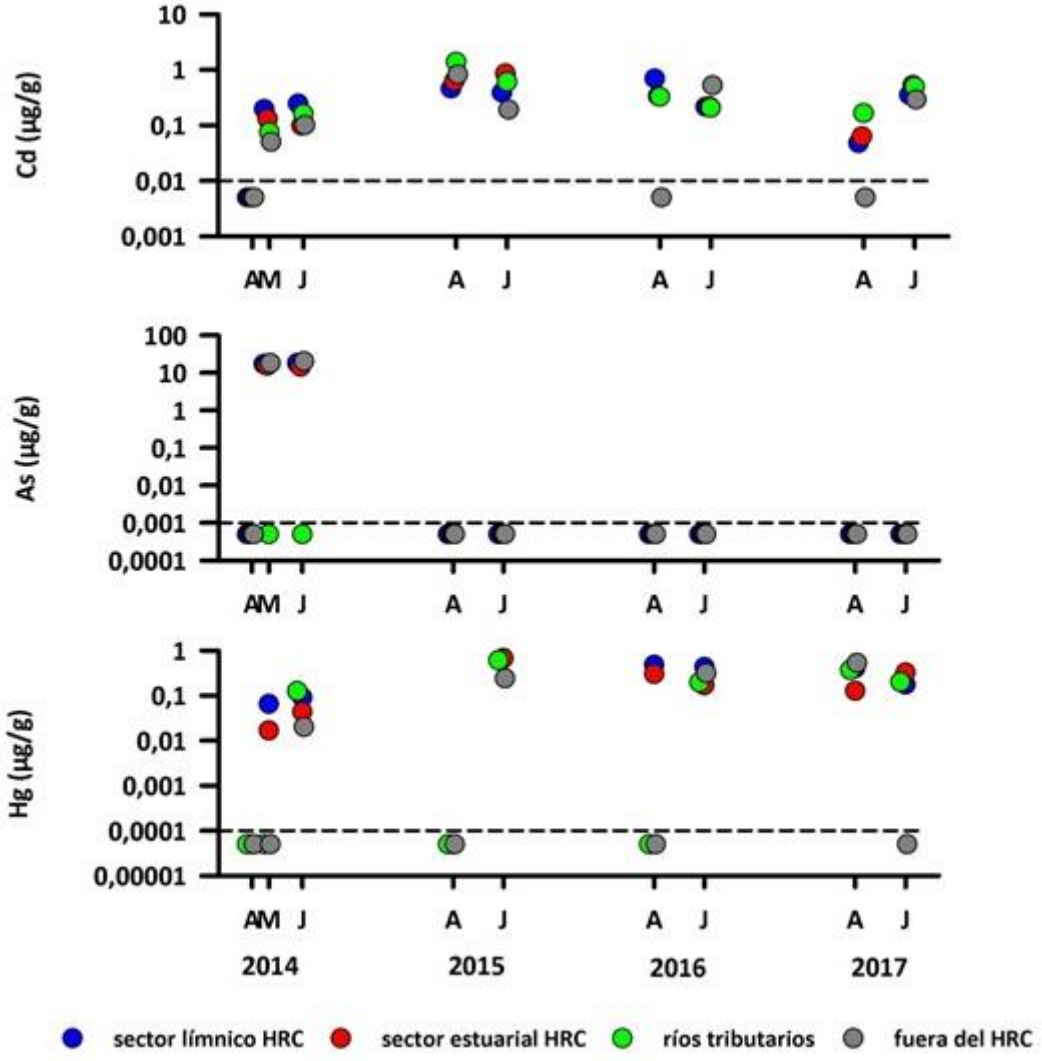


Figura 4.1.1.20. Comparación interanual de la concentración de Cadmio, Arsénico y Mercurio particulado en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal. La línea segmentada indica el límite de detección 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 y 2017) 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/L)				**Arsénico (µg/L)**				**Mercurio (µg/L)**			
	L	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**	**L**	**EE**	**T**	**F**
abril 2014	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
julio 2014	0,25	0,15	0,16	0,10	18,0000	14,3335	0,0005	20,0000	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

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 Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (2014) fueron significativamente más bajas (p<0,05) que las detectadas durante los tres primeros años (2015-2017) del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC ((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 y 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
Cd (***)	Año (A)	3	3,2344	1,0781	9,2725	**<0,001**	2015 > 2014 = 2016 = 2017
	Mes (M)	1	0,0361	0,0361	0,3105	0,5800	
	Sector (S)	3	0,2026	0,0675	0,5807	0,6306	
	A x S	9	0,7295	0,0810	0,6971	0,7080	
	Error	32	5,4648	0,1163			
Hg (***)	Año (A)	3	0,522	0,174	4,05	**0,015**	2014 < 2015 = 2016 = 2017
	Mes (M)	1	0,226	0,226	5,26	**0,028**	J > A
	Sector (S)	3	0,132	0,044	1,02	0,395	
	A x S	9	0,241	0,026	0,62	0,767	
	Error	47	1,374	0,042			

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (***) 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 y 2017 (Programa de Monitoreo Ambiental del HRC). No se han detectado Ácidos resínicos durante los cuatro 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)	0,76 (0,31)	0,43 (0,07)	0,80 (0,05)	0,68 (0,00)
2 (sector Rucaco)	0,62 (0,09)	0,44 (0,04)	0,59 (0,02)	0,58 (0,01)
Eje central del río Cruces (área estuarial)				
3 (sector Fuerte San Luis)	0,62 (0,05)	0,42 (0,02)	0,60 (0,02)	0,67 (0,15)
4 (sector Santa Clara)	0,65 (0,14)	0,42 (0,03)	0,49 (0,01)	0,51 (0,02)
5 (sector Punucapa)	1,21 (0,12)	0,36 (0,03)	0,45 (0,07)	0,47 (0,01)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)				
6 (río Pichoy)	0,58 (0,07)	0,37 (0,03)	0,57 (0,05)	0,52 (0,01)
7 (río Cayumapu)	0,59 (0,00)	0,36 (0,02)	0,62 (0,02)	0,54 (0,02)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
8 (río Calle Calle)	0,57 (0,07)	0,36 (0,03)	0,61 (0,05)	0,51 (0,02)

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)	*	*	*	*

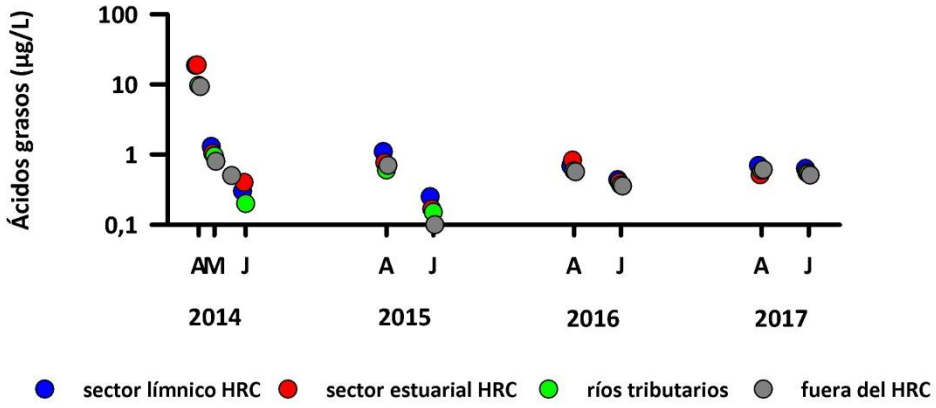


Figura 4.1.1.21. Comparación interanual de la concentración de Ácidos grasos en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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 y 2017 (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)

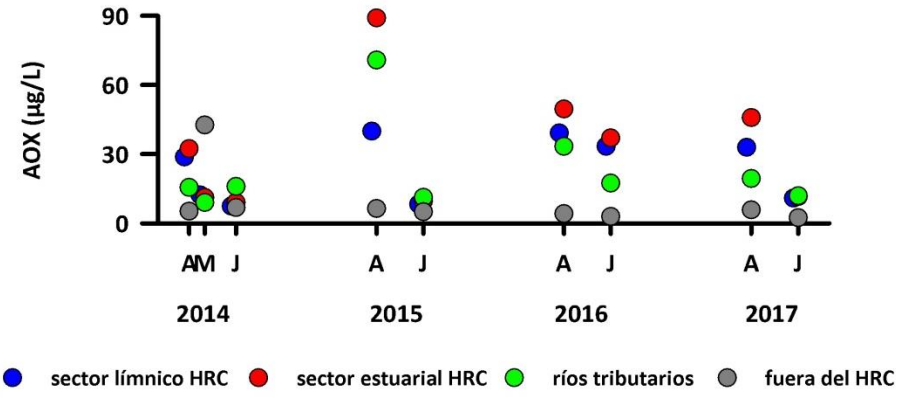


Figura 4.1.1.22. Comparación interanual de la concentración de los compuestos órgano-halogenados adsorbibles (AOX) en aguas superficiales del sector sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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 y 2017) 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

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 fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2014 y durante el periodo de mayor caudal hídrico (Tabla 4.1.1.69).

Las concentraciones de AOX no difirieron significativamente entre años ($p>0,05$) pero sí entre períodos de muestreo (mayores en abril) y sectores (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) 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)	3	5,1904	1,7301	12,0111	**<0,001**	2014 > 2015 = 2016 = 2017
(*)(***)	Mes (M)	1	6,5030	6,5030	45,1457	**<0,001**	J > A
	Sector (S)	3	0,2276	0,0759	0,5267	0,6661	
	A x S	9	0,2527	0,0281	0,1950	0,9936	
	Error	47	6,7701	0,1440			
AOX	Año (A)	3	0,4772	0,1591	1,3663	0,2646	
(*)(***)	Mes (M)	1	1,8847	1,8847	16,1900	**<0,001**	A > J
	Sector (S)	3	3,4390	1,1464	9,8475	**<0,001**	L = EE = T > F
	A x S	9	0,4125	0,0458	0,3937	0,9321	
	Error	47	5,4713	0,1164			

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

Dioxinas y Furanos

Las Tablas 4.1.1.70 y Figura 4.1.1.23, 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 y 2017 (Programa de Monitoreo Ambiental del HRC).

Durante el año 2017 se detectó por primera vez la Dioxina 1.2.3.7.8-PCDD, específicamente en aguas del río Calle Calle (sector fuera del HRC).

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 y 2017. 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**

	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**

	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)

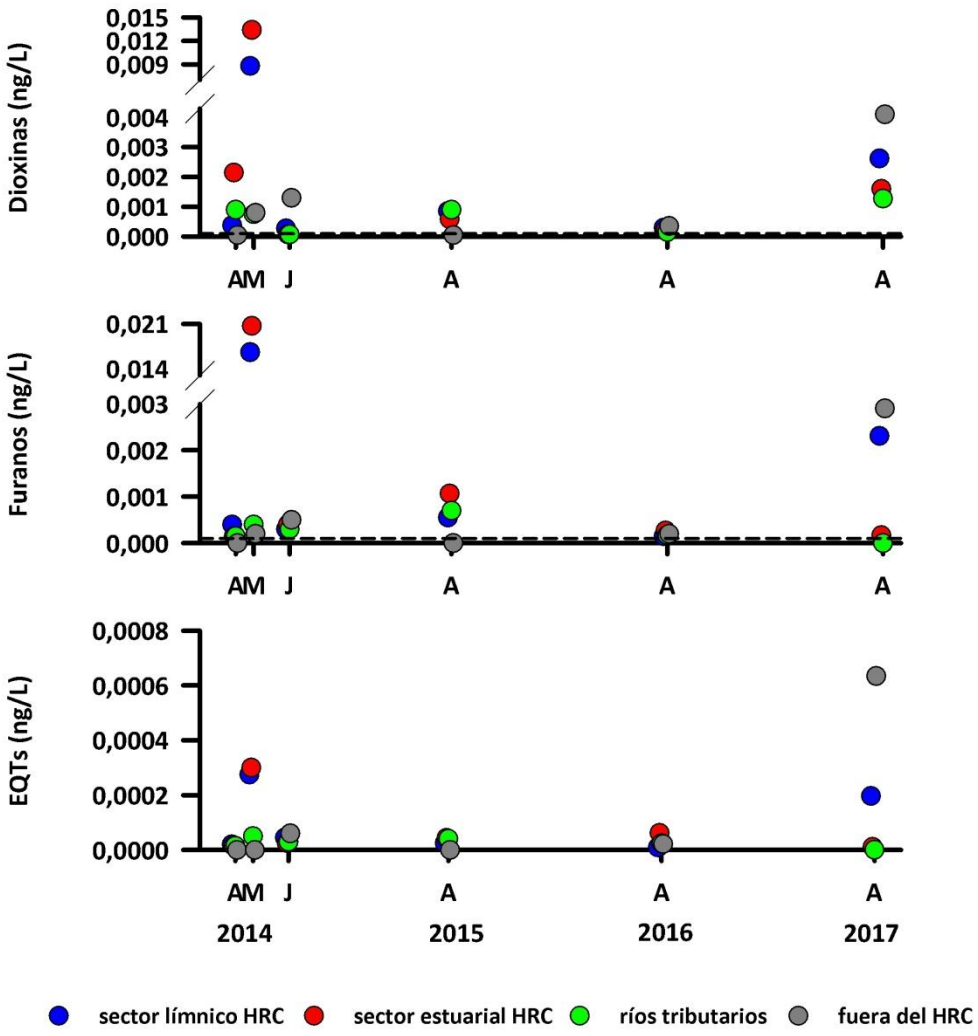


Figura 4.1.1.23. Comparación interanual de la concentración de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos en aguas superficiales del sector límnico, eje central y tributarios del humedal del río Cruces (HRC) y en aguas del sector ubicado fuera del humedal.

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 y 2017) 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

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 2017, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las observadas durante los años anteriores. No se detectaron diferencias significativas ($p>0,05$) entre sectores de estudio (Tabla 4.1.1.73).

Las concentraciones de EQTs fueron significativamente más altas (p<0,05) durante el año 2017 y 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)	3	0,000037	0,000012	32,97	**<0,001**	2017 > 2014 = 2015 = 2016
(**)	Sector (S)	3	0,000001	0,000001	0,93	0,435	
	A x S	9	0,000022	0,000002	6,57	**<0,001**	
	Error	46	0,000017	0,000001			
Furanos	Año (A)	3	0,00276	0,00092	5,55	**0,002**	2017 > 2014 = 2015 = 2016
(*)(**)	Sector (S)	3	0,00085	0,00028	1,71	0,179	
	A x S	9	0,00776	0,00086	5,20	**<0,001**	
	Error	46	0,00763	0,00017			
EQTs	Año (A)	3	0,0000003	0,0000001	13,82	**<0,001**	2017 > 2014 = 2015 = 2016
(***)	Sector (S)	3	0,0000001	0,0000001	4,96	**0,005**	F > T = EE
	A x S	9	0,0000005	0,0000001	6,64	**<0,001**	
	Error	46	0,0000004	0,0000001			

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 (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		2014			2015		2016		2017	
variables	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	M	J	A	J	A	J	A	J
Fe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Al	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Mn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Cu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Zn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Pb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Cd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
As	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Hg	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Cloruros	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Sulfatos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Temperatura										✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
pH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓
Coliformes fecales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
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		2014			2015		2016		2017		
variables	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	M	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		2014			2015		2016		2017		
variables	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	M	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		2014			2015		2016		2017	
variables	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	M	J	A	J	A	J	A	J
Fe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Al	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Mn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Cu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Zn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Pb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Cd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
As	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Hg	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Cloruros	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Sulfatos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Temperatura										✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
pH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	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		2014			2015		2016		2017			2014			2015		2016		2017			2014			2015		2016		2017		
	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	M	J	A	J	A	J	A	J		A	M	J	A	J	A	J	A	J		A	M	J	A	J	A	J	A	J	
Fe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Al	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Mn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Cu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Zn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Pb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Cd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
As	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Hg	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Cloruros	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Sulfatos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Nitrito	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Ph	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓																														
Conductividad	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
SDT	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓																														
SST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Concentración de Oxígeno	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓																														
Coliformes fecales										✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																					
Coliformes totales							✓						✓		✓		✓	✓		✓		✓									✓				✓				
DBO5								✓	✓											✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓													

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	Clase de excepción									Clase 1										Clase 2										Clase 3									
(Estaciones 3, 4 y 5)	2014			2015		2016		2017		2014			2015		2016		2017			2014			2015		2016		2017			2014			2015		2016		2017		
	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	M	J	A	J	A	J	A	J		A	M	J	A	J	A	J	A	J		A	M	J	A	J	A	J	A	J	
Fe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Al	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Mn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Cu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Zn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Pb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Cd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
As	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Hg	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Cloruros	✓	✓	✓		✓																														✓		✓	✓	
Sulfatos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓								✓																						
Nitrito	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Ph	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓																														
Conductividad	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓														✓		✓														
SDT	✓	✓	✓		✓			✓	✓																	✓										✓			
SST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Concentración de Oxígeno	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓																														
Coliformes fecales										✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																					
Coliformes totales										✓			✓			✓	✓	✓			✓	✓		✓	✓						✓			✓					
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		2014			2015		2016		2017			2014			2015		2016		2017			2014			2015		2016		2017	
	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	M	J	A	J	A	J	A	J		A	M	J	A	J	A	J	A	J		A	M	J	A	J	A	J	A	J	
Fe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Al	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Mn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Cu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Zn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Pb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Cd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
As	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Hg	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Cloruros	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓																										✓		✓			
Sulfatos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Nitrito	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Ph	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Conductividad	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓														✓																
SDT	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓																														
SST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										✓																					
Concentración de Oxígeno	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓																														
Coliformes fecales										✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																					
Coliformes totales							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓																					
DBO5																				✓	✓			✓		✓	✓							✓		✓			

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

FUERA DEL HRC (Estación 8)	Clase de excepción									Clase 1										Clase 2										Clase 3									
	2014			2015		2016		2017		2014			2015		2016		2017		2014			2015		2016		2017		2014			2015		2016		2017					
	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	M	J	A	J	A	J	A	J	A	M	J	A	J	A	J	A	J				
Fe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																															
Al	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																															
Mn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																															
Cu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																															
Zn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																															
Pb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																															
Cd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																															
As	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																															
Hg	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																															
Cloruros	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																															
Sulfatos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																															
Nitrito	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																															
Ph	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																															
Conductividad	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓													✓																		
SDT	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓																															
SST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																															
Concentración de Oxígeno	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓																															
Coliformes fecales										✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓								✓											
Coliformes totales						✓				✓		✓	✓	✓	✓	✓				✓														✓						
DBO5							✓	✓	✓	✓			✓	✓						✓	✓			✓																

4.1.1.5. Conclusiones

- La temperatura presentó patrones estacionales, con ocurrencias de valores más altos en el eje central y ríos tributarios.
- Aun cuando no se ha identificado un patrón definido en la variabilidad del pH a través del tiempo, los análisis evidenciaron que durante el año 2016 se registraron los más altos valores, particularmente en el eje estuarial, durante el periodo de menor caudal hídrico.
- La conductividad ha presentado un patrón estacional a través de los cuatro años de estudios, con valores más altos durante el periodo de menor caudal hídrico, en el sector estuarial y particularmente durante el año 2016.
- En términos generales, las concentraciones de SST han sido más altas en el sector límnico y en los ríos tributarios del HRC y durante el período invernal.
- Las aguas del área de estudio tienen concentraciones de oxígeno superiores a 8,5 mg/L; estas han sido más altas en los meses de mayor caudal hídrico (julio) y en aguas del sector límnico. La demanda bioquímica de oxígeno no ha diferido significativamente entre años y sectores.
- Las concentraciones de Hierro disuelto han sido más altas durante el año 2017 y en los ríos tributarios, a la vez que el Aluminio disuelto tuvo concentraciones más altas durante los años 2014-2015 y 2017, durante el mes de julio y en los ríos tributarios. Los valores de Manganeso disuelto no han diferido entre años y estaciones; sin embargo tales concentraciones fueron más altas en el sector límnico y ríos tributarios.
- Las concentraciones de Cobre disuelto han sido más bajas durante el año 2014 sin mostrar diferencias entre sectores de muestreo. Las concentraciones de Plomo disuelto detectadas durante el año 2017 fueron significativamente más altas que las encontradas durante los años 2015 y 2016.
- Con excepción del año 2014, el Zinc disuelto ha sido detectado en escasas ocasiones; el Cadmio disuelto no se detectó en abril del año 2014 y con posteridad a este

ocurrió en escasas ocasiones, a la vez que el Arsénico y el Mercurio disuelto no han sido detectados.

- Las concentraciones de Hierro particulado detectadas durante el año 2016 fueron significativamente más altas que las detectadas durante los otros años; las concentraciones de este metal han sido más altas durante el período de mayor caudal (julio) y en los sectores límnico, eje estuarial y ríos tributarios. Las concentraciones de Aluminio particulado fueron más bajas durante el año 2016 y más altas durante el periodo de bajo caudal hídrico (julio). Las concentraciones de Manganeso particulado no han diferido entre años y sectores, pero sí entre periodos (más altas durante abril).
- Las concentraciones de Cobre particulado fueron significativamente más altas durante el año 2015 y en los sectores límnico y fuera del HRC. Las concentraciones de Zinc particulado detectadas durante los años 2015 y 2017, fueron significativamente más altas que las observadas durante los años 2014 y 2016; los valores de este metal han sido significativamente más altos durante el periodo de bajo caudal hídrico (abril) y en los sectores límnico y eje estuarial del HRC.
- Las concentraciones de Cadmio particulado detectadas durante el año 2015 fueron significativamente más altas que las encontradas durante los otros años; no se observaron diferencias ntre sectores y campañas. Las concentraciones de Mercurio particulado detectadas durante el año 2014 fueron más bajas que las detectadas durante los tres primeros años (2015-2017) del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC. Arsénico particulado solo se ha detectado durante el año 2014.
- No se han detectado Ácidos resínicos durante los cuatro años de estudio.
- Las concentraciones de AOX no han diferido significativamente entre años, pero sí entre períodos de muestreo (mayores en abril) y sectores (más bajas en el sector ubicado fuera del HRC (río Calle Calle).
- Las concentraciones de Dioxinas y Furanos detectadas durante el año 2017, fueron más altas que las observadas durante los años anteriores. No se han detectado diferencias significativas entre sectores de estudio. Las concentraciones de EQTs

fueron más altas durante el año 2017 y especialmente en el sector ubicado fuera del HRC (río Calle Calle).

- No se ha detectado a presencia de la Dioxina 2378-TCDD, en ninguna de las estaciones muestreadas durante los cuatro años de estudio; sin embargo, durante los muestreos del año 2017 se detectó por primera vez la Dioxina 1.2.3.7.8-PCDD, específicamente en aguas del río Calle Calle (sector fuera del HRC).
- De acuerdo a la Norma 1333 para Agua de Riego y Uso Recreativo, el agua de 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.
- Según lo establecido por la Guía CONAMA 2004, las aguas de todos los sectores estudiados están mayoritariamente dentro de los rangos de clases 1 y 2 o aguas de muy buena y buena calidad, respectivamente.

4.1.2. CALIDAD DEL SEDIMENTO

4.1.2.1. Objetivos

Medir y analizar en el sedimento los siguientes parámetros:

• Textura, granulometría de la arena, contenido de materia orgánica y carbono orgánico total.
• pH y Redox (potencial óxido - reducción).
• Metales pesados (Hierro, Aluminio, Manganeso, Cobre, Zinc, Plomo, Cadmio y Arsénico) medida con ICP – OES (Espectrometría de Emisión Óptica con Inducción Acoplada de Plasma) y/o EAA de llama, según niveles de concentración. Mercurio mediante análisis directo.
• Ácidos grasos, ácidos resínicos, compuestos Órgano-Halogenados Adsorbibles (AOX) y Órgano-Halogenados Extraíbles (EOX).
• Dioxinas y Furanos y Equivalentes Tóxicos (EQTs) (17 congéneres incluidos en el Convenio de Estocolmo de 2001).

4.1.2.2. Material y métodos

El muestreo estacional destinado a análisis de calidad del sedimento para el Tercer año del Programa de Monitoreo Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC) (marzo 2017- abril 2018), se realizó en ocho de las 14 estaciones seleccionadas dentro del Programa de Diagnóstico Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HCR) (abril 2014 - marzo 2015). 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.

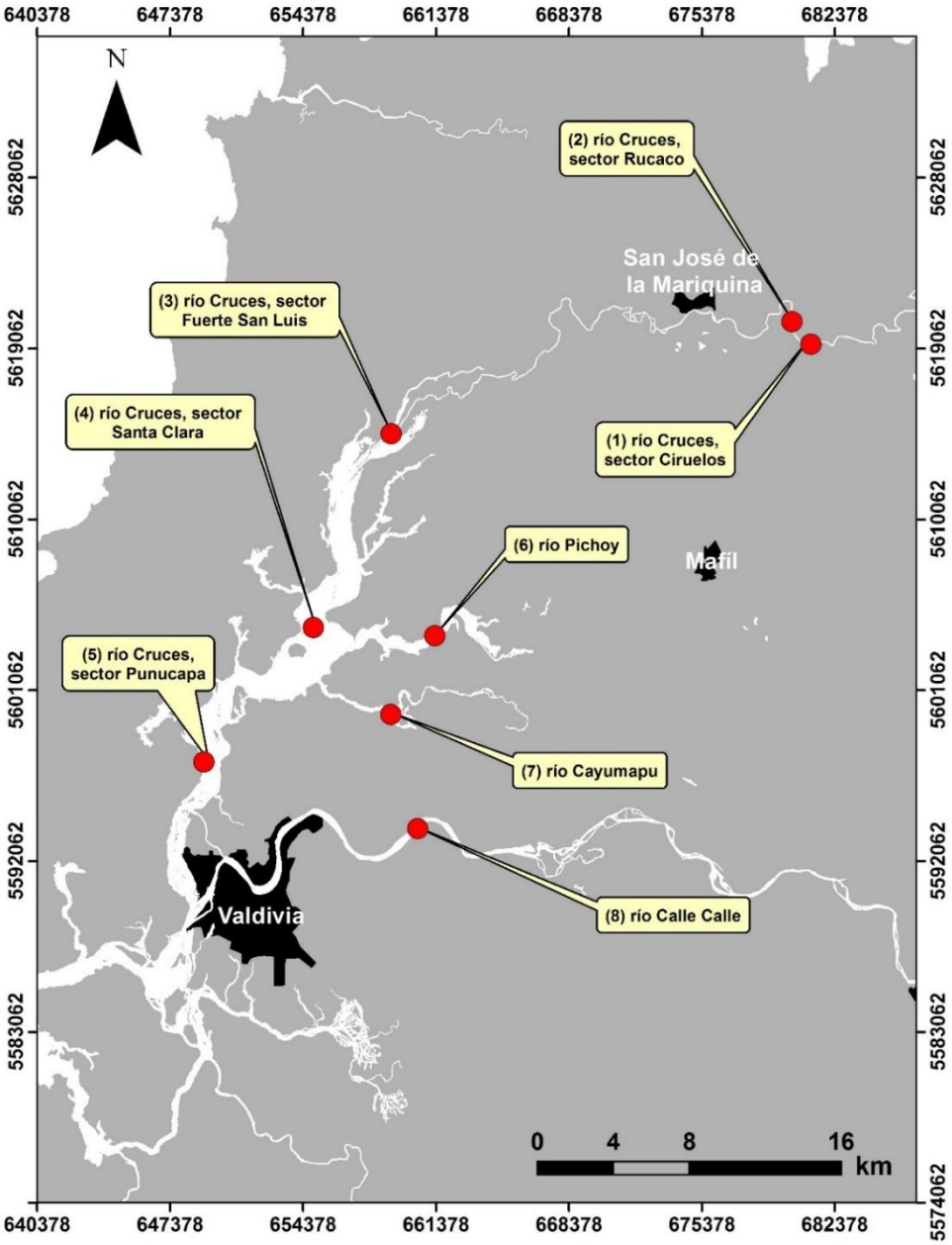


Figura 4.1.2.1. Ubicación de los sitios de muestreo (1 a 8) para análisis de calidad del sedimento en el área de estudio.

Tabla 4.1.2.1. Estaciones y fechas de muestreos de la calidad del sedimento durante abril 2017, 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)	12-abr-2017
2 (sector Rucaco)	12-abr-2017
Eje central del río Cruces (área estuarial)	
3 (sector Fuerte San Luis)	11-abr-2017
4 (sector Santa Clara)	11-abr-2017
5 (sector Punucapa)	11-abr-2017
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)	
6 (río Pichoy)	10-abr-2017
7 (río Cayumapu)	10-abr-2017
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)	
8 (río Calle Calle)	10-abr-2017

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

- Uso de draga PONAR que cubre un área del fondo de 33 x 33 cm. Uso de toma-testigo plástico de 10 cm de diámetro enterrado 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 mediante metodología de 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 2017.

Tabla 4.1.2.2. Comparación interanual 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**
	abril	**julio**	**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)
2 (sector Rucaco)	46,2 (12,8)	39,2 (5,1)	11,9 (11,2)	30,9 (16,4)	0,0 (0,0)
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)
4 (sector Santa Clara)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,2 (0,3)
5 (sector Punucapa)	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)
7 (río Cayumapu)	4,0 (5,7)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,7 (1,5)
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)

Tabla 4.1.2.3. Comparación interanual 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**
	abril	**julio**	**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)
2 (sector Rucaco)	6,3 (2,5)	13,8 (1,2)	17,5 (12,6)	2,3 (1,0)	45,0 (3,3)
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)
4 (sector Santa Clara)	1,2 (0,1)	11,1 (3,4)	7,3 (2,8)	0,9 (0,4)	3,5 (1,8)
5 (sector Punucapa)	40,6 (10,9)	21,8 (10,0)	77,0 (3,6)	28,0 (14,0)	51,5 (25,9)
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)
7 (río Cayumapu)	42,1 (6,0)	86,9 (8,2)	57,1 (24,1)	26,0 (7,8)	76,3 (5,9)
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)

Tabla 4.1.2.4. Comparación interanual 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**
	abril	**julio**	**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)
2 (sector Rucaco)	47,0 (10,2)	46,1 (7,2)	69,7 (20,7)	63,9 (14,2)	18,1 (13,8)
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)
4 (sector Santa Clara)	97,0 (0,2)	80,0 (1,7)	92,4 (2,8)	95,3 (3,1)	86,4 (2,9)
5 (sector Punucapa)	57,8 (10,5)	73,6 (12,4)	18,0 (2,8)	62,8 (13,2)	37,5 (28,5)
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)
7 (río Cayumapu)	17,6 (4,8)	6,4 (3,8)	18,4 (4,6)	19,5 (22,7)	2,3 (1,5)
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)

Tabla 4.1.2.5. Comparación interanual 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**
	abril	**julio**	**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)
2 (sector Rucaco)	536,0 (45, 6)	497,4 (7,5)	412,8 (141,1)	500,3 (97,7)	144,0 (17,7)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	177,0 (7,8)	220,2 (18,6)	548,7 (25,2)	220,3 (1,2)	228,0 (18,8)
4 (sector Santa Clara)	394,0 (10,6)	213,1 (3,1)	299,3 (8,4)	387,0 (2,0)	263,7 (4,1)
5 (sector Punucapa)	211,0 (31,9)	245,4 (1,1)	178,8 (29,9)	233,0 (7,4)	144,6 (28,6)
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)
7 (río Cayumapu)	165,0 (35,4)	94,4 (19,3)	140,4 (29,6)	123,3 (0,6)	SD
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)

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, Mes y Sector.

Tabla 4.1.2.6. Variabilidad interanual y estacional de los valores porcentuales de grava, fango, arena y tamaño de la arena en micrones 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
julio 2014	19,6	0,0	0,0	0,0	7,4	16,9	43,6	10,2
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

	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
julio 2014	72,0	72,2	52,4	88,7	402,3	226,2	223,2	193,5
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

Los resultados de los análisis de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey, no mostraron diferencias significativas (p>0,05) al comparar los porcentajes de grava, fango y arena además del tamaño de la partícula de arena en las comparaciones interanuales, así como tampoco en la mayoría de las comparaciones entre sectores (Tabla 4.1.2.7). Los porcentajes de grava en el sector límnico del HRC fueron significativamente más altos que en los otros sectores (p<0,05) del mismo (Tabla 4.1.2.7).

Tabla 4.1.2.7. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las fracciones granulométricas (Grava, Arena y Fango) en los sedimentos 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). El valor de P en negrilla es significativo (<0,05).

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Grava (*)(**)	Año (A)	3	0,670	0,223	0,880	0,465	
	Sector (S)	3	3,173	1,058	4,171	**0,016**	**L > EE = T**
	A × S	9	1,257	0,140	0,551	0,823	
	Error	24					
Fango	Año (A)	3	3301,217	1100,406	1,804	0,173	
	Sector (S)	3	3278,585	1092,862	1,792	0,176	
	A × S	9	2011,706	223,523	0,367	0,940	
	Error	24	14637,236	609,885			
Arena	Año (A)	3	3009,874	1003,291	0,820	0,496	
	Sector (S)	3	4525,056	1508,352	1,233	0,320	
	A × S	9	1579,289	175,477	0,143	0,998	
	Error	24	29362,341	1223,431			
Tamaño de la arena (*)(**)	Año (A)	3	0,095	0,032	0,849	0,481	
	Sector (S)	3	0,198	0,066	1,762	0,183	
	A × S	9	0,195	0,022	0,578	0,801	
	Error	23	0,860	0,037			

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 2017.

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**
	abril	**julio**	**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)
2 (sector Rucaco)	0,5 (0,2)	0,9 (0,9)	0,9 (1,2)	2,9 (1,3)	36,8 (11,1)
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)
4 (sector Santa Clara)	1,9 (0,3)	9,0 (1,7)	0,3 (0,0)	3,8 (2,6)	9,9 (3,1)
5 (sector Punucapa)	1,6 (0,4)	4,5 (2,4)	5,0 (3,7)	9,2 (4,5)	11,1 (5,3)
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)
7 (río Cayumapu)	36,2 (5,2)	6,6 (4,4)	24,5 (28,4)	54,6 (21,3)	20,7 (5,3)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)					
8 (río Calle Calle)	15,9 (0,3)	1,1 (0,3)	1,2 (1,3)	5,0 (3,9)	6,2 (2,5)

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**
	abril	**julio**	**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 (sector Rucaco)	4,0 (1,1)	10,5 (0,7)	2,0 (0,4)	1,7 (0,1)	29,8 (3,3)
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)
4 (sector Santa Clara)	2,6 (0,1)	6,8 (0,2)	4,9 (0,8)	3,1 (0,3)	3,6 (0,7)
5 (sector Punucapa)	8,3 (1,2)	4,3 (1,5)	13,8 (0,3)	7,0 (1,2)	9,4 (4,6)
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)
7 (río Cayumapu)	21,1 (2,7)	18,5 (0,2)	33,4 (19,7)	18,4 (0,4)	26,6 (5,3)
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)

	carbono orgánico total (% C)				
estaciones	**2014**		**2015**	**2016**	**2017**
	abril	**julio**	**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 (sector Rucaco)	6,4 (0,3)	3,1 (0,4)	0,3 (0,0)	0,9 (0,0)	7,8 (0,0)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	3,4 (0,2)	0,6 (0,0)	5,2 (0,3)	3,7 (0,1)	3,6 (0,2)
4 (sector Santa Clara)	0,4 (0,1)	0,7 (0,0)	0,6 (0,0)	0,2 (0,0)	0,7 (0,0)
5 (sector Punucapa)	1,2 (0,1)	1,3 (0,1)	2,0 (0,0)	0,3 (0,1)	1,6 (0,0)
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)
7 (río Cayumapu)	4,4 (0,5)	4,7 (0,3)	5,8 (0,1)	6,1 (0,4)	8,5 (0,3)
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)

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, Mes y Sector.

Tabla 4.1.2.10. Variabilidad interanual y estacional 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
julio 2014	1,0	10,9	4,0	1,1	6,7	6,9	10,5	7,4	1,8	0,9	2,5	1,9
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

Los resultados de los análisis de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey, no muestran diferencias significativas ($p>0,05$) al comparar las fracciones de agregados biogénicos, materia orgánica total y carbono orgánico total, tanto entre años como sectores (Tabla 4.1.2.11).

Tabla 4.1.2.11. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las fracciones de agregados biogénicos (A. biogénicos), materia orgánica total (MOT) y carbono orgánico total (COT) en los sedimentos del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014-2015-2016-2017) 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
A. biogénicos (*)	Año (A)	3	1,052	0,351	1,611	0,213
	Sector (S)	3	0,408	0,136	0,624	0,606
	A × S	9	0,605	0,067	0,309	0,965
	Error	24	5,225	0,218		
MOT (*)(**)	Año (A)	3	0,371	0,124	1,012	0,405
	Sector (S)	3	0,396	0,132	1,079	0,377
	A × S	9	0,447	0,050	0,406	0,920
	Error	24	2,936	0,122		
COT (*)(**)	Año (A)	3	0,146	0,049	0,492	0,691
	Sector (S)	3	0,343	0,114	1,155	0,348
	A × S	9	0,357	0,040	0,400	0,923
	Error	24	2,378	0,099		

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 2017.

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

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

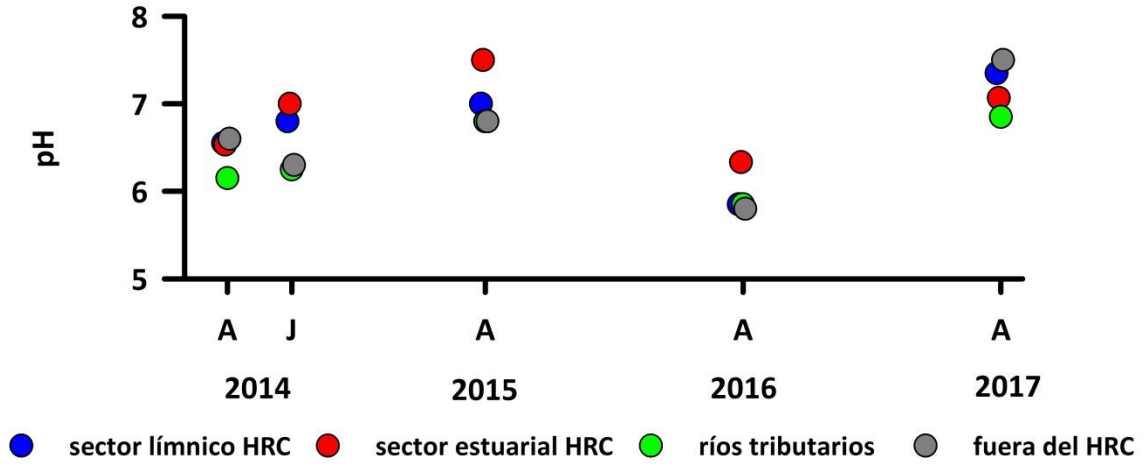


Figura 4.1.2.2. Comparación interanual de los valores de pH en los sedimentos del sector límnico y estuarial del HRC, ríos tributarios del mismo y sector fuera del HRC.

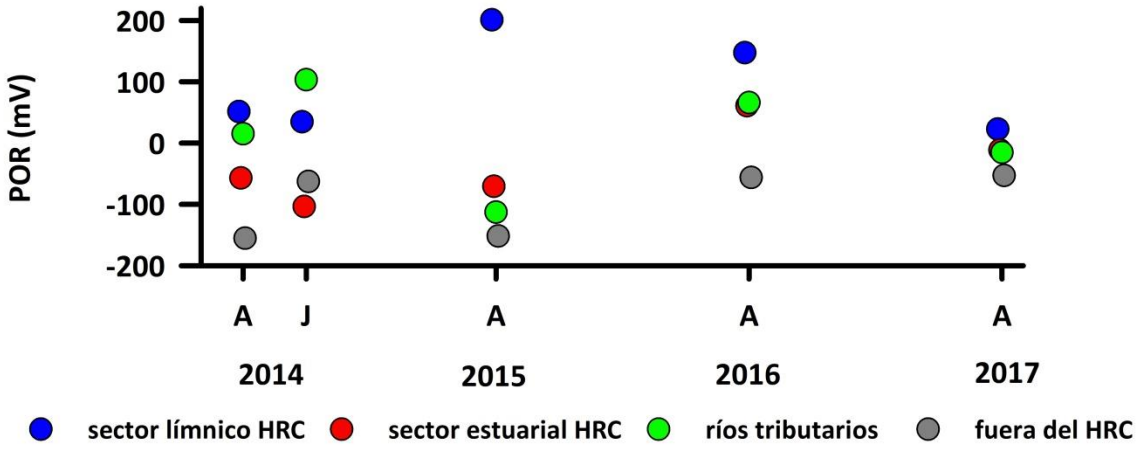


Figura 4.1.2.3. Comparación interanual de los valores de potencial óxido reducción (POR) en los sedimentos del sector límnico y estuarial del HRC, ríos tributarios del mismo y sector fuera del HRC.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.2.13 muestra la variabilidad interanual y estacional 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, Mes y Sector.

Tabla 4.1.2.13. Variabilidad interanual y estacional 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
julio 2014	6,8	7,0	6,3	6,3	34,9	-103,6	103,3	-62,7
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

Los valores de pH presentaron diferencias estadísticas entre años y sectores, con los valores significativamente ($p<0,05$) más altos en los años 2017 y 2015 (Tabla 4.1.2.14). A su vez, los valores de pH detectados en el eje estuarial y central del HRC fueron significativamente ($p<0,05$) más altos que los detectados en los ríos tributarios del mismo (Tabla 4.1.2.14).

Los valores del potencial de óxido reducción registrado no presentaron diferencias significativas ($p>0,05$) entre años, pero si entre sectores; los 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 en el sector estuarial y 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) 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)	3	6,231	2,077	33,073	**< 0,001**	**2016 < 2014 < 2015 =2 017**
	Sector (S)	3	1,366	0,455	7,250	0,001	**T < EE**
	A × S	9	0,796	0,088	1,408	0,242	
	Error	23	1,444	0,063			
POR (**)	Año (A)	3	33205,291	11068,43	1,283	0,304	
	Sector (S)	3	124263,843	41421,281	4,803	**0,01**	**F = EE < L**
	A × S	9	77864,881	8651,653	1,003	0,465	
	Error	23	198353,413	8624,061			

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 2017.

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**
	abril	**julio**	**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)
2 (sector Rucaco)	53.572 (24)	34.407 (30)	21.398 (157)	22.963 (1.137)	49.110 (869)
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)
4 (sector Santa Clara)	19.820 (33)	23.244 (90)	25.459 (132)	21.617 (985)	26.635 (175)
5 (sector Punucapa)	45.951 (162)	63.019 (238)	64.434 (1.503)	26.808 (1.319)	69.926 (654)
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)
7 (río Cayumapu)	54.906 (1.636)	61.560 (86)	54.652 (1.856)	60.495 (3.428)	58.692 (135)
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)

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**
	abril	**julio**	**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)
2 (sector Rucaco)	58.252 (1.442)	32.807 (202)	21.389 (440)	36.667 (843)	44.408 (284)
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)
4 (sector Santa Clara)	23.202 (247)	23.973 (323)	40.491 (398)	37.254 (5.127)	23.003 (1.368)
5 (sector Punucapa)	63.232 (700)	68.053 (612)	80.645 (5.458)	34.484 (862)	68.445 (2.013)
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)
7 (río Cayumapu)	70.048 (1.244)	88.420 (3.149)	49.593 (3.560)	65.412 (1.568)	65.603 (4.372)
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)

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**
	abril	**julio**	**Abril**	**abril**	**abril**
Eje central del río Cruces (área límnica)					
1 (sector Ciruelos)	215 (13)	358 (3)	225 (1)	251 (10)	151 (14)
2 (sector Rucaco)	1.902 (21)	579 (5)	362 (10)	370 (14)	1.734 (10)
Eje central del río Cruces (área estuarial)					
3 (sector Fuerte San Luis)	1.230 (92)	838 (25)	851 (15)	914 (36)	799 (27)
4 (sector Santa Clara)	453 (11)	443 (17)	541 (2)	539 (17)	503 (2)
5 (sector Punucapa)	744 (8)	1.100 (4)	1.057 (5)	497 (15)	567 (13)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)					
6 (río Pichoy)	519 (46)	554 (12)	486 (0)	343 (14)	673 (6)
7 (río Cayumapu)	1.080 (37)	1.091 (29)	1.271 (5)	1.004 (37)	551 (25)
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)

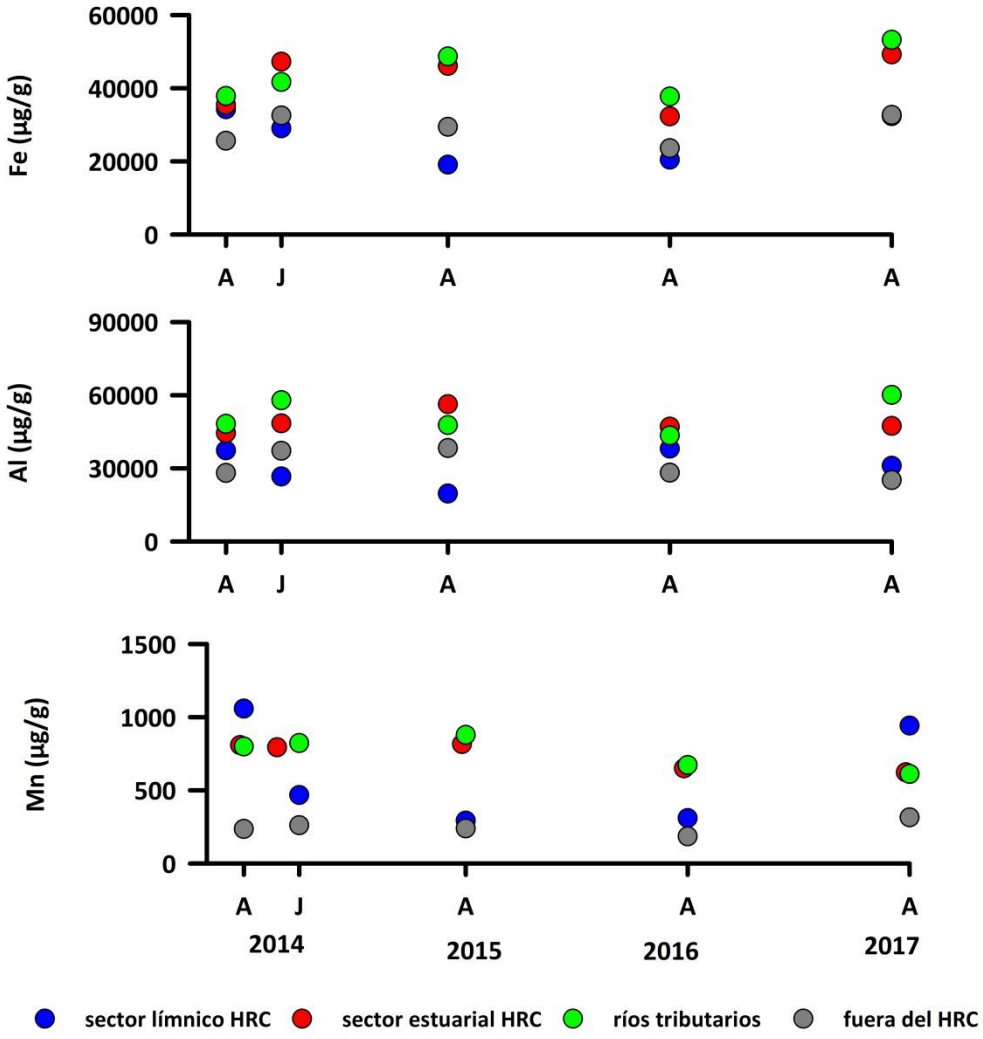


Figura 4.1.2.4. Comparación interanual de la concentración de Hierro, Aluminio y Manganeso en los sedimentos del sector límnico y estuarial del HRC, ríos tributarios del mismo y sector fuera del HRC.

Análisis estadísticos

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

Tabla 4.1.2.18. Variabilidad interanual (entre los años 2014 - 2017) de las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso 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.

	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
julio 2014	29.009	47.271	41.723	32.558	26.629	48.466	57.917	37.197	469	794	823	261
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

Las concentraciones de Hierro y Aluminio no presentaron diferencias significativas ($p>0,05$) entre años y sectores, a la vez que las de Manganeso fueron significativamente ($p<0,05$) más altas en el sector estuarial y ríos tributarios del HRC que fuera de este (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) 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)	3	0,106	0,035	0,741	0,538	
	Sector (S)	3	0,360	0,120	2,522	0,082	
	A × S	9	0,080	0,009	0,186	0,994	
	Error	24	1,142	0,048			
Al (*)	Año (A)	3	0,000	0,000	0,002	1,000	
	Sector (S)	3	0,380	0,127	2,901	0,056	
	A × S	9	0,166	0,018	0,421	0,911	
	Error	24	1,048	0,044			
Mn (*)(**)	Año (A)	3	0,095	0,032	0,457	0,715	
	Sector (S)	3	0,954	0,318	4,590	**0,011**	**F < EE = T**
	A × S	9	0,145	0,016	0,232	0,986	
	Error	24	1,662	0,069			

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.

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 2017.

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**
	abril	**julio**	**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)
2 (sector Rucaco)	53,0 (1,7)	33,8 (1,3)	16,4 (0,7)	18,5 (2,0)	38,8 (0,2)
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)
4 (sector Santa Clara)	11,5 (0,2)	14,8 (0,1)	16,9 (0,3)	13,5 (1,2)	16,2 (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)
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)
7 (río Cayumapu)	46,5 (0,3)	48,8 (0,1)	47,9 (0,1)	46,3 (0,8)	53,4 (0,6)
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)

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**
	abril	**julio**	**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)
2 (sector Rucaco)	112,4 (8,1)	68,8 (0,8)	36,2 (0,4)	39,7 (2,3)	75,8 (1,8)
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)
4 (sector Santa Clara)	34,8 (0,3)	34,2 (0,2)	42,0 (0,1)	33,7 (0,9)	37,3 (1,9)
5 (sector Punucapa)	56,3 (0,8)	64,5 (1,3)	66,3 (1,8)	31,5 (0,1)	59,5 (2,7)
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)
7 (río Cayumapu)	91,4 (0,8)	89,7 (0,2)	88,9 (0,1)	83,1 (2,5)	108,9 (1,2)
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)

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**
	abril	**julio**	**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)
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)	*

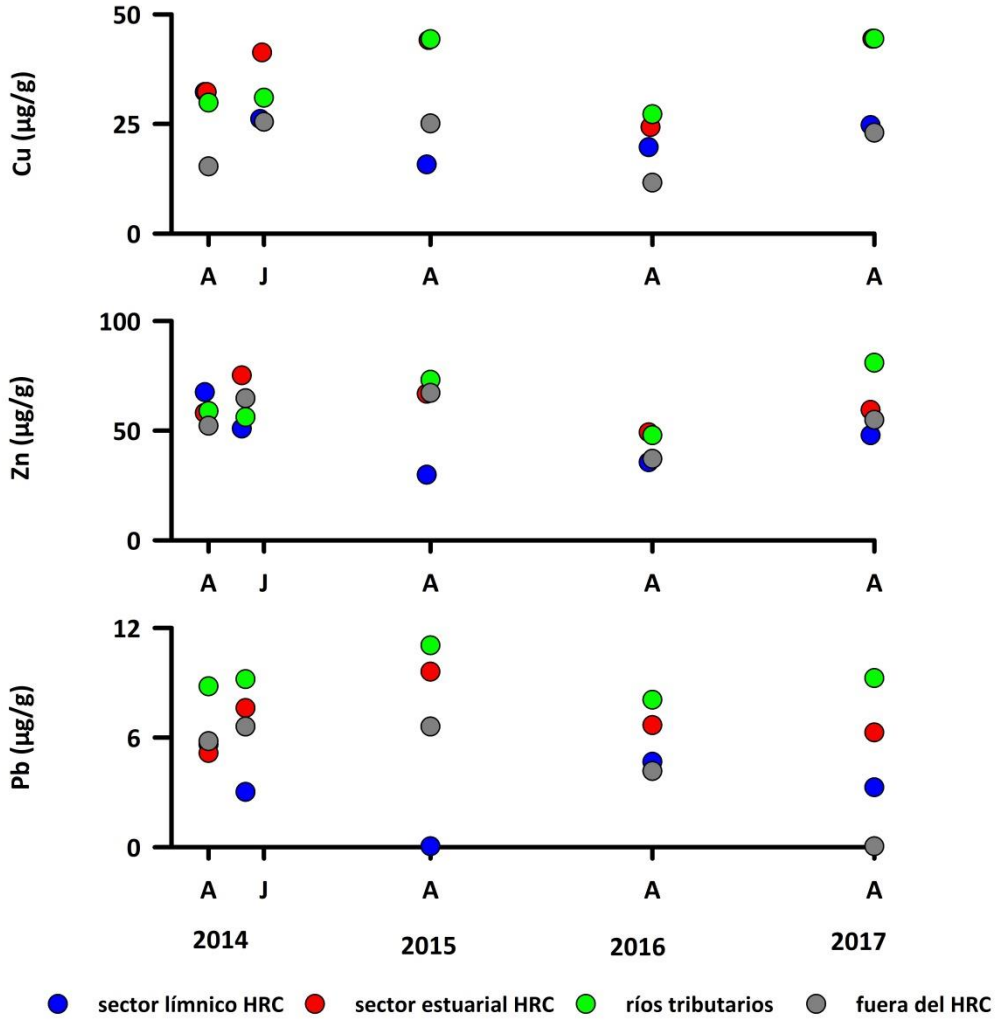


Figura 4.1.2.5. Comparación interanual de la concentración de Cobre, Zinc y Plomo en los sedimentos del sector límnico y estuarial del HRC, ríos tributarios del mismo y sector fuera del HRC.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.1.2. 23 muestra la variabilidad interanual y estacional 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, Mes y Sector.

Tabla 4.1.2.23. Variabilidad interanual (2014-2017) 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
julio 2014	26,2	41,3	31,0	25,5	50,9	75,2	56,2	64,7	3,0	7,6	9,2	6,6
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

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 y Zinc entre años y sectores (Tabla 4.1.2.24). Las concentraciones de Plomo de los sedimentos de los ríos tributarios fueron significativamente ($p<0,05$) más altas que los del 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) 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)	3	730,640	243,547	0,681	0,572	
	Sector (S)	3	2077,858	692,619	1,937	0,151	
	A × S	9	759,127	84,347	0,236	0,985	
	Error	24	8583,757	357,657			
Zn	Año (A)	3	1749,188	583,063	0,546	0,655	
	Sector (S)	3	2517,317	839,106	0,786	0,513	
	A × S	9	2205,608	245,068	0,23	0,987	
	Error	24	25614,773	1067,282			
Pb	Año (A)	3	19,099	6,366	0,308	0,819	
	Sector (S)	3	212,839	70,946	3,433	**0,033**	**L < T**
	A × S	9	81,695	9,077	0,439	0,900	
	Error	24	496,002	20,667			

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

.

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 2017. Hasta ahora 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**
	abril	**julio**	**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**
	abril	**julio**	**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)
2 (sector Rucaco)	11,4 (0,1)	4,5 (0,3)	3,6 (0,0)	3,2 (0,0)	13,6 (0,7)
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)
4 (sector Santa Clara)	4,4 (0,2)	4,8 (0,1)	7,2 (1,1)	2,7 (0,1)	6,1 (0,6)
5 (sector Punucapa)	10,9 (0,9)	15,2 (0,0)	14,6 (0,4)	5,9 (0,1)	16,7 (0,0)
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)
7 (río Cayumapu)	9,1 (0,2)	10,2 (0,2)	11,2 (0,2)	1,1 (0,2)	11,4 (0,4)
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)

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**
	abril	**julio**	**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)
2 (sector Rucaco)	0,08 (0,008)	0,01 (0,002)	0,04 (0,010)	0,012 (0,001)	0,064 (0,002)
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)
4 (sector Santa Clara)	0,008 (0,001)	0,08 (0,003)	*	0,009 (0,001)	0,021 (0,000)
5 (sector Punucapa)	0,04 (0,003)	0,04 (0,001)	*	0,015 (0,001)	0,065 (0,000)
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)
7 (río Cayumapu)	0,07 (0,001)	0,07 (0,000)	0,06 (0,004)	0,086 (0,001)	0,102 (0,0004)
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)

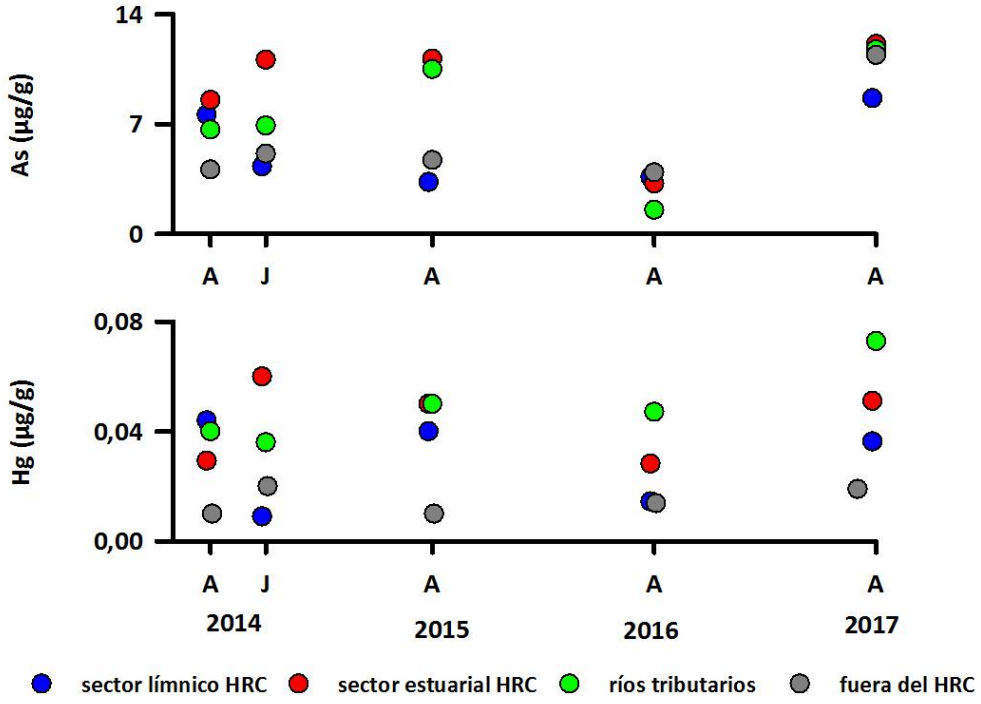


Figura 4.1.2.6. Comparación interanual de la concentración Arsénico y Mercurio en los sedimentos del sector límnico y estuarial del HRC, ríos tributarios del mismo y sector fuera del HRC.

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, Mes y Sector.

Tabla 4.1.2.28. Variabilidad interanual (entre los años 2014 y 2017) 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
julio 2014	4,3	11,1	6,9	5,1	0,009	0,060	0,036	0,020
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

Los resultados del ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey, evidenciaron diferencias significativas ($p<0,05$) entre años con respecto a las concentraciones de Arsénico: aquellas del año 2016 fueron más bajas que las registradas durante los años anteriores y durante el 2017 (Tabla 4.1.2.29). No se detectaron diferencias significativas ($p>0,05$) al comparar las concentraciones de Mercurio, ya sea entre años o sectores (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) 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)	3	0,786	0,262	7,419	**0,001**	2016 < 2014 = 2015 = 2017
	Sector (S)	3	0,177	0,059	1,674	0,199	
	A × S	9	0,370	0,041	1,165	0,360	
	Error	24	0,847	0,035			
Hg	Año (A)	3	0,002	0,001	0,642	0,596	
	Sector (S)	3	0,006	0,002	1,952	0,148	
	A × S	9	0,002	0,000	0,221	0,988	
	Error	24	0,023	0,001			

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.

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 2017.

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**
	abril	**julio**	**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)
2 (sector Rucaco)	533,0 (28,0)	11,0 (1,0)	6,1 (1,5)	1,5 (0,4)	1,0 (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)
4 (sector Santa Clara)	276,0 (36,0)	14,0 (3,0)	7,6 (0,1)	1,1 (0,0)	2,9 (0,2)
5 (sector Punucapa)	313,0 (56,0)	6,0 (1,0)	8,5 (1,6)	1,2 (0,3)	1,9 (0,2)
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)
7 (río Cayumapu)	347,0 (10,0)	16,0 (3,0)	64,5 (0,4)	26,0 (3,3)	22,3 (0,7)
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)

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**
	abril	**julio**	**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)	*	*	*	*	*

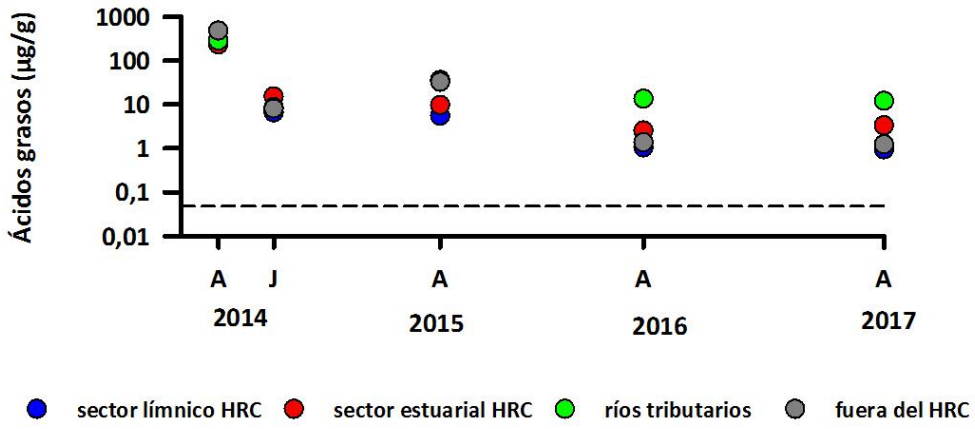


Figura 4.1.2.7. Comparación interanual de la concentración de Ácidos grasos en los sedimentos del sector límnico y estuarial del HRC, ríos tributarios del mismo y sector fuera del HRC. La línea punteada hace referencia al límite de detección del método utilizado para ácidos grasos.

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 2017.

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**
	abril	**julio**	**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 (0,28)
2 (sector Rucaco)	174,9 (16,0)	61,9 (0,6)	35,8 (6,1)	33,7 (6,8)	105,3 (7,02)
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 (3,17)
4 (sector Santa Clara)	33,1 (1,9)	24,2 (0,1)	35,7 (3,3)	25,1 (4,9)	22,6 (2,58)
5 (sector Punucapa)	25,1 (1,7)	24,4 (2,7)	60,4 (0,6)	26,0 (3,2)	27,6 (1,60)
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 (0,63)
7 (río Cayumapu)	67,0 (5,9)	59,2 (2,6)	121,5 (0,1)	87,7 (4,6)	88,6 (1,12)
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 (0,56)

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**
	abril	**julio**	**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)	*	*	*	*	*

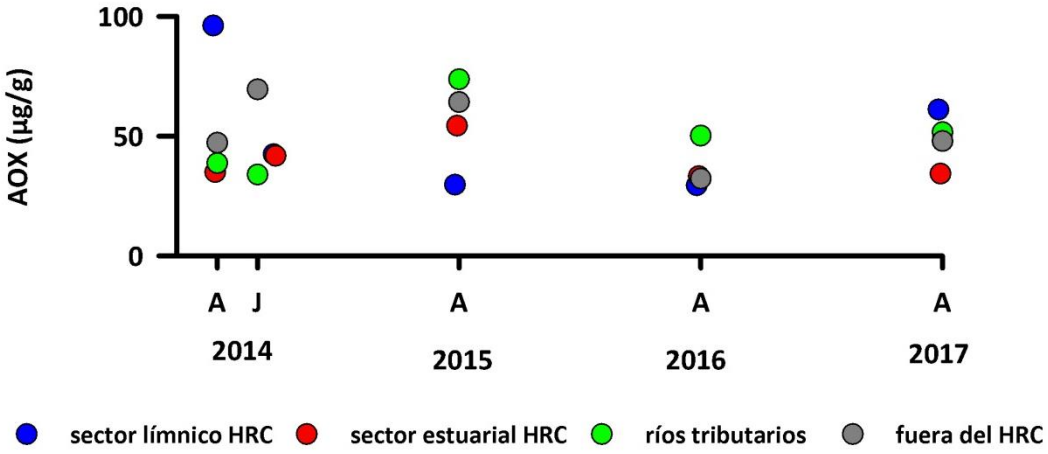


Figura 4.1.2.8. Comparación interanual de las concentraciones de AOX en los sedimentos del sector límnico y estuarial del HRC, ríos tributarios del mismo y sector fuera del HRC.

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, Mes y Sector.

Tabla 4.1.2.34. Variabilidad interanual (entre los años 2014 y 2017) 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
julio 2014	6,5	15,0	8,5	8,0	42,4	41,8	33,9	69,5
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

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 los años 2016 y 2017 (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) 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)	3	8,994	2,998	6,168	**0,003**	**2016 = 2017 > 2014**
	Sector (S)	3	0,951	0,317	0,652	0,589	
	A × S	9	0,702	0,078	0,16	0,996	
	Error	24	11,665	0,486			
AOX	Año (A)	3	1421,256	473,752	0,308	0,820	
	Sector (S)	3	1035,051	345,017	0,224	0,879	
	A × S	9	5428,895	603,211	0,392	0,927	
	Error	24	36943,796	1539,325			

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

Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos

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 2017, no se ha detectado la Dioxina TCDD 2,3,7,8 en los sedimentos de ninguna de las estaciones muestreadas. Sin embargo, durante ese muestreo si se detectó la Dioxina 1,2,3,7,8-PeCDD, pero solo en los sedimentos provenientes del sector San Luis en el río Cruces.

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)

	Dioxinas (ng/g)		
Estaciones	**2015**	**2016**	**2017**
	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)
2 (sector Rucaco)	0,004 (0,001)	0,008 (0,000)	0,001 (0,000)
Eje central del río Cruces (área estuarial)			
3 (sector Fuerte San Luis)	0,181 (0,009)	0,397 (0,049)	0,490 (0,035)
4 (sector Santa Clara)	0,004 (0,001)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)
5 (sector Punucapa)	0,010 (0,001)	0,002 (0,000)	0,0185 (0,000)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)			
6 (río Pichoy)	0,008 (0,000)	0,002 (0,000)	0,002 (0,000)
7 (río Cayumapu)	0,004 (0,000)	0,083 (0,004)	0,107 (0,010)
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)

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)

	Furanos (ng/g)		
Estaciones	**2015**	**2016**	**2017**
	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)
2 (sector Rucaco)	0,0009 (0,0001)	0,0006 (0,0001)	0,0009 (0,0000)
Eje central del río Cruces (área estuarial)			
3 (sector Fuerte San Luis)	0,0150 (0,0004)	0,0246 (0,0033)	0,0246 (0,0022)
4 (sector Santa Clara)	0,0004 (0,0000)	0,0001 (0,0001)	0,0000 (0,0000)
5 (sector Punucapa)	0,0003 (0,0000)	0,0002 (0,0002)	0,0007 (0,0001)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)			
6 (río Pichoy)	0,0009 (0,0000)	0,0002 (0,0003)	0,0000 (0,0000)
7 (río Cayumapu)	0,0018 (0,0020)	0,0066 (0,0003)	0,0023 (0,0007)
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)

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)

	EQTs (ng/g)		
estaciones	**2015**	**2016**	**2017**
	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)
2 (sector Rucaco)	0,00002 (0,00000)	0,00001 (0,00000)	0,00000 (0,00000)
Eje central del río Cruces (área estuarial)			
3 (sector Fuerte San Luis)	0,00047 (0,00005)	0,00096 (0,00005)	0,00081 (0,00002)
4 (sector Santa Clara)	0,00001 (0,00000)	0,00000 (0,00000)	0,00000 (0,00000)
5 (sector Punucapa)	0,00004 (0,00000)	0,00000 (0,00000)	0,00016 (0,00003)
Ríos tributarios del río Cruces (área estuarial)			
6 (río Pichoy)	0,00005 (0,00000)	0,00001 (0,00002)	0,00000 (0,00000)
7 (río Cayumapu)	0,00002 (0,00001)	0,00050 (0,00008)	0,00031 (0,00000)
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)

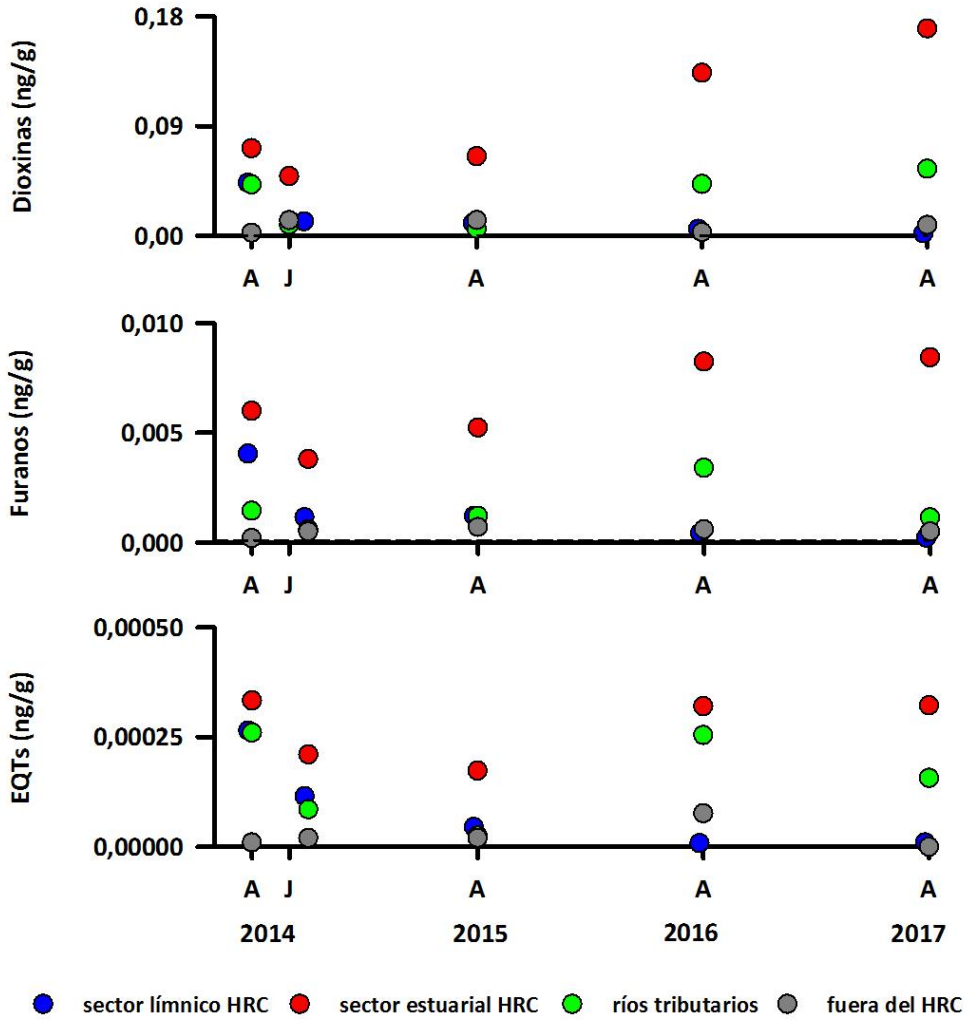


Figura 4.1.2.9. Comparación interanual de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos en los sedimentos del sector límnico y estuarial del HRC, ríos tributarios del mismo y sector fuera del HRC.

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, Mes y y Sector.

Tabla 4.1.2.39. Variabilidad interanual (entre los años 2014 y 2017) 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)				EQT (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
julio 2014	0,011	0,050	0,010	0,012	0,0011	0,0038	0,0006	0,0005	0,00011	0,00029	0,00009	0,00002
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

Durante el periodo de estudio, los sedimentos del sector estuarial del humedal del río Cruces, han presentado las concentraciones más altas de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos y una tendencia al aumento (Fig. 4.1.2.9). Por otra parte, los sedimentos del sector ubicado fuera del HRC (río calle Calle) han tenido las concentraciones más bajas de estos compuestos. No obstante lo anterior, 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 Dioxinas, Furanos y sus respectivos Equivalentes Tóxicos en los sedimentos provenientes de los sitios de estudio, ya sea entre años o sectores (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
Dioxinas (***)	Año (A)	3	0,006	0,002	0,141	0,935
	Sector (S)	3	0,071	0,024	1,744	0,185
	A × S	9	0,020	0,002	0,165	0,996
	Error	24	0,326	0,014		
Furanos (**)	Año (A)	3	0,000006	0,000002	0,035	0,991
	Sector (S)	3	0,000258	0,000086	1,649	0,204
	A × S	9	0,000045	0,000005	0,095	1,000
	Error	24	0,001250	0,000052		
EQT (**)	Año (A)	3	0,0000001	0,0000000	0,280	0,840
	Sector (S)	3	0,0000003	0,0000001	0,793	0,510
	A × S	9	0,0000002	0,0000000	0,209	0,990
	Error	24	0,0000029	0,0000001		

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.

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 (Acidos 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 2017.

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 seta dentro de los niveles que generarían efectos 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), 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 productos 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 2017 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 2017 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 2017 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 2017, 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 para las fracciones granulométricas y concentraciones de agregados biogénicos, materia orgánica y carbono orgánico total en el sedimento. Entre sectores, la grava fue la única fracción que presentó valores significativamente diferentes ($p<0.05$) a otros sectores: porcentajes más altos en el sector límnico del HRC.
- Los valores de pH detectados durante los años 2017 y 2015 fueron significativamente más altos que los encontrados durante el año 2016, seguido del año 2014 respectivamente. 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 en el sector estuarial del HRC y fuera de este (río Calle Calle).
- Las concentraciones de metales pesados, presentaron diferencias estadísticamente significativas entre años solo para el Arsénico (As) (concentraciones más bajas durante el año 2016 respecto a los años 2014, 2015 y 2017). Entre sectores, las

concentraciones de Manganeso (Mn) presentaron valores significativamente más bajos fuera del HRC; a su vez, las concentraciones de Plomo (Pb) fueron significativamente más bajas en el sector límnico.

- El Índice de Carga de Contaminación de metales indica que el contenido de estos en el área de estudio y durante el año 2017, 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. El modo apropiado de evaluar si ésta situación representa un cambio en el comportamiento de la abundancia de metales en los sedimentos o es una tendencia de más largo plazo, es mediante la evaluación de más datos en el tiempo.
- Las concentraciones de Ácidos grasos durante el año 2017 fueron muy similares a los registradas en el año 2016 y estadísticamente más bajas ($p<0,05$) a las obtenidos en el año 2014.
- No se detectaron Ácidos resínicos en ninguna de las estaciones y campañas realizadas entre los años 2014 a 2017.
- 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, Furanos y Equivalentes Tóxicos entre años o sectores de muestreo.
- 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 la campaña del

año 2017 se detectó por primera vez la presencia de la Dioxina 1,2,3,7,8 PeCDD en los sedimentos del eje estuarial del río Cruces (sector San Luis).

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. MACROFITAS ACUATICAS

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

La importancia de las macrófitas acuáticas para el ecosistema del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC), ha sido documentada en diversos estudios realizados a partir del año 2004, evidenciando entre otros, su aporte como alimento para las aves acuáticas herbívoras del humedal como los cisnes de cuello negro y las taguas. Por lo tanto, las macrófitas acuáticas son un elemento clave del funcionamiento ecosistémico del HRC, aportando no solo al flujo de energía y materia orgánica de la cadena trófica, sino también a la estructura del paisaje del mismo.

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 del año 20015 (enero) 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 el primer y segundo año 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 y 2016. 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 tercer año del Programa de Monitoreo, correspondiente a la temporada primaveral del año 2017. 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 dos primeros años del Programa de Monitoreo del mismo humedal (primaveras de los años 2015 y 2016). Así se modela y representa cartográficamente la distribución a lo largo del HRC de aquellas plantas acuáticas más relevantes.

De igual forma, se analizó la variación espacial en la reflectancia, parámetro utilizado como indicador de la transparencia en los distintos sectores del HRC. En ambos casos, las estimaciones basadas en la información de sensores remotos fueron complementadas con datos de transparencia del agua y concentración de sólidos suspendidos totales (SST). De esta forma, se estima el grado de variabilidad temporal observado en la cobertura de macrófitas y calidad de agua del HRC. De esta forma, se pretende aportar a la conservación y manejo del HRC, mediante el estudio de la variación temporal de descriptores espacialmente explícitos: distribución y cobertura de macrófitas acuáticas y transparencia del agua.

4.2.1.1.2. Objetivos

- Evaluar, mediante el uso de indicadores estimados mediante sensores remotos, 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 primaveral del año 2017.

- Comparar los resultados obtenidos durante este período de estudio con los resultantes del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (verano 2015) y del primer y segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del mismo humedal (períodos primaverales de los años 2015 y 2016).

Por indicador de calidad de agua, se entiende el análisis de la reflectancia de las imágenes asociadas a los colores primarios de la luz visible (azul, verde y rojo), así como de la imagen asociada al infrarrojo cercano.

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 a la metodología empleada durante el desarrollo del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (verano 2015) y durante el transcurso del primer año y segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del mismo humedal (primaveras de los años 2015 y 2016, respectivamente), 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 septiembre y diciembre del

año 2016. La información a analizar fue obtenida desde el 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 5 de febrero de 2018; las otras imágenes existentes en el archivo entre noviembre 2017 y febrero 2018, presentaron cobertura de nubes sobre el área del HRC. 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 (5 de febrero de 2018).

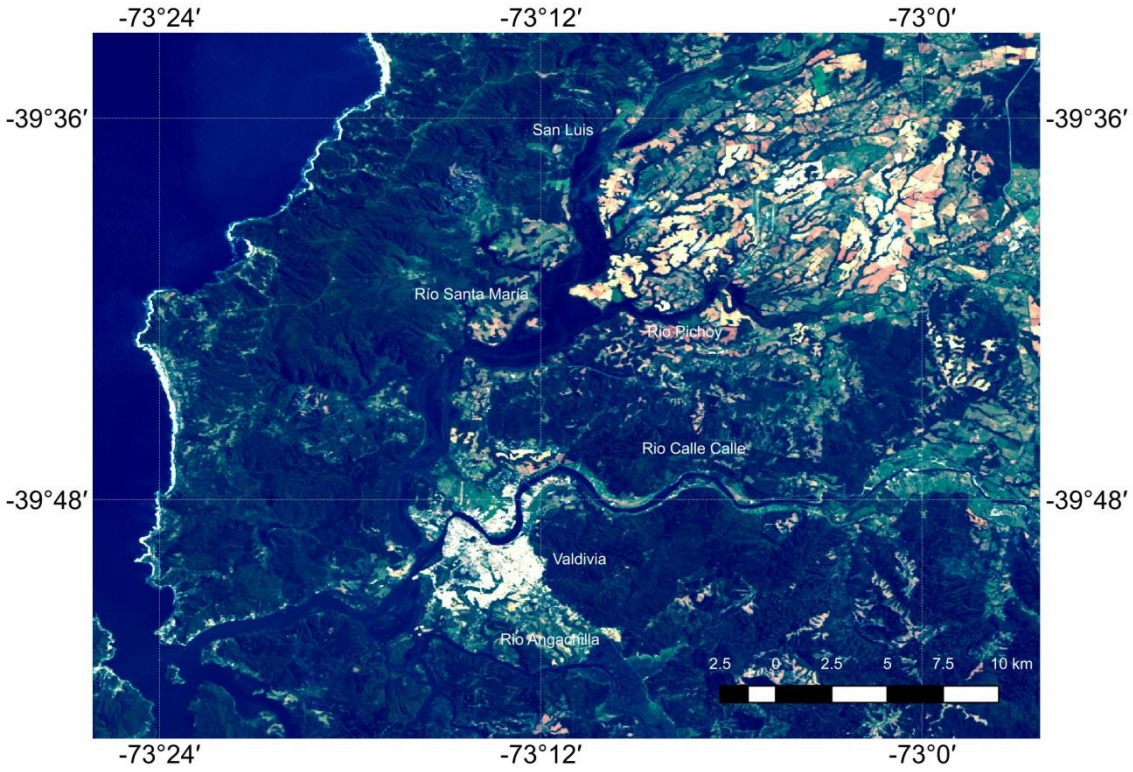


Figura 4.2.1.1.1. Área de estudio. Se ilustra una imagen de color verdadero, basada en la combinación de las bandas rojo, verde y azul (bandas 4, 3, 2 del sensor Landsat 8). La imagen corresponde al día 5 de febrero de 2018. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18 Sur.

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. A 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* (Lagos *et al.*, 2008; Hwan-Ahn *et al.*, 2004). 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. En el caso del sensor OLI (misión Landsat 8) estas bandas corresponden a las bandas 2 a 5.

Para estimar la calidad del agua 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 no se consideraron las bandas 9, 10 y 11. La primera está definida para identificar presencia de nubes 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, en el caso de la imagen pancromática, 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 considerado 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 plantas.

Se registraron datos georeferenciados de presencia de parches mono específicos de las siguientes especies: Luchecillo (*Egeria densa*), Huiro (*Potamogeton pusillus*), Huiro verde (*Potamogeton lucens*), Loto *(Nymphaea alba*), Totora (*Schoenoplectus californicus*) y Melilucul (*Ludwigia poeploides*). Cabe destacar que en esta campaña de terreno no se observaron parches mono específicos de Flecha de agua (*Sagittaria montevidensis*).

La información recolectada (véase Figs. 4.2.1.1.2 a 4.2.1.1.6) fue consolidada en planillas de cálculo Excel (Microsoft Office ©), mientras que las georeferenciaciones se consolidaron en un archivo Shape de Arcgis. Así, la información una vez recolectada y verificada fué 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.

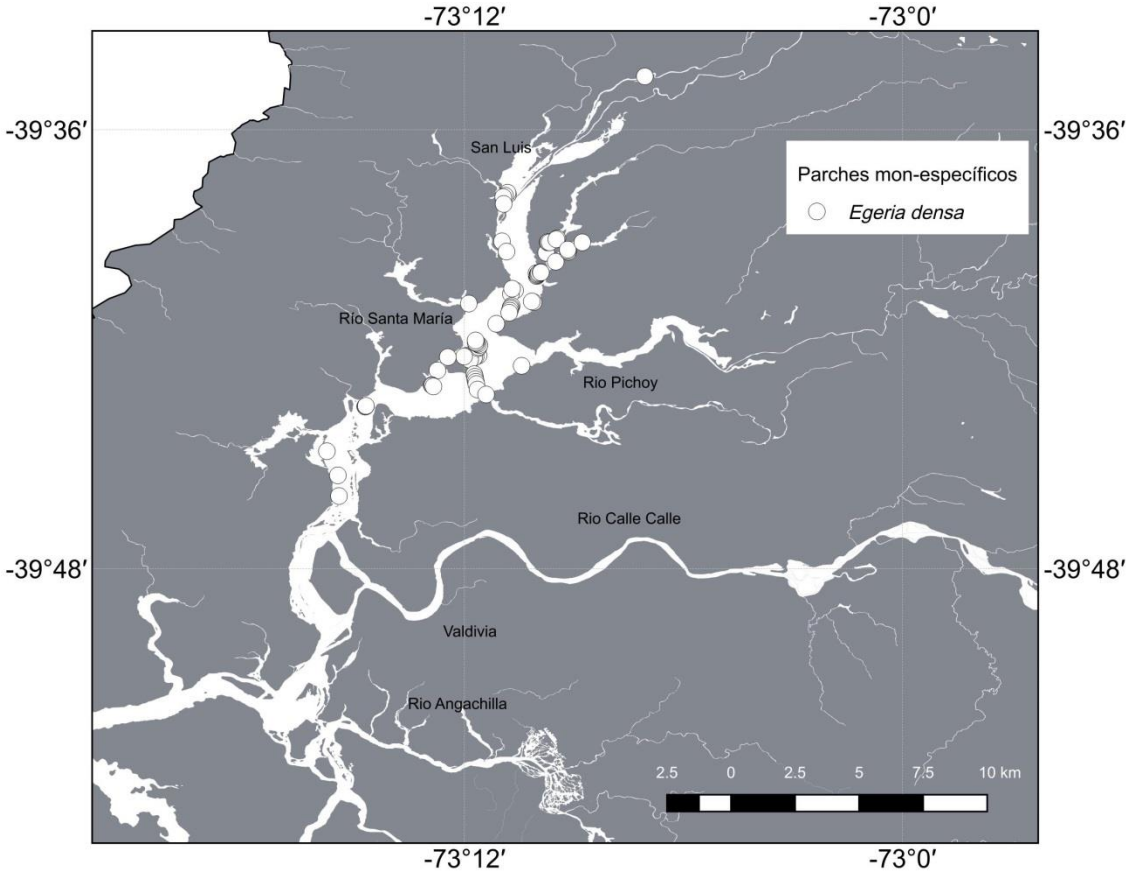


Figura 4.2.1.1.2. Puntos de muestro para la distribución de *Egeria densa* mediante georreferenciación de parches mono-específicos. Se ilustran aquellos puntos en los que se determinó la presencia de luchecillo (círculos blancos). La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales cursos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

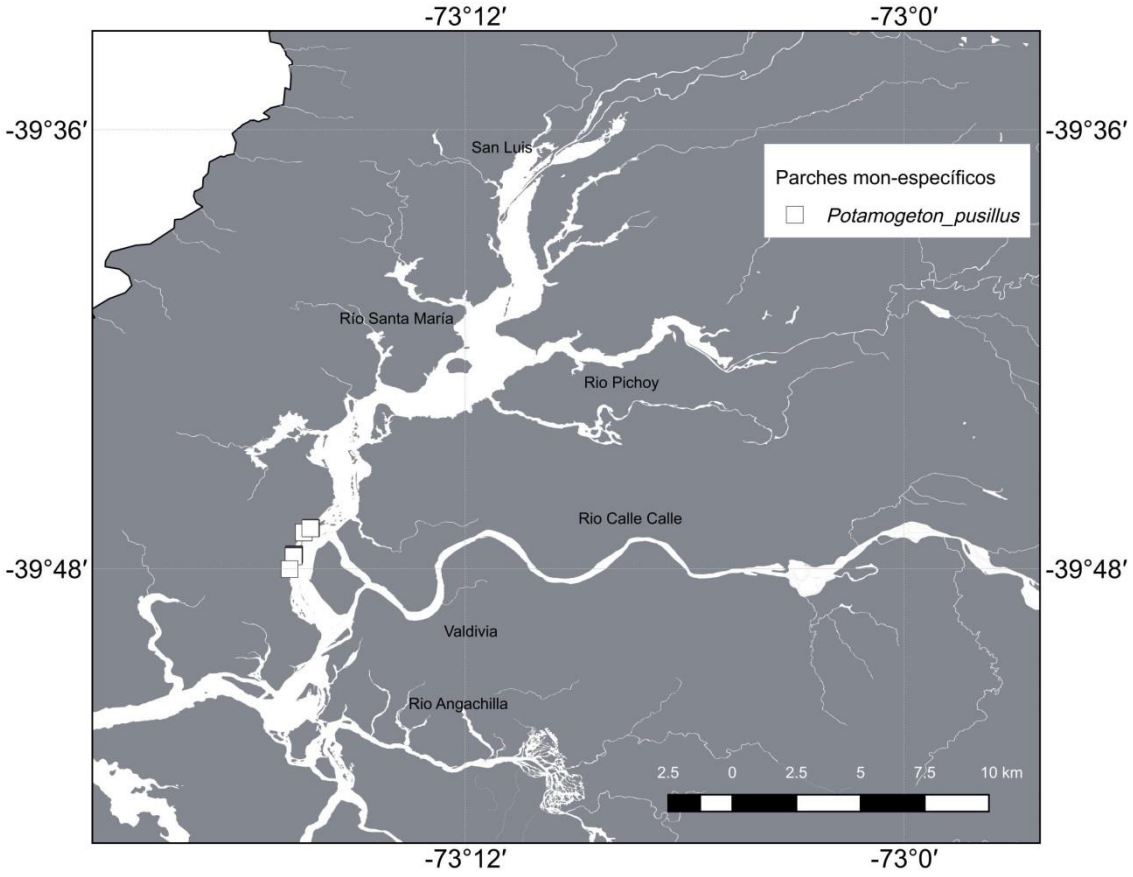


Figura 4.2.1.1.3. Puntos de muestro para la distribución de *Potamogeton pusillus* mediante georreferenciación de parches mono-específicos. Se ilustran aquellos puntos en los que se determinó la presencia de huiro (cuadrados blancos). La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales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

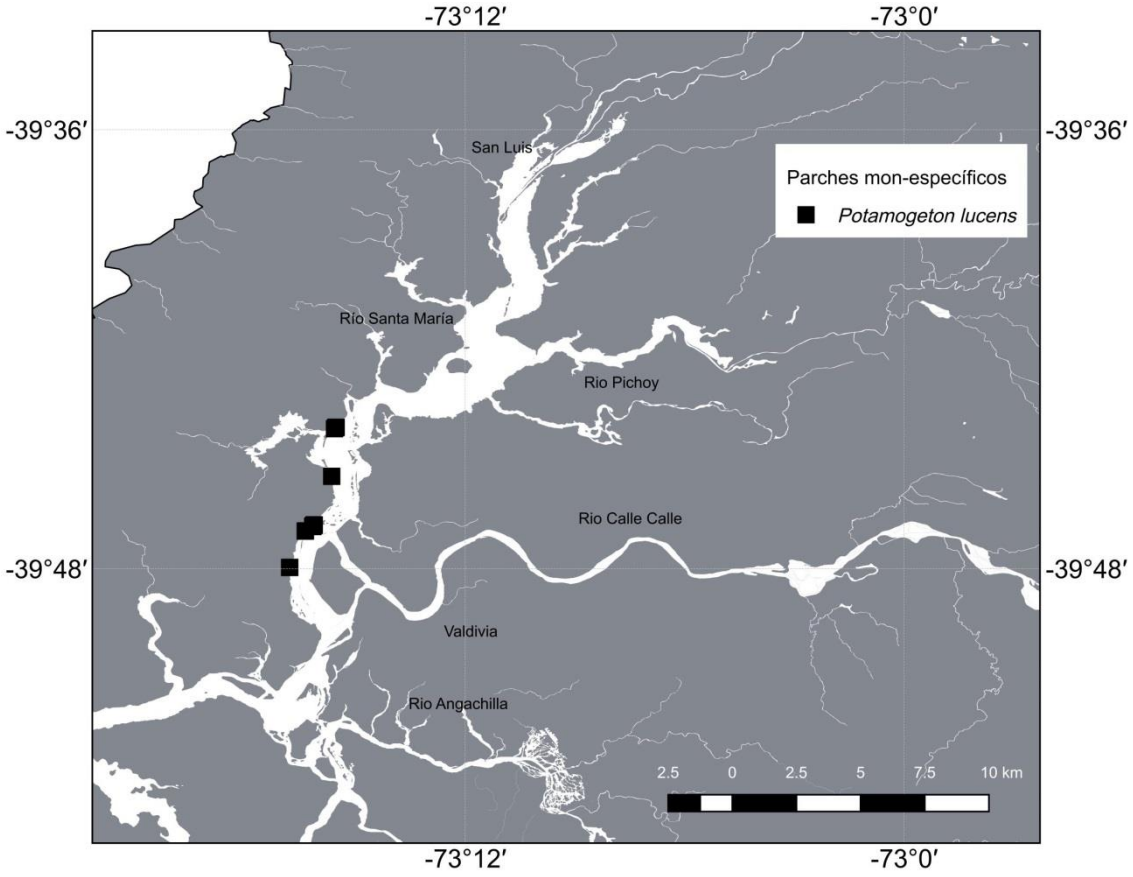


Figura 4.2.1.1.4. Puntos de muestro para la distribución de *Potamogeton lucens* mediante georreferenciación de parches mono-específicos. Se ilustran aquellos puntos en los que se determinó la presencia de huiro verde (cuadrados negros). La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales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

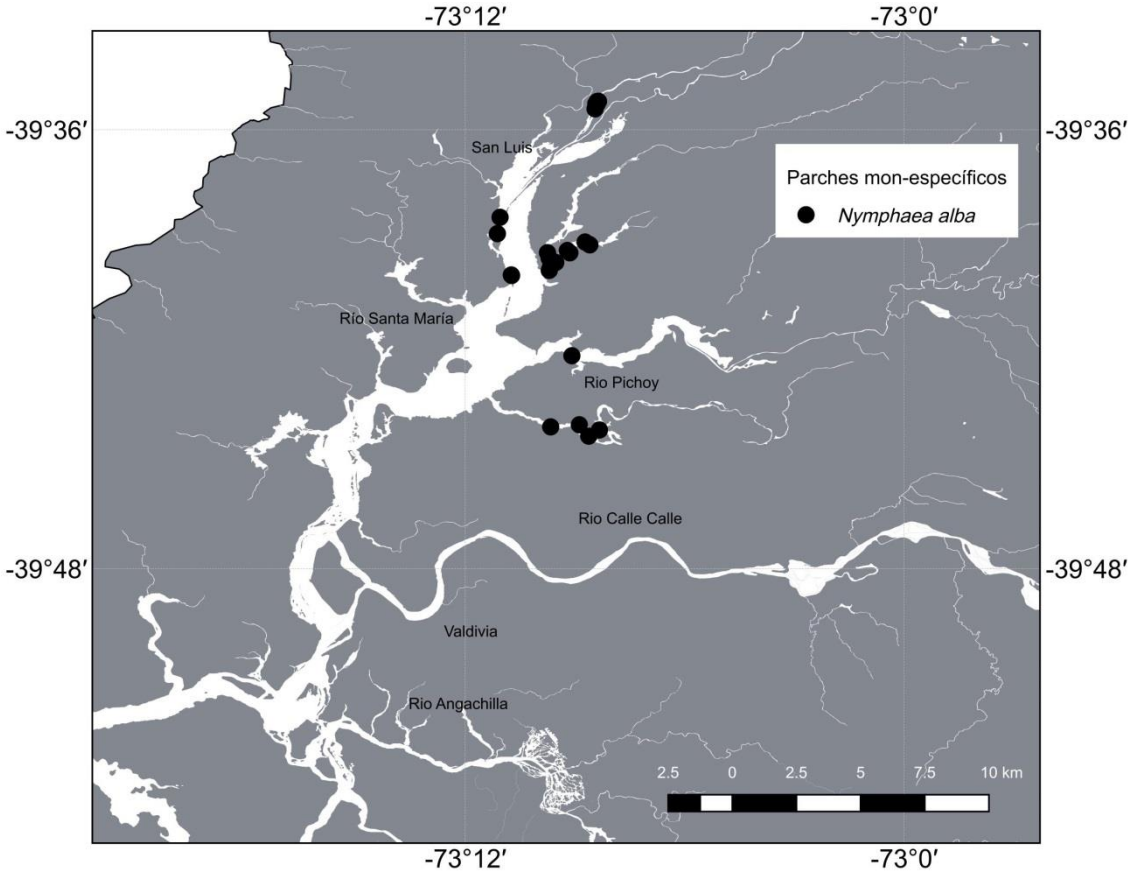


Figura 4.2.1.1.5. Puntos de muestro para la distribución de *Nymphaea alba* mediante georreferenciación de parches mono-específicos. Se ilustran aquellos puntos en los que se determinó la presencia de loto (círculos negros). La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales cursos de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

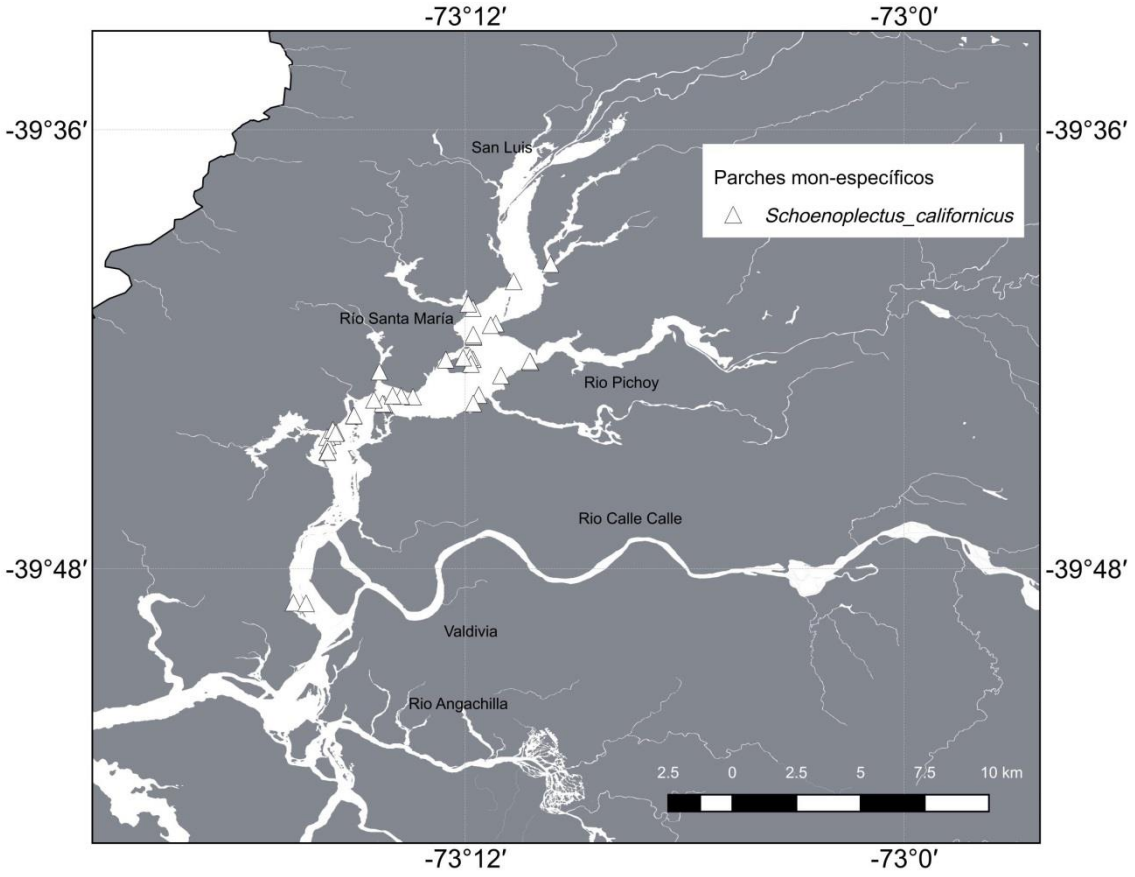


Figura 4.2.1.1.6. Puntos de muestro para la distribución de *Schoenoplectus californicus* mediante georreferenciación de parches mono-específicos. Se ilustran aquellos puntos en los que se determinó la presencia de totora (triangulos blancos). La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales 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

A fin de contar con estimaciones empíricas para calidad de agua, durante el período 11-13 noviembre 2017 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. 4.2.1.1.7). 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.

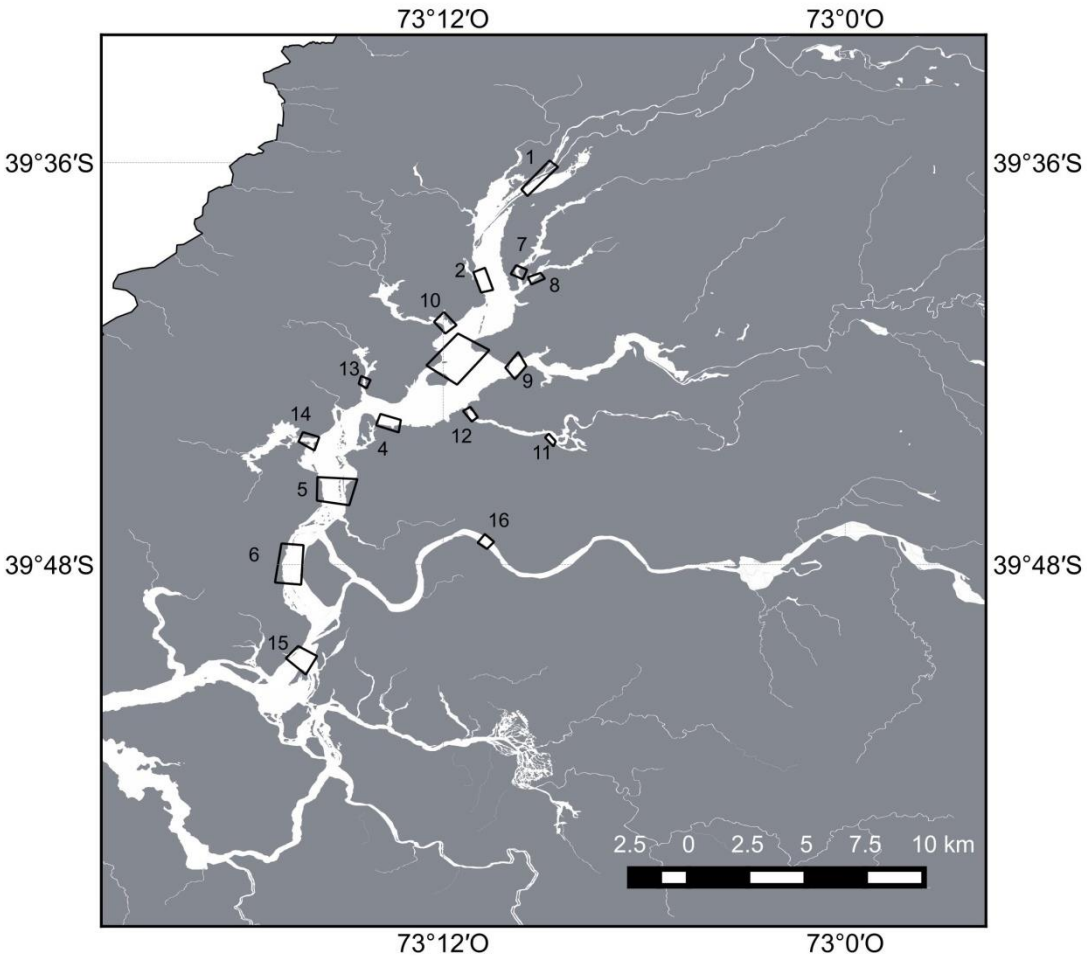


Figura 4.2.1.1.7. Sectores de estudio para la estimación de parámetros de calidad de agua. La imagen de fondo corresponde a la distribución de los principales cursos de agua en los sitios de estudio. Imagen proyectada en coordenadas UTM WSG 84, Huso 18 Sur. Los sectores de estudio corresponden a: 1. 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. río Santa María, 10. desembocadura río Pichoy, 11. río Cayumapu interior, 12. desembocadura río Cayumapu, 13. río Tambillo, 14. río San Ramón , 15. río Valdivia, sector Torobayo, 16. río Calle Calle. Los sectores en amarillo se ubican en el eje central de los ríos Cruces y Chorocamayo, los marcados en rojo corresponden a ríos tributarios del río Cruces, a la vez que los polígonos en azul y negro corresponden a sectores ubicados en los ríos Valdivia y Calle Calle, respectivamente.

Modelamiento de distribución de especies

A fin de generar estimaciones espacialmente explícitas de la distribución de las macrófitas acuáticas, se ajustaron modelos de distribución para cada especie (Franklin, 2009), utilizando 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, por lo que permite comparaciones temporales de la distribución espacial de las plantas de interés. Conforme a la metodología aplicada durante el PDHRC y el primer año del PMHR. Se seleccionó como algoritmo de modelamiento el ajuste mediante máxima entropía (MaxEnt). De acuerdo a la literatura especializada esta técnica de aprendizaje de máquina se caracteriza por ser una de las que presenta mejor desempeño frente a tamaños de muestra bajos de presencias (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 MaxEnto puede reducirse a un proceso 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 5 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 5 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 prueba (Phillips *et al.,* 2006; Phillips & Dudik, 2008). De esta forma, se pudo representar la distribución de cada especie, junto con una medida de la idoneidad del hábitat en cada pixel.

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 2018. 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 2017 a 2018 (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 del río Cruces 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 4.2.1.1.7. A fin de determinar diferencias en calidad de agua entre distintos años 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 cinco especies de interés a lo largo del humedal. En la Tabla 4.2.1.1.2 se detallan 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 de parches mono-específicos.

especie	**registros en parches mono-específicos**
Egeria densa	72
Potamogeton pusillus	7
Potamogeton lucens	79
Sagittaria montevidensis	0
Nymphaea alba	18
Schoenoplectus californicus	38
Ludwigia poeploides	14

Cabe señalar que las restricciones al uso de sobrevuelos con UAV durante la presente campaña dan cuenta del menor tamaño muestral en comparación con años

anteriores. En este contexto, y al igual que en años anteriores, cabe destacar sin embargo, que la baja cobertura y distribución del Huiro verde, se evidencia en la baja incidencia a lo largo del HRC. Ello, producto de que efectivamente es una especie con menor distribución y abundancia en el humedal, lo que resalta la asimetría en la distribución y cobertura de las dos especies de Huiro presentes en el HRC.

Registros Indicadores de calidad de agua

En la Figura 4.2.1.1.8 se ilustra el patrón espacial observado para la transparencia del agua superficial en el área de estudio, se caracterizó por no presentar patrones de variación espacial similares en los años estudiados. Sin embargo, se observaron diferencias significativas tanto entre los años (ANDEVA de dos vías, g.l. 3, 254; F= 91,89; p<0,0001) como entre los sitios (ANDEVA de dos vías, g.l. 15, 254; F= 199,35; p<0,0001). De igual forma, el término de interacción entre estos dos factores también presentó diferencias significativas (ANDEVA de dos vías, g.l. 45, 254; F= 24,07; p<0,0001).

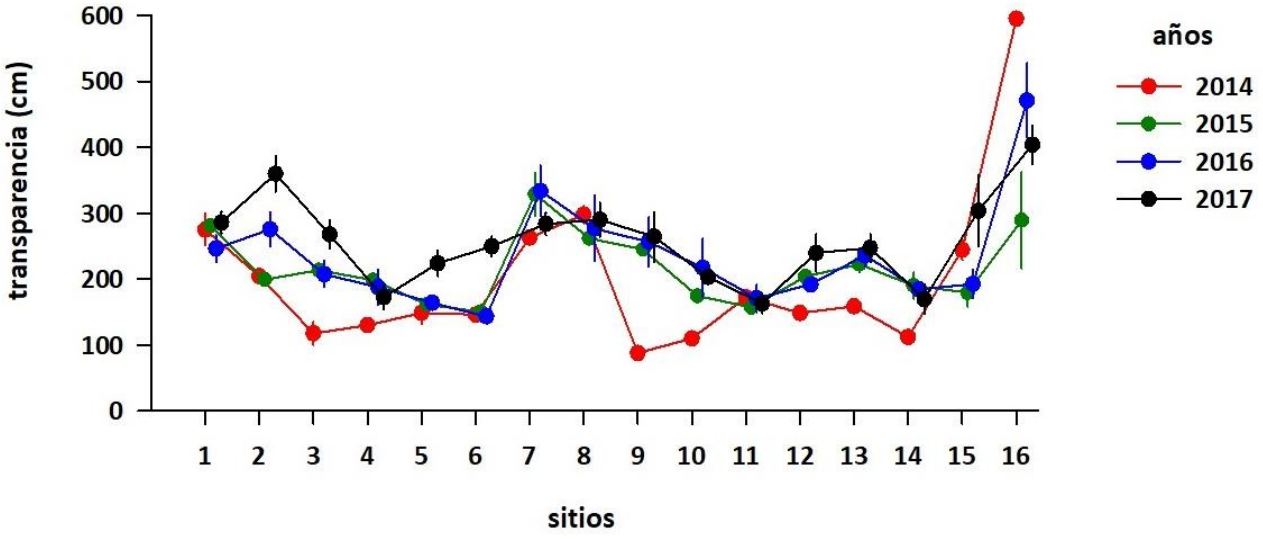


Figura 4.2.1.1.8. Variación espacial en la transparencia (*i.e.,* profundidad de Disco Secchi) del agua superficial en el área de estudio. Se ilustra el valor promedio para cada sitio y año, junto con una desviación estándar. Los sectores de estudio corresponden a: 1. río Cruces, sector San Luis, 2. 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. río Santa María, 10. desembocadura río Pichoy, , 11. río Cayumapu interior, 12. desembocadura río Cayumapu, 13. río Tambillo, 14. río San Ramón , 15. río Valdivia, sector Torobayo, 16. río Calle Calle.

El exámen de las comparaciones pareadas hechas mediante una prueba de Tukey, indicó diferencias significativas entre todos los años estudiados, con valores de probabilidad ajustados inferiores a 0,0001.

Al examinar la variación espacial y temporal en la cantidad de Sólidos Suspendidos Totales (SST), se observan en general valores más bajos en el año 2015 y 2016 con respecto a los años 2014 y 2017 (Fig. 4.2.1.1.9). De esta forma, se observaron diferencias significativas tanto entre los años (ANDEVA de dos vías, g.l. 3, 256; F= 282,55; p<0,0001) como entre los sitios (ANDEVA de dos vías, g.l. 15, 256; F= 85,64; p<0,0001).

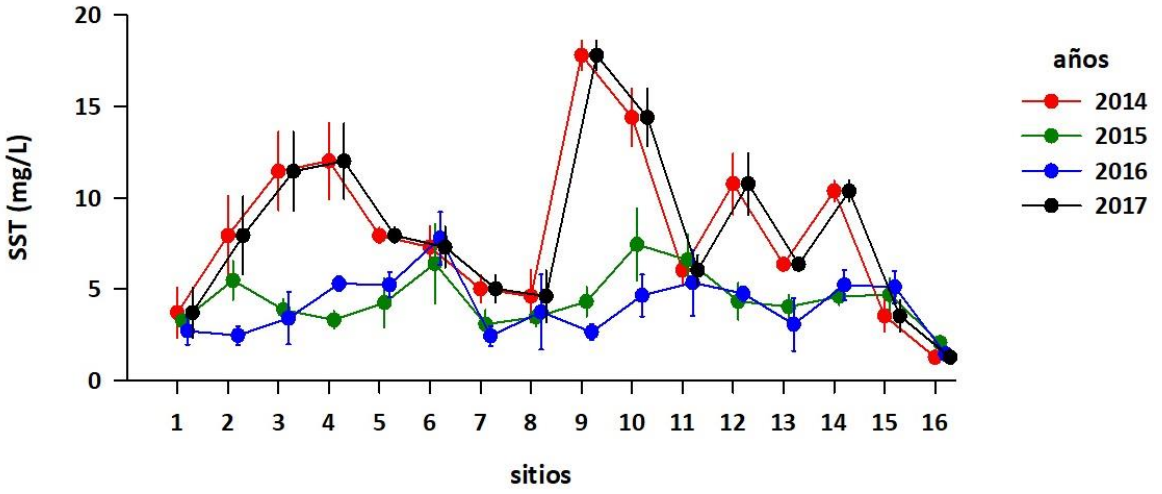


Figura 4.2.1.1.9. Variación espacial en la concentración de Sólidos Suspendidos Totales (SST) del agua superficial en el área de estudio. Se ilustra el valor promedio para cada sitio y año, junto con un error estádnar. Los sectores de estudio corresponden a: 1. río Cruces, sector San Luis, 2. río Cruces, 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. río Santa María, 10. desembocadura río Pichoy, , 11. río Cayumapu interior, 12. desembocadura río Cayumapu, 13. río Tambillo, 14. río San Ramón , 15. río Valdivia, sector Torobayo, 16. río Calle Calle

De igual forma, el término de interacción entre estos dos factores también presentó diferencias significativas (ANDEVA de dos vías, g.l. 45, 256; F= 21,59; p<0,0001).

Modelamiento de distribución de especies

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 acuerdo a la metodología empleada en estudios previos, 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 todos los casos, se observaron valores de AUC altos, superiores a 0.9, indicando un muy buen ajuste a la información disponible.

Si bien todos los modelos ajustados presentan un alto grado de ajuste -con valores de AUC de entrenamiento superiores a 0.9, se observó que los valores de AUC en los sub conjuntos de validación fueron levemente menores, tomando en general valores entre 0.89 y 0.99. Ello otorga un importante grado de confianza en 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, los valores de AUC se vieron acompañados de curvas ROC muy homogéneas a través de las 5 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 la Totora, *Schoenoplectus californianus* y en el Loto, *Nymphaea alba* (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	58	0,949	14	0,935	0,136
Potamogeton pusillus	6	0,947	2	0,937	0,714
Potamogeton lucens	63	0,956	16	0,946	0.350
Sagittaria montevidensis	0	-	0	-	-
Nymphaea alba	14	0,960	4	0,935	0,299
Schoenoplectus californicus	30	0,956	8	0,942	0,243
Ludwigia poeploides	11	0,961	3	0,947	0,435

Los resultados obtenidos en las curvas ROC promedio se ilustran través de las Figuras 4.2.1.1.10 a 4.2.1.1.11. En ellas se puede apreciar el alto rango de valores de AUC observados, que 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.

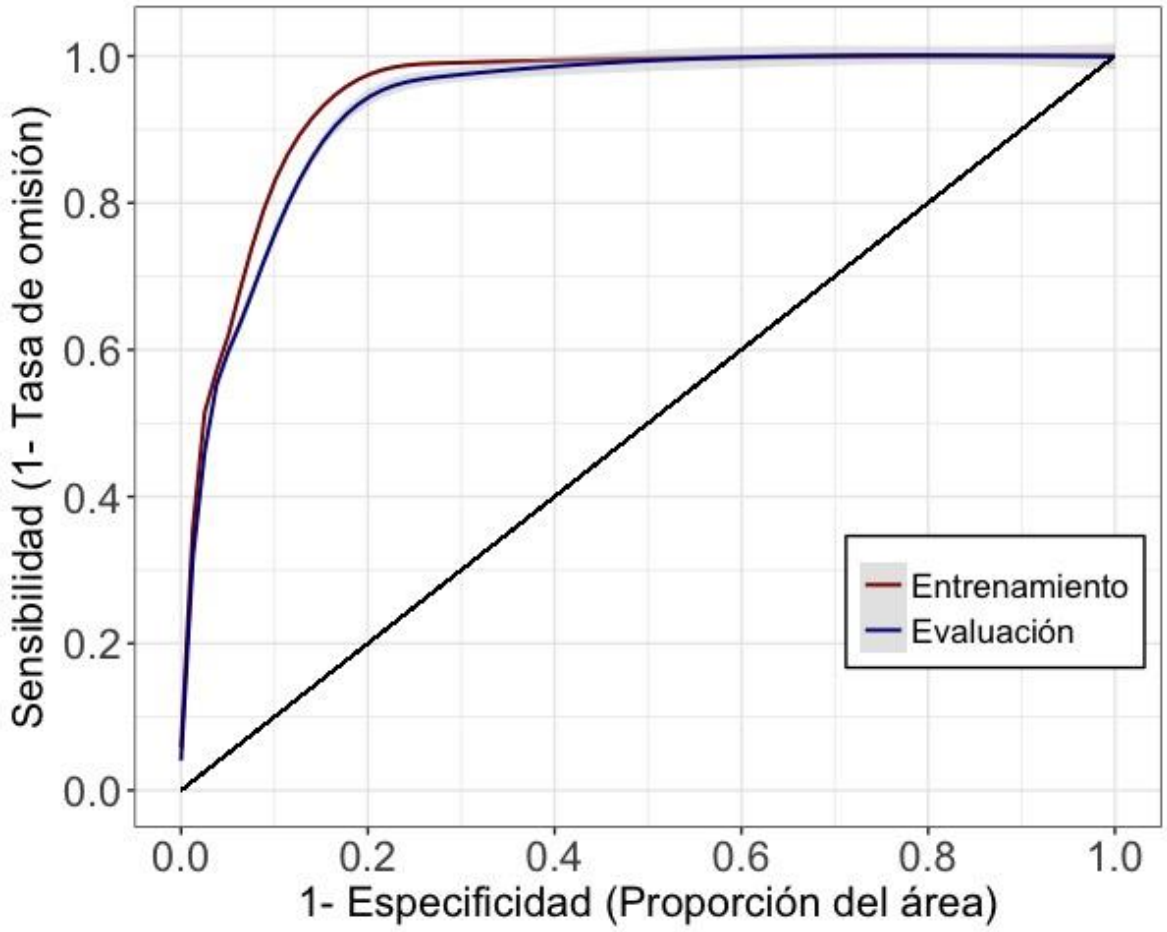


Figura 4.2.1.1.10. Curva característica Operador-Receptor (ROC) para el modelamiento de distribución de *Egeria densa* (Luchecillo). La Figura ilustra la curva ROC promedio en una línea roja para el subconjunto de sitios de entrenamiento, promediada a través de las 5 validaciones cruzadas, y la curva 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)

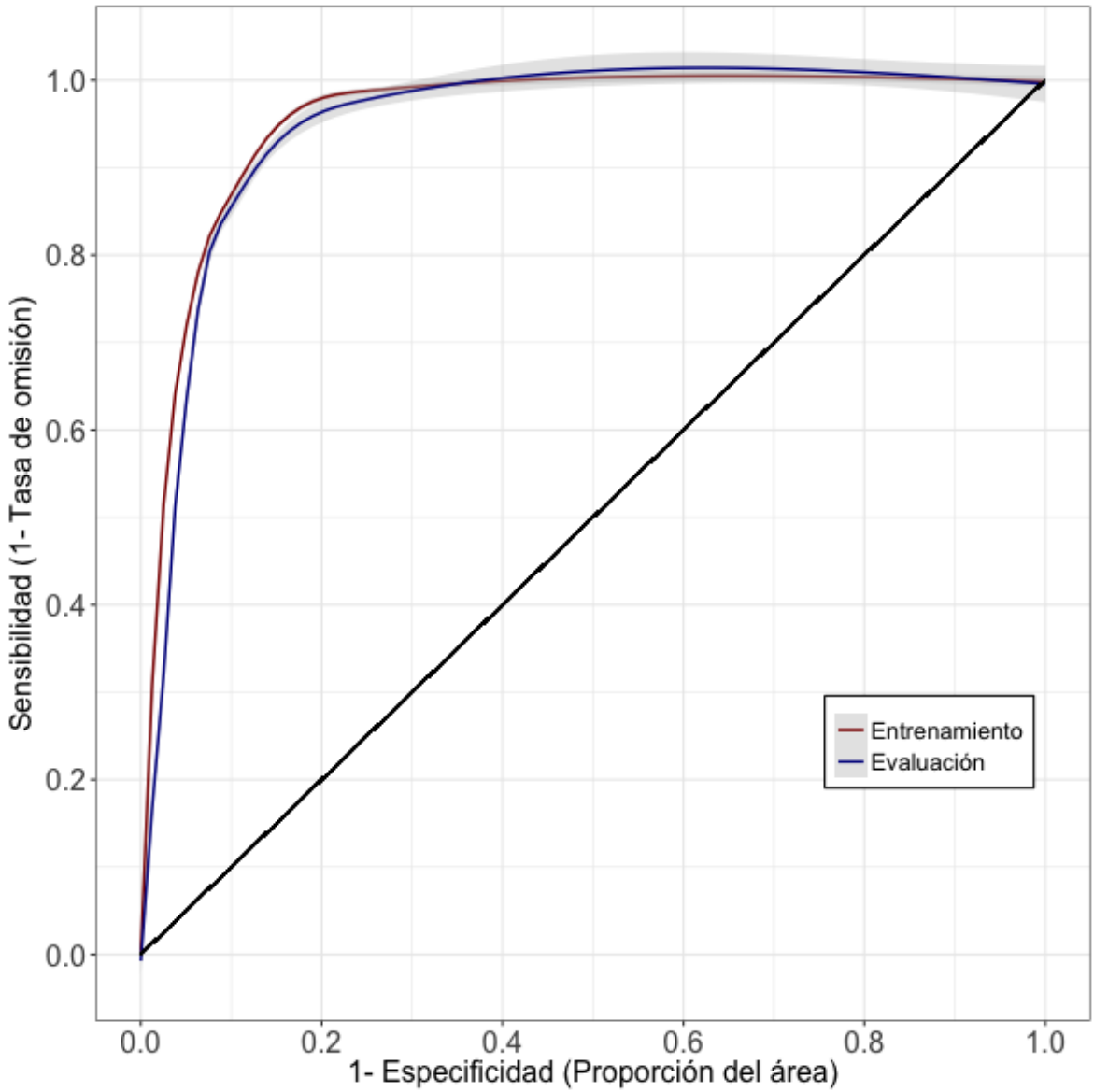


Figura 4.2.1.1.11 Curva característica Operador-Receptor (ROC) para el modelamiento de distribución de *Potamogeton pusillus* (Huiro). La Figura ilustra la curva ROC promedio en una línea roja para el subconjunto de sitios de entrenamiento, promediada a través de las 5 validaciones cruzadas, y la curva 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)

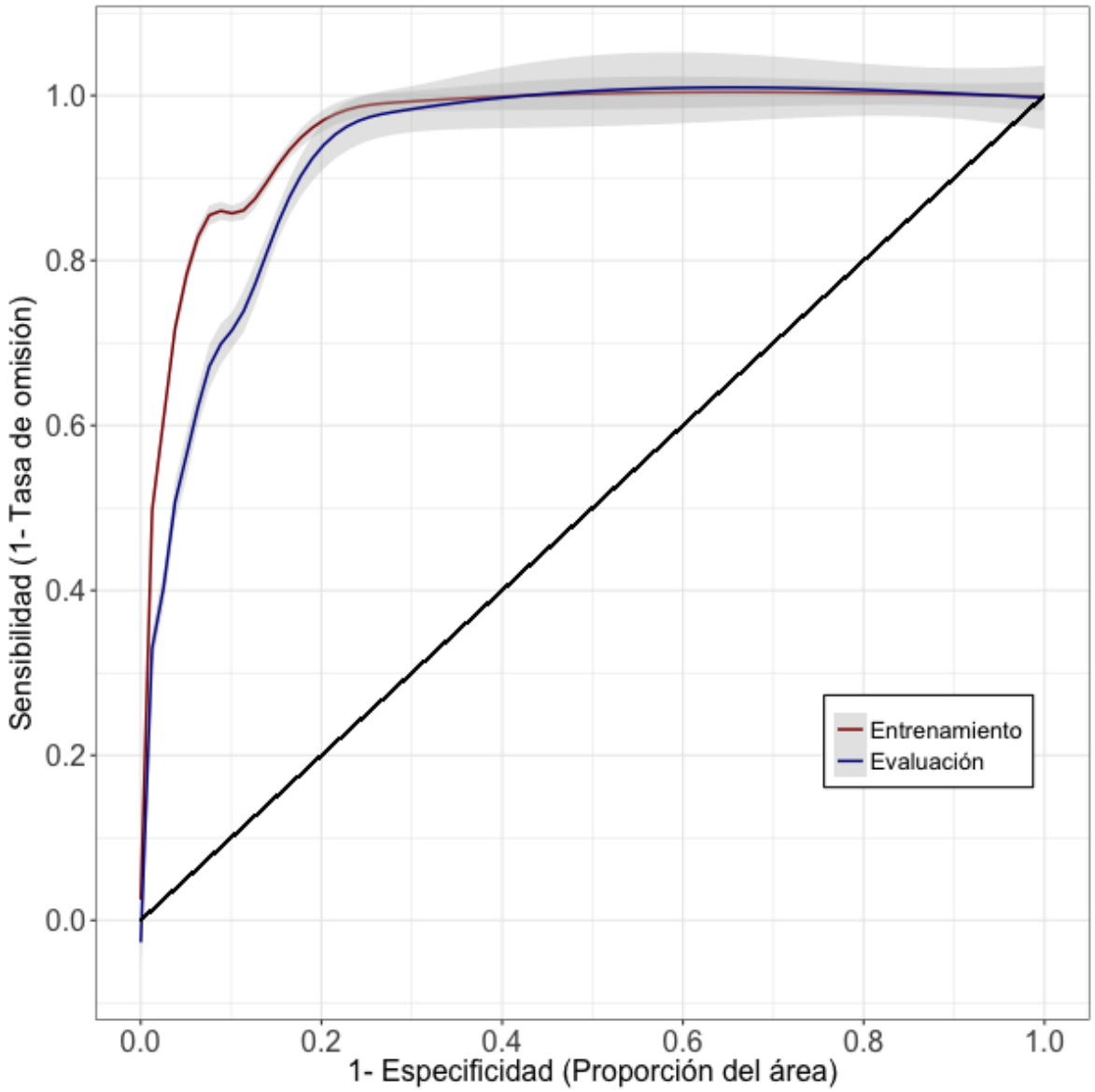


Figura 4.1.1.1.12. Curva característica Operador-Receptor (ROC) para el modelamiento de distribución de *Potamogeton lucens* (Huiro verde). La Figura ilustra la curva ROC promedio en una línea roja para el subconjunto de sitios de entrenamiento, promediada a través de las 5 validaciones cruzadas, y la 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)

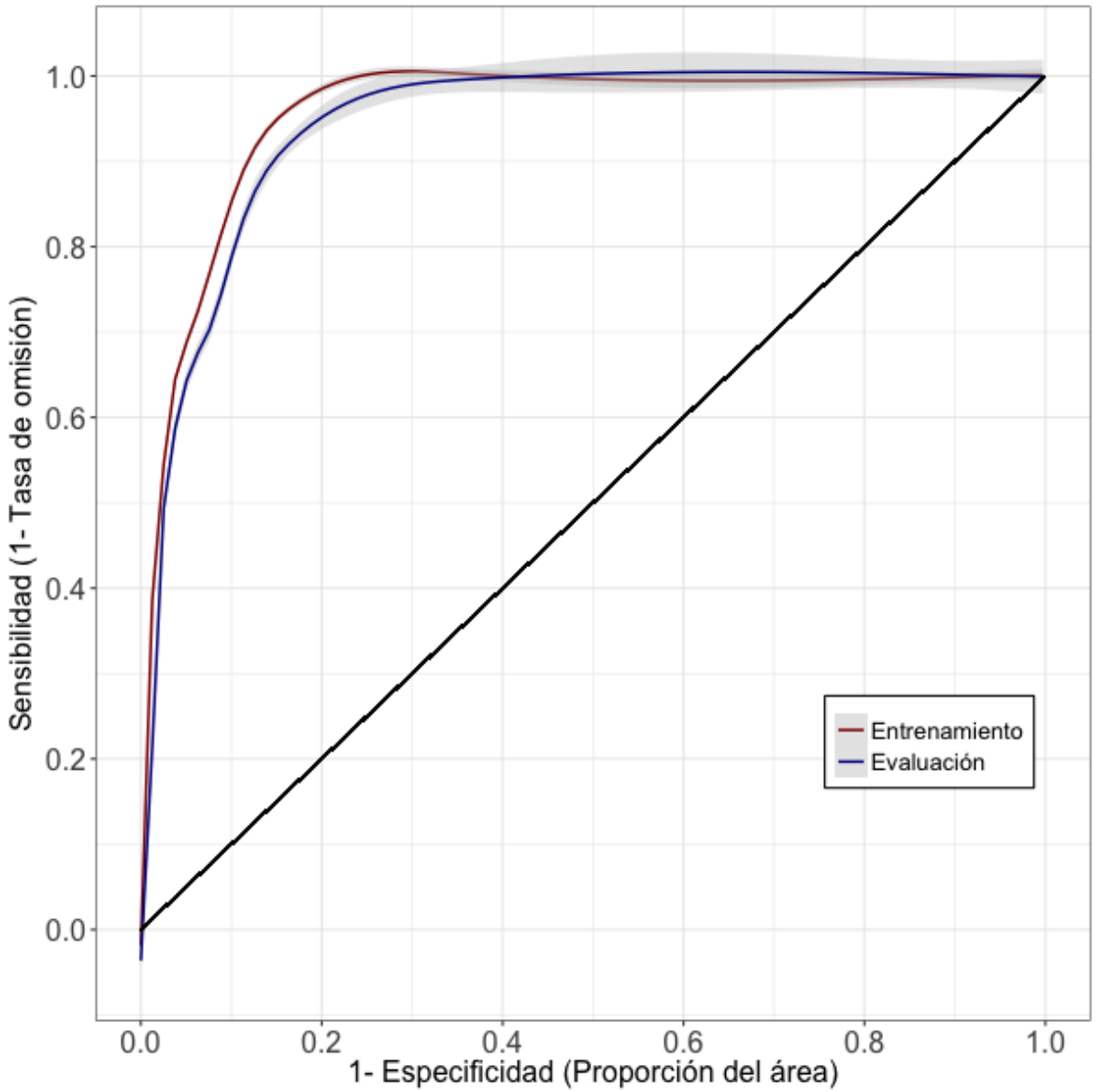


Figura 4.2.1.1.13. Curva característica Operador-Receptor (ROC) para el modelamiento de distribución de *Nymphaea alba*(Loto). La Figura ilustra la curva ROC promedio en una línea roja para el subconjunto de sitios de entrenamiento, promediada a través de las 5 validaciones cruzadas, y la curva ROC promedio 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)

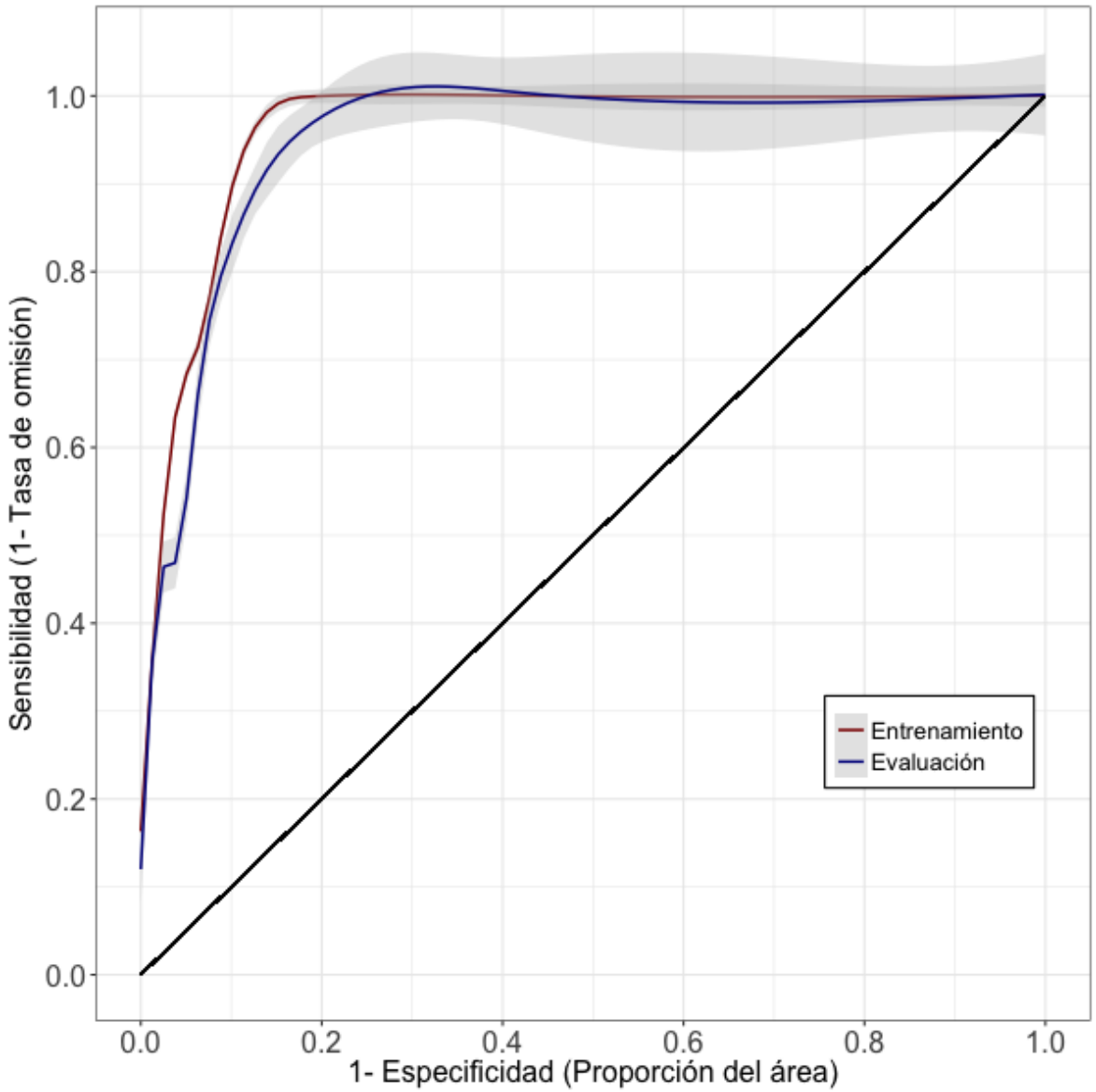


Figura 4.2.1.1.14. Curva característica Operador-Receptor (ROC) para el modelamiento de distribución de *Schoenoplectus californicus* (Totora). La Figura ilustra la curva ROC promedio en una línea roja para el subconjunto de sitios de entrenamiento, promediada a través de las 5 validaciones cruzadas, 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)

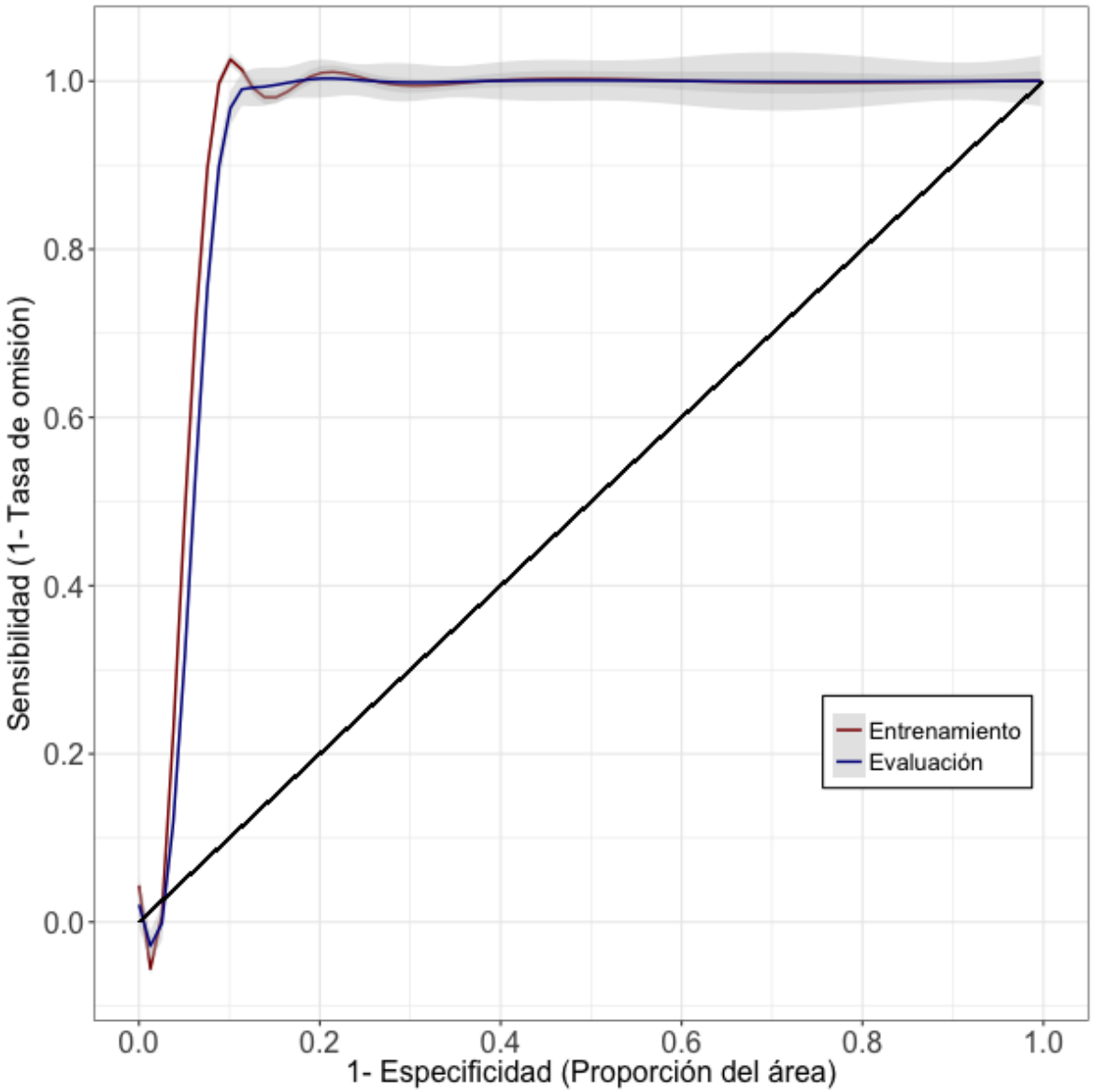


Figura 4.2.1.1.15. Curva característica Operador-Receptor (ROC) para el modelamiento de distribución de *Ludwigia poeploides* (Melilucul). La Figura ilustra la curva ROC promedio en una línea roja para el subconjunto de sitios de entrenamiento, promediada a través de las 5 validaciones cruzadas, y la 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)

Las distribuciones espaciales ajustadas se caracterizaron por presentar una cobertura extensa y parchosa a lo largo del humedal. De esta forma tanto el Luchecillo como el Huiro y la 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 PDHRC y el primer año del PMHRC, 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 4.2.1.1.18 a 4.2.1.1.21, 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 el Huiro (*P. pusillus,* ver Fig. 4.2.1.1.20), 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 presenta una distribución heterogénea y parchosa, con presencia particularmente en los sectores sur y 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 mas extensas para otras especies de macrófitas acuáticas.

En la zona central del humedal, se observa que especies como el Luchecillo, el Huiro, el Loto y la Totora, 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.

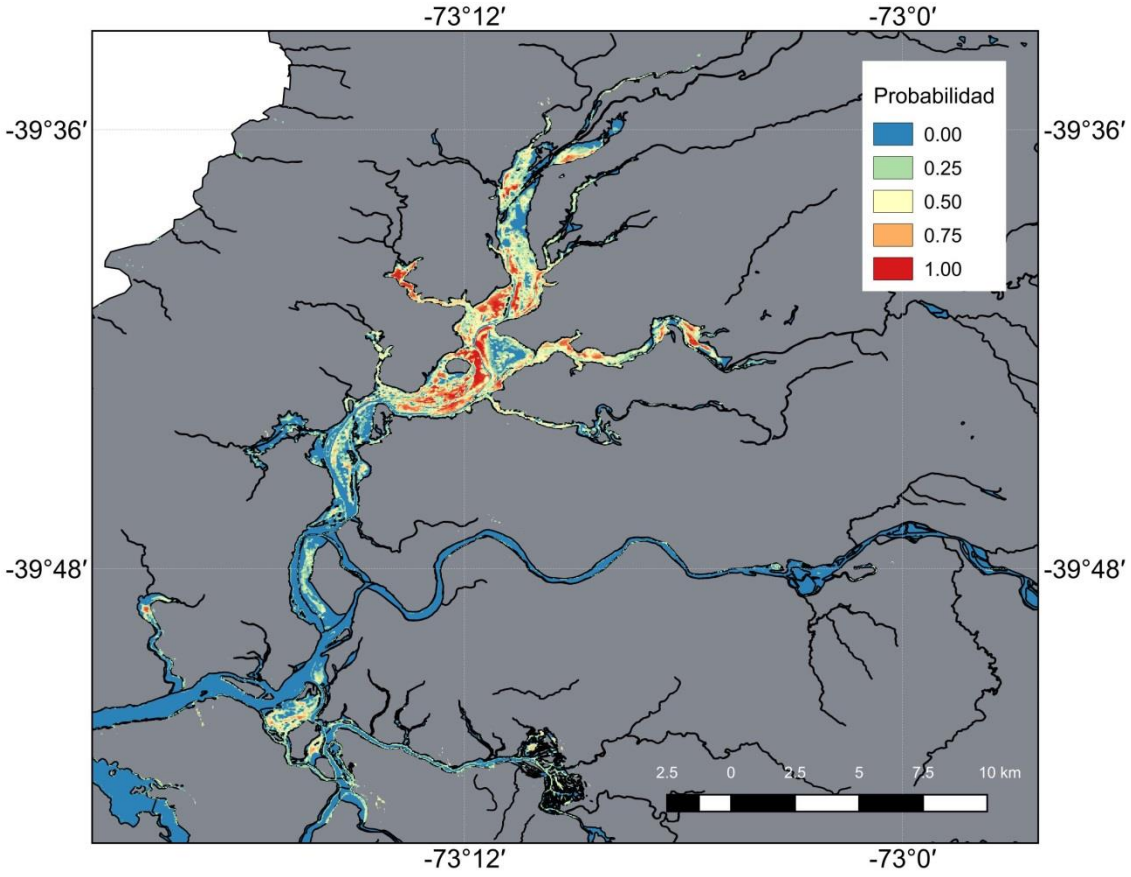


Figura 4.2.1.1.16. Distribución de *Egeria densa* (Luchecillo). La Figura ilustra la presencia del Luchecillo en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las 6 validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono específicos e imágenes LANDSAT 8.

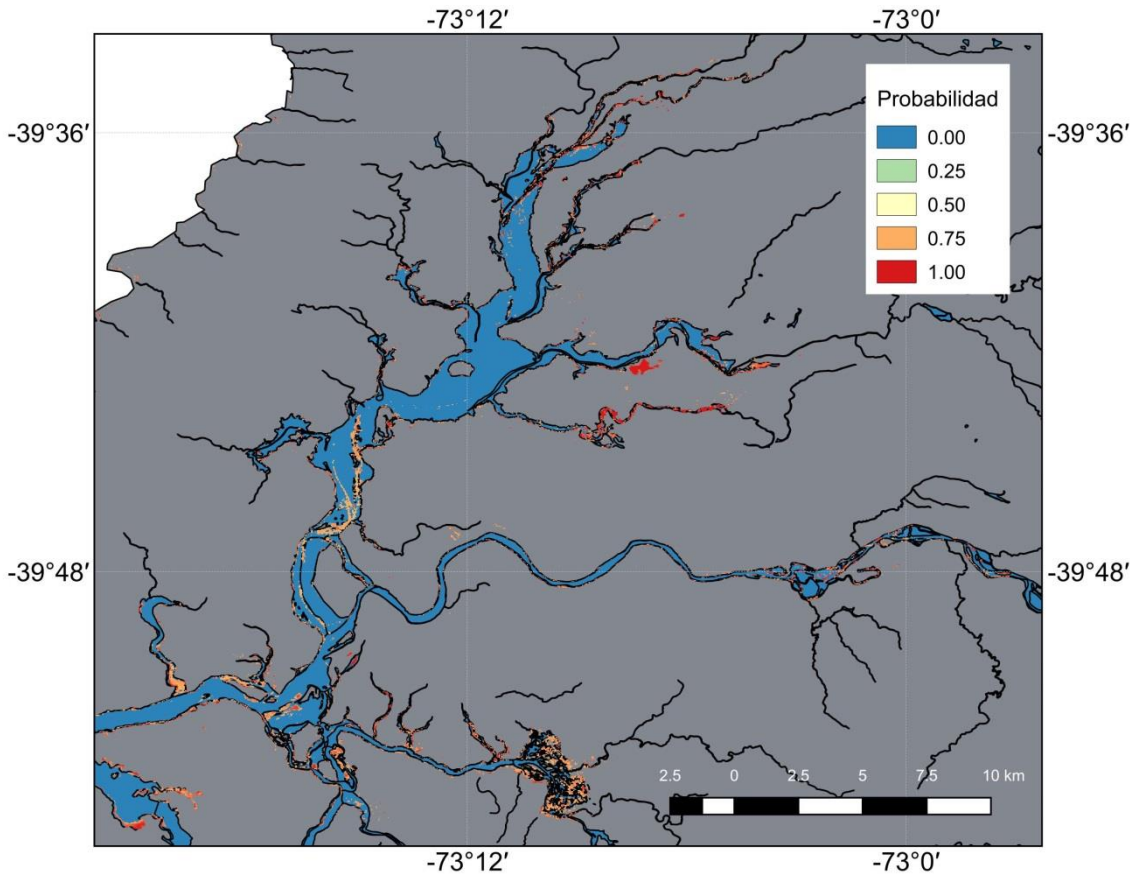


Figura 4.2.1.1.17. Distribución de *Potamogeton pusillus* (Huiro de agua dulce). La Figura ilustra la presencia del Huiro de agua dulce en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las 6 validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono específicos e imágenes LANDSAT 8.

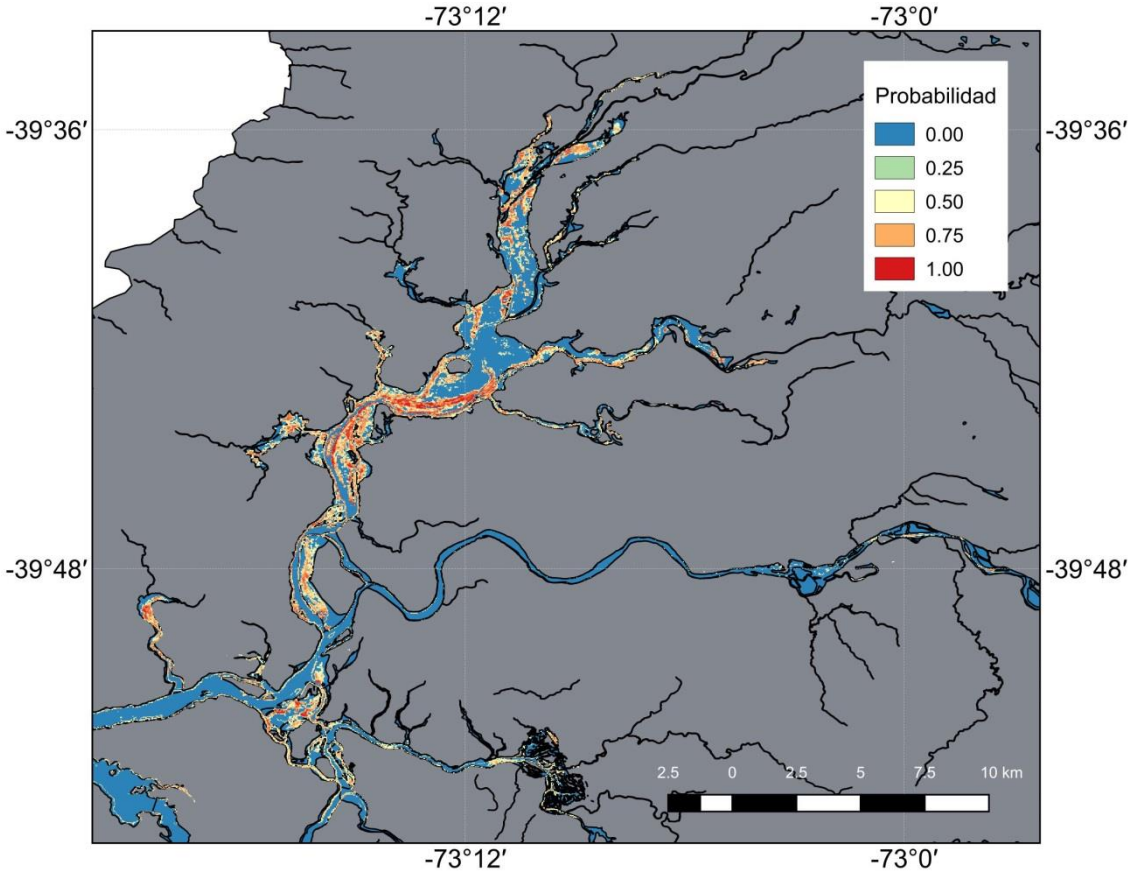


Figura 4.2.1.1.18. Distribución de *Potamogeton lucens* (Huiro verde). La Figura ilustra la presencia del Huiro verde en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las 6 validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches multi y mono específicos e imágenes LANDSAT 8.

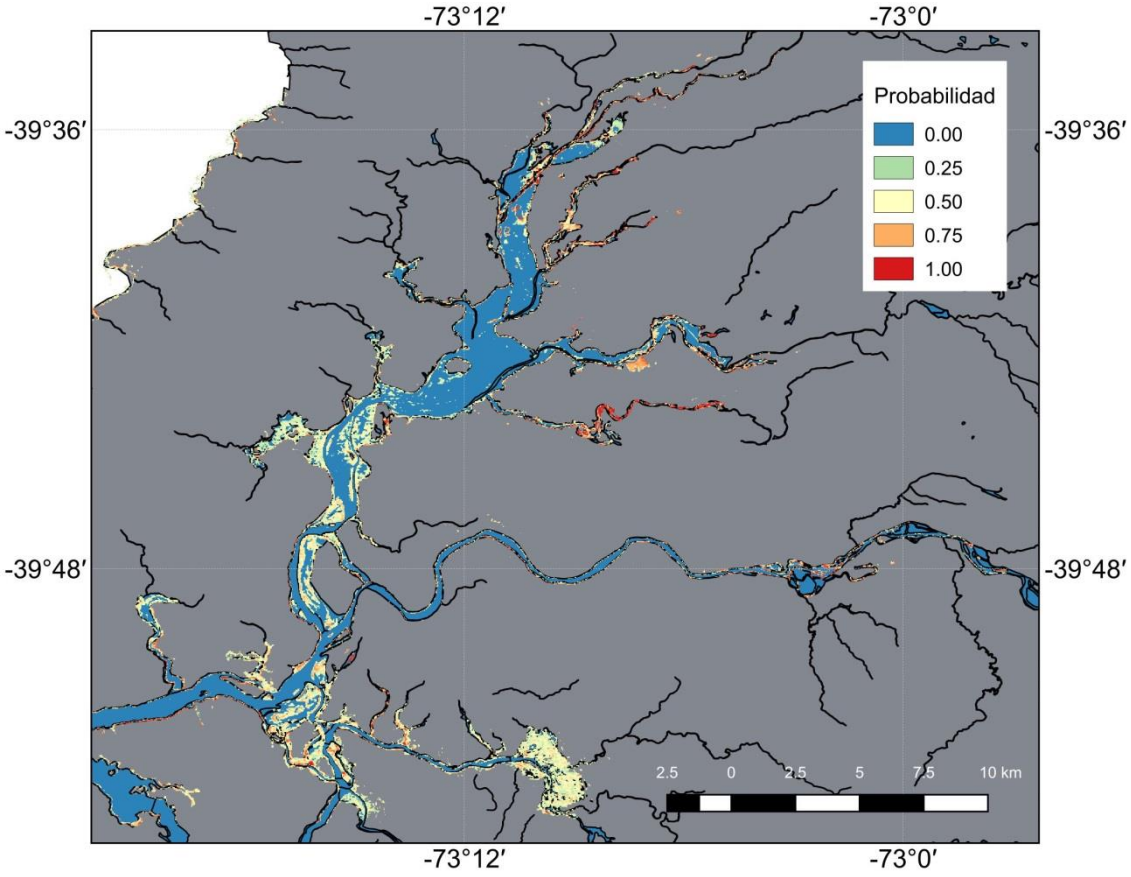


Figura 4.2.1.1.19. Distribución de *Nymphaea alba* (Loto). La Figura ilustra la presencia del Loto en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las 6 validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono específicos e imágenes LANDSAT 8.

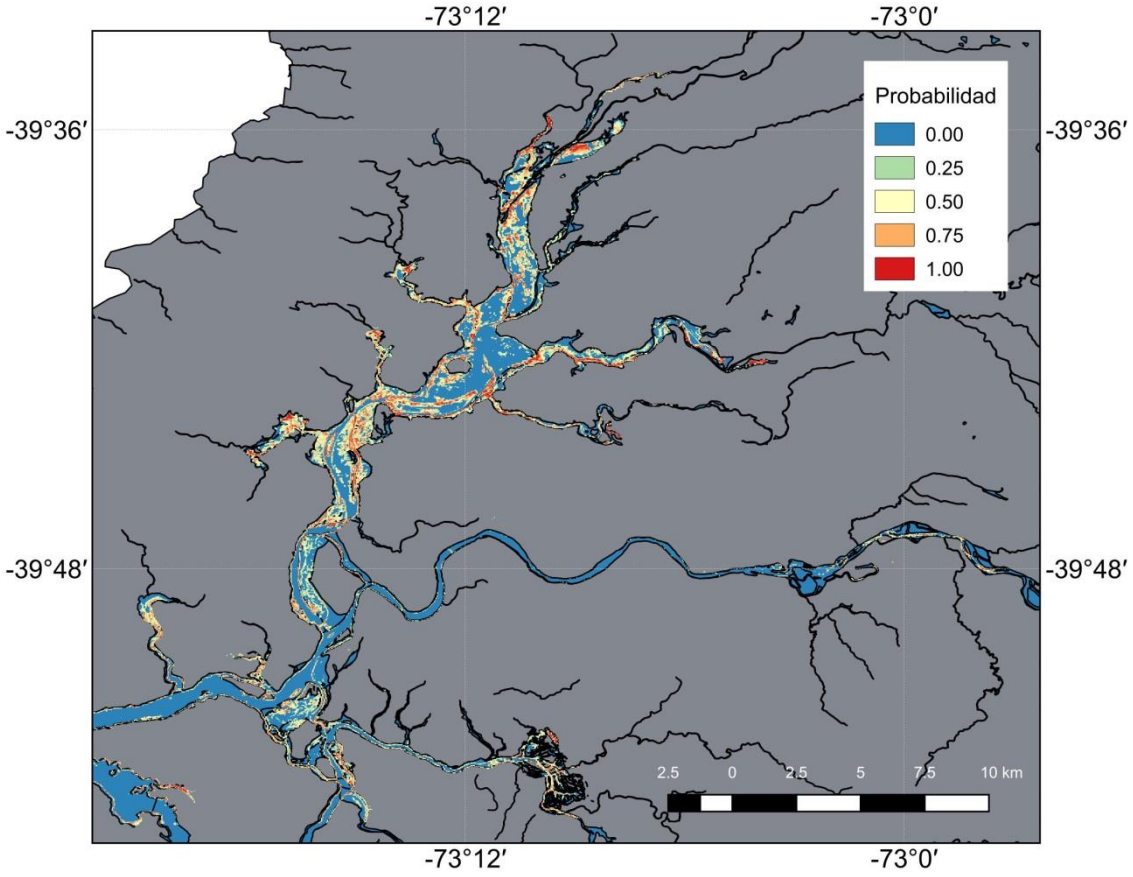


Figura 4.2.1.1.20. Distribución de *Schoenoplectus californicus* (Totora). La Figura ilustra la presencia de la Totora en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las 6 validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono específicos e imágenes LANDSAT 8.

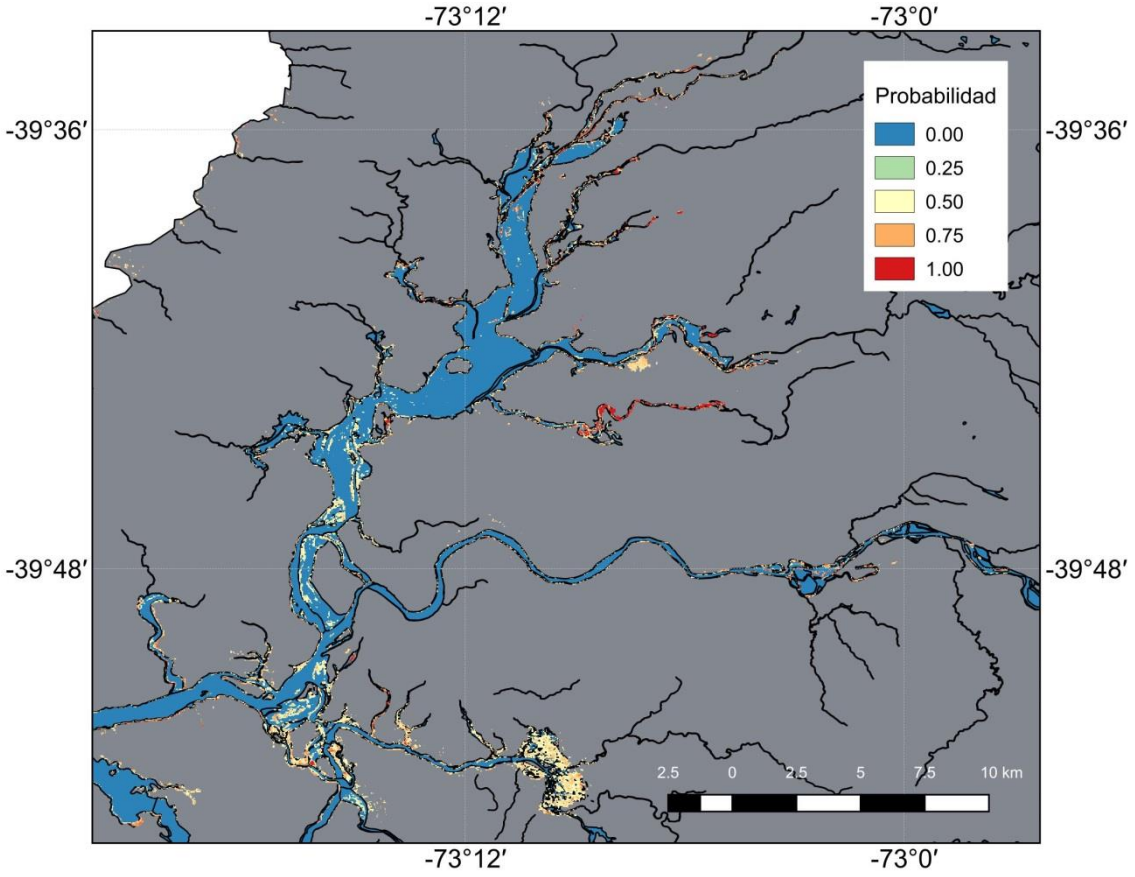


Figura 4.2.1.1.21. Distribución de *Ludwigia poeploides* (Melilucul). La Figura ilustra la presencia de la Flecha de agua en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las 6 validaciones 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 del huiro 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 mas alto, que tienen como resultado una distribución modelada más restringida. De igual forma, la flecha de agua estuvo muy restringida en su distribución, presentando ausencia de parches dominantes. Ello indica que algunas especies subdominantes pueden presentar importantes variaciones en su distribución. Sin embargo, los resultados de

campañas anteriores no son directamente comparables en cuanto a las distribuciones modeladas, dado que los algoritmos usados no son comparables ni equivalentes. Por ello, y 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 procedió a re-entrenar y proyectar los modelos de distribución para las distintas especies en los periodos correspondientes al Programa de Diagnóstico y los años anteriores del Programa de Monitoreo. Las Figuras 4.2.1.1.22. a 4.2.1.1.28. ilustran la variación espacial y temporal observadas para cada una de las macrófitas acuáticas estudiadas en los Programas de Diagnóstico y Monitoreo.

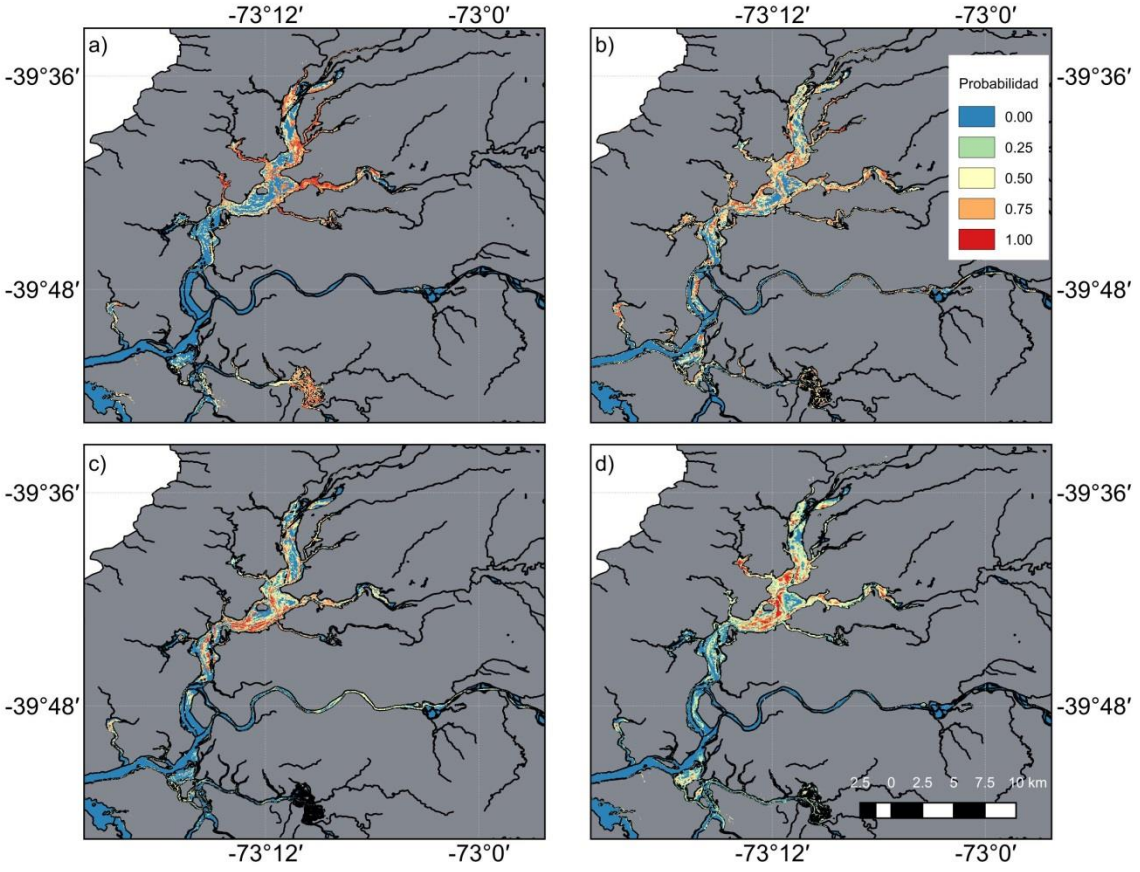


Figura 4.2.1.1.22. Serie de tiempo de distribución de *Egeria densa* (Luchecillo). La Figura ilustra la presencia del Luchecillo en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. La Figura ilustra los datos para a) 2014-2015; b)2015-2016; c)2016-2017; d) 2017-2018. En cada una de las figuras se ilustra el mapa de distribución promediado a

través de las 6 validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono específicos e imágenes LANDSAT 8 de los programas de Monitoreo y Diagnóstico del Humedal del Río Cruces.

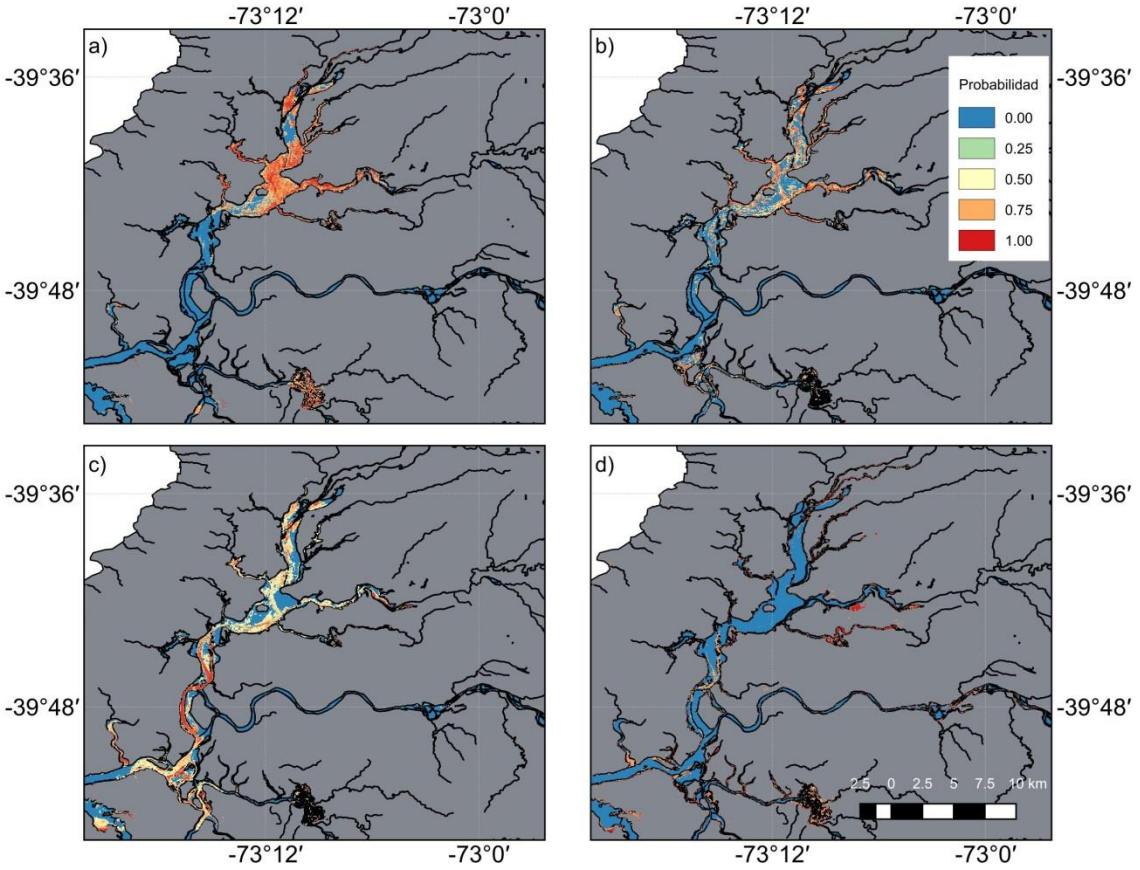


Figura 4.2.1.1.23. Serie de tiempo de distribución de *Potamogeton pusillus* (Huiro). La Figura ilustra la presencia del Luchecillo en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. La Figura ilustra los datos para a) 2014-2015; b)2015-2016; c)2016-2017; d) 2017-2018. En cada una de las figuras se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las 6 validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono específicos e imágenes LANDSAT 8 de los programas de Monitoreo y Diagnóstico del Humedal del Río Cruces.

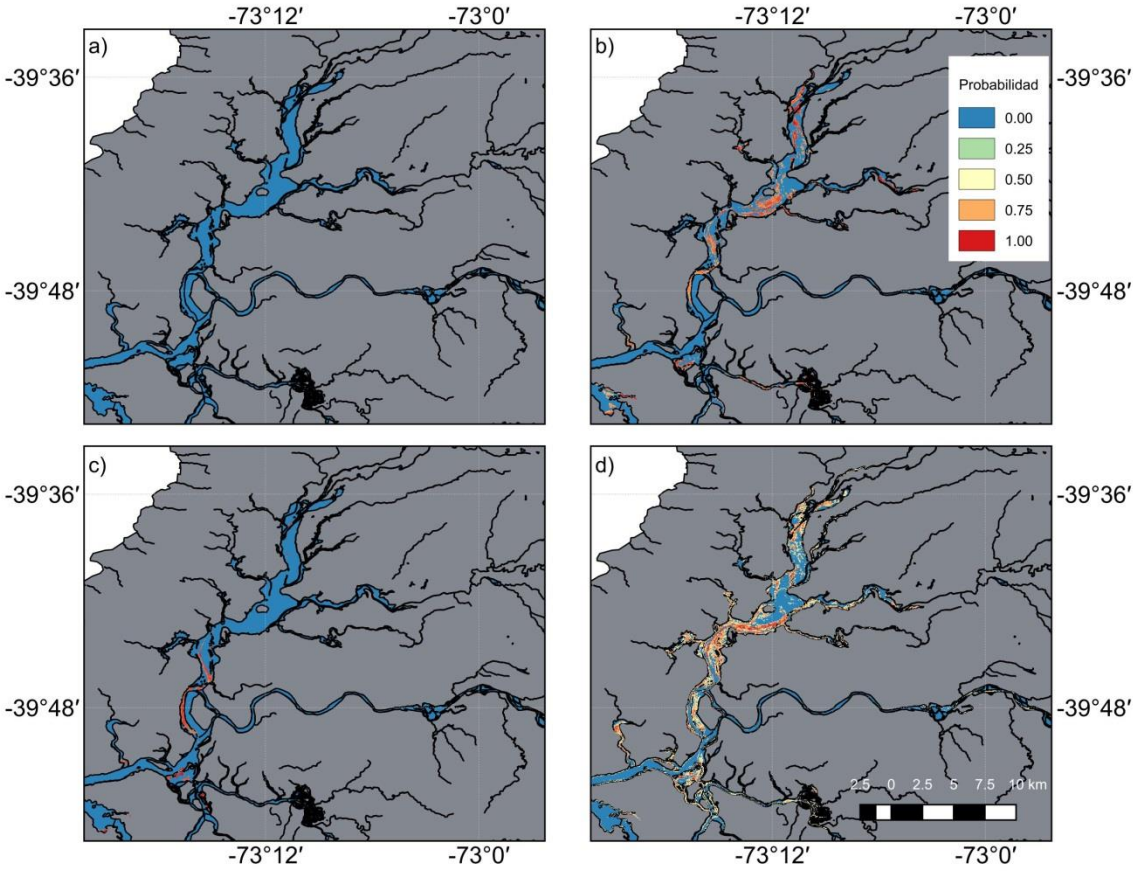


Figura 4.2.1.1.24. Serie de tiempo de distribución de *Potamogeton lucens* (Huiro verde). La Figura ilustra la presencia del Luchecillo en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. La Figura ilustra los datos para a) 2014-2015; b)2015-2016; c)2016-2017; d) 2017-2018. En cada una de las figuras se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las 6 validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono específicos e imágenes LANDSAT 8 de los programas de Monitoreo y Diagnóstico del Humedal del Río Cruces.

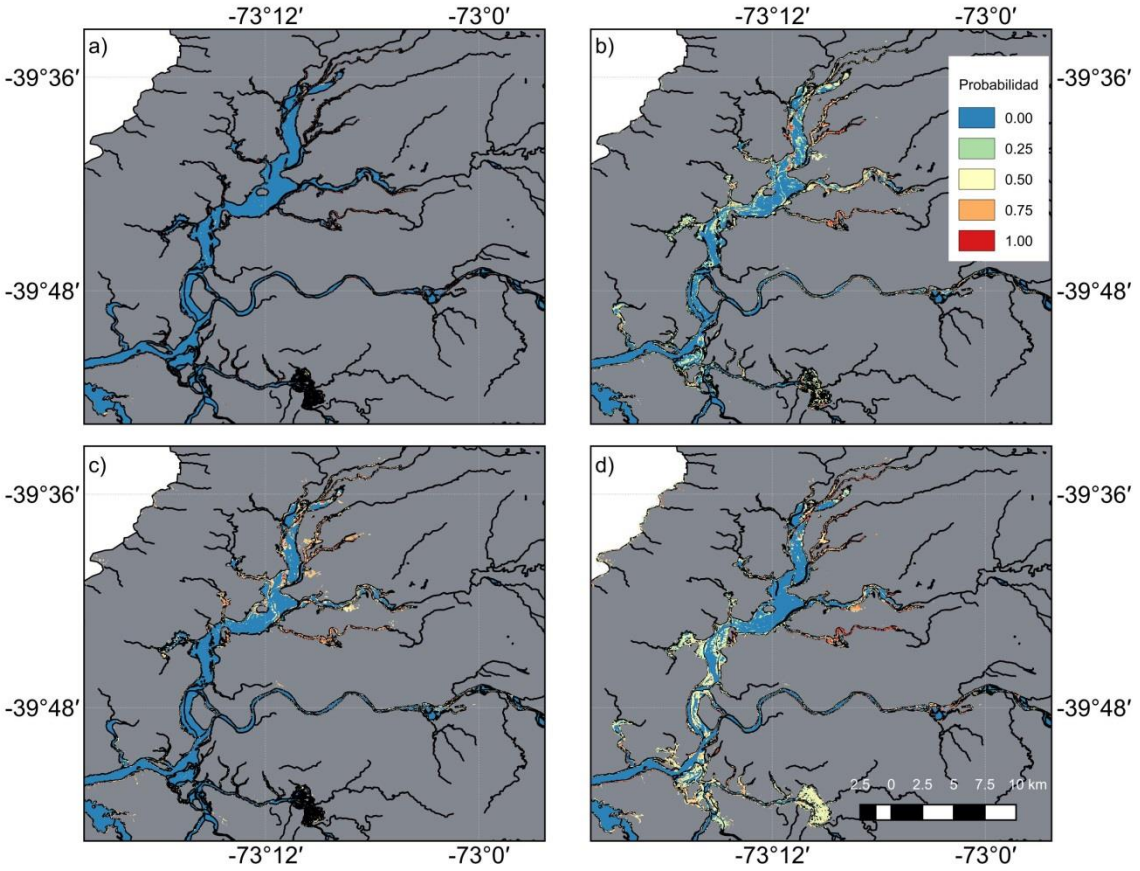


Figura 4.2.1.1.25. Serie de tiempo de distribución de *Nymphaea alba* (Loto). La Figura ilustra la presencia del Luchecillo en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. La Figura ilustra los datos para a) 2014-2015; b)2015-2016; c)2016-2017; d) 2017-2018. En cada una de las figuras se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las 6 validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono específicos e imágenes LANDSAT 8 de los programas de Monitoreo y Diagnóstico del Humedal del Río Cruces.

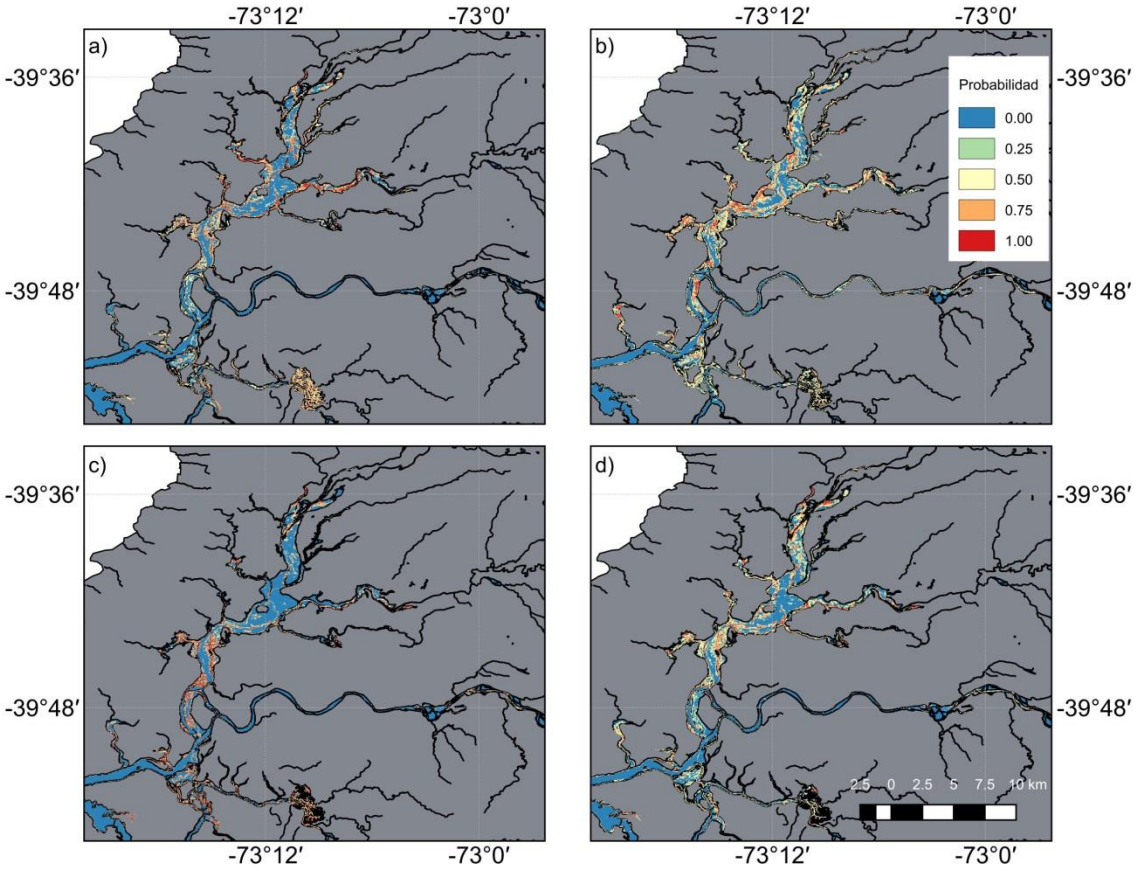


Figura 4.2.1.1.26. Serie de tiempo de distribución de *Schoenoplectus californicus* (Totora). La Figura ilustra la presencia del Luchecillo en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. La Figura ilustra los datos para a) 2014-2015; b)2015-2016; c)2016-2017; d) 2017-2018. En cada una de las figuras se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las 6 validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono específicos e imágenes LANDSAT 8 de los programas de Monitoreo y Diagnóstico del Humedal del Río Cruces.

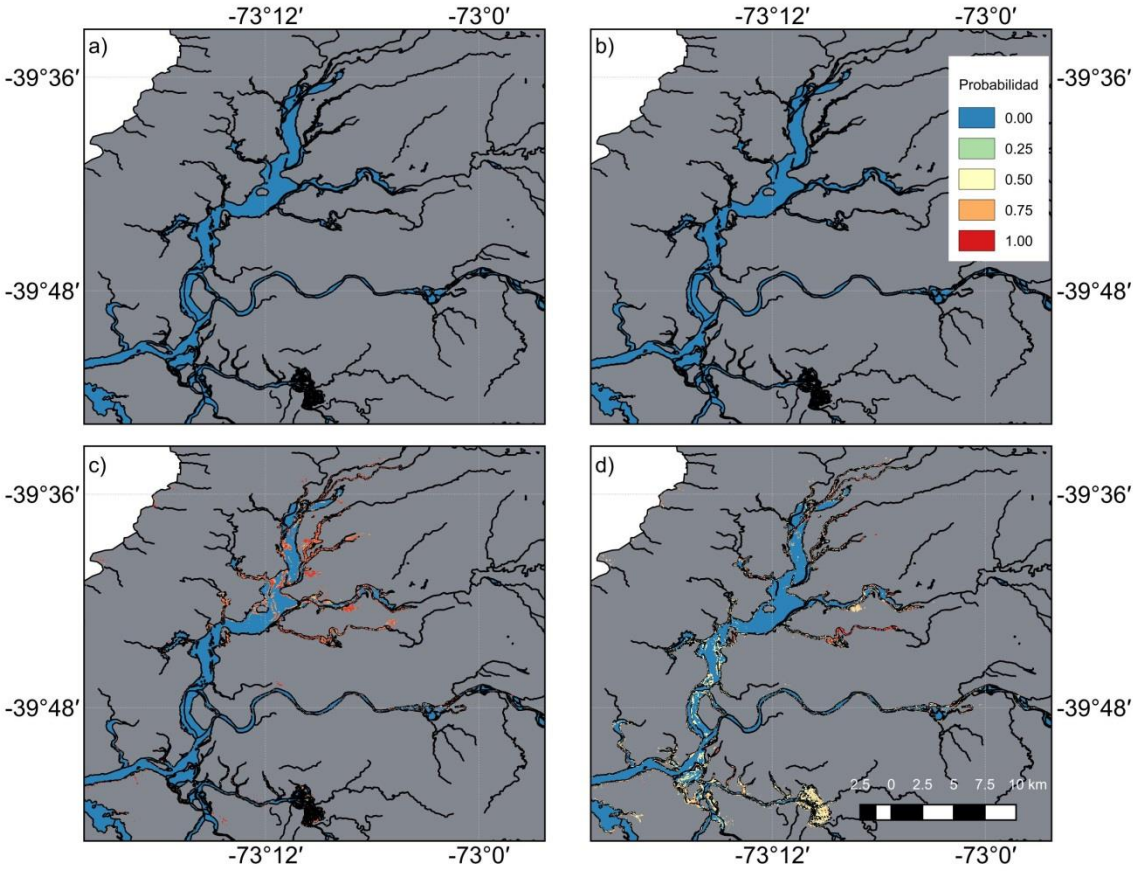


Figura 4.2.1.1.27. Serie de tiempo de distribución de *Ludwigia poeploides* (Melilucul). La Figura ilustra la presencia del Luchecillo en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. La Figura ilustra los datos para a) 2014-2015; b)2015-2016; c)2016-2017; d) 2017-2018. En cada una de las figuras se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las 6 validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono específicos e imágenes LANDSAT 8 de los programas de Monitoreo y Diagnóstico del Humedal del Río Cruces.

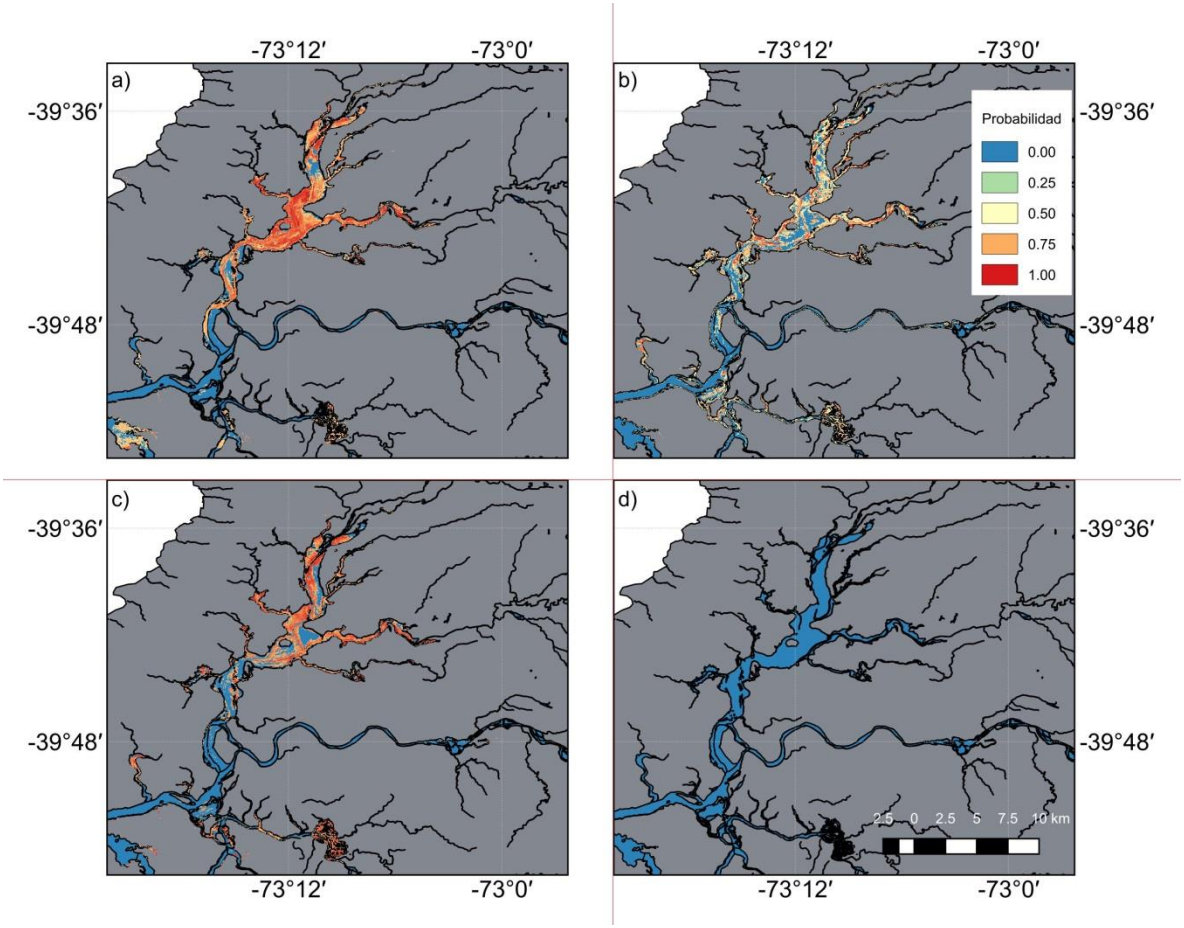


Figura 4.2.1.1.28. Serie de tiempo de distribución de *Sagittaria montevidensiss* (Flecha de Agua). La Figura ilustra la presencia del Luchecillo en celdas de color azul claro a rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. La Figura ilustra los datos para a) 2014-2015; b)2015-2016; c)2016-2017; d) 2017-2018. En cada una de las figuras se ilustra el mapa de distribución promediado a través de las 6 validaciones cruzadas. Modelo generado en base a presencias de parches mono específicos e imágenes LANDSAT 8 de los programas de Monitoreo y Diagnóstico 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 4.2.1.1.29 a 4.2.1.1.32 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). Las bandas 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 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).

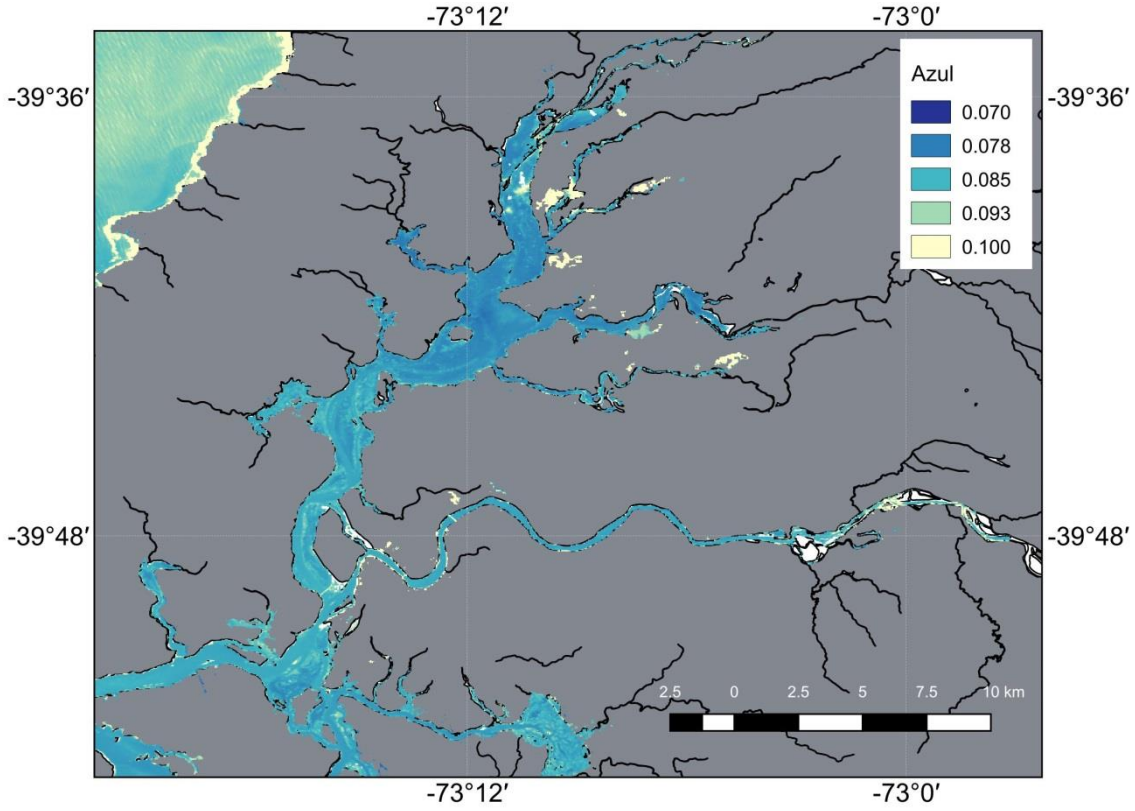


Figura 4.2.1.1.29. Reflectancia de la banda azul en el área de estudio. Se ilustra una imagen de pseudo-color, basada en la banda azul (banda 2) del sensor Landsat 8. La imagen corresponde al día 5 de febrero de 2018. Imagen proyectada en coordenadas WSG 84.

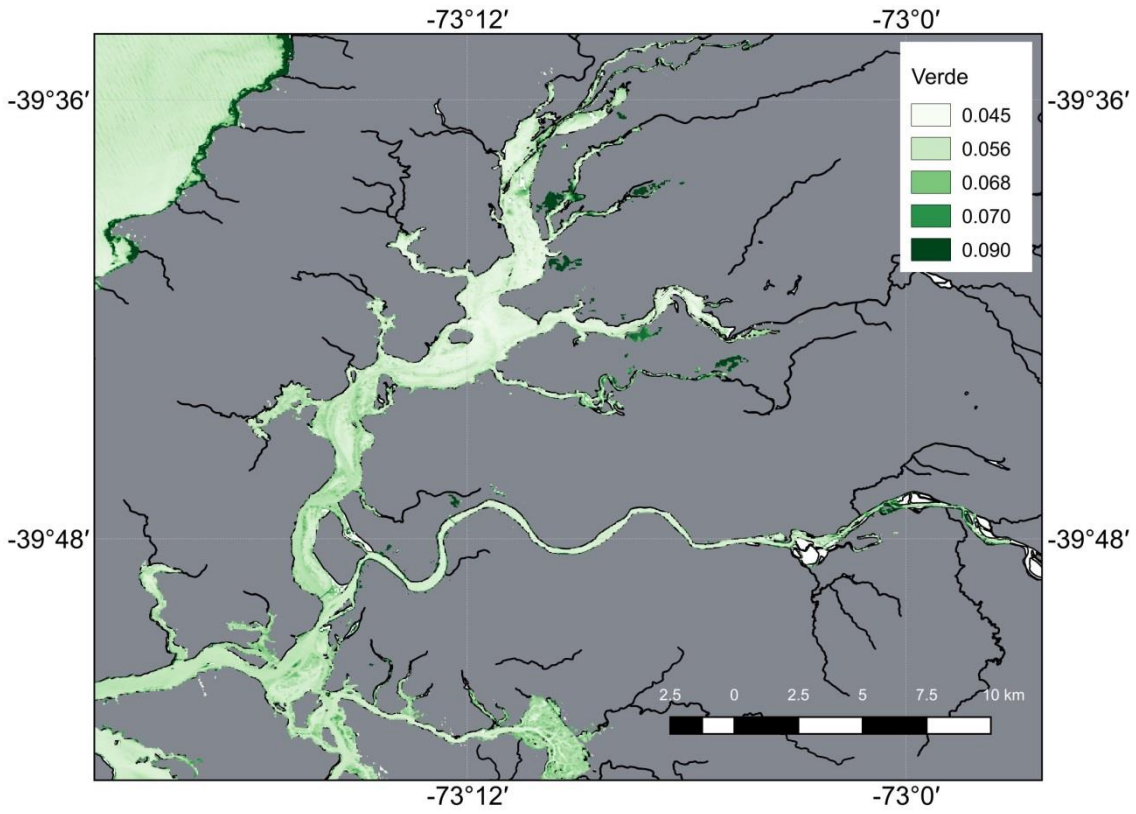


Figura 4.2.1.1.30. Reflectancia de la banda verde en el área de estudio. Se ilustra una imagen de pseudo-color, basada en la banda verde (banda 3) del sensor Landsat 8. La imagen corresponde al día 5 de febrero de 2018. Imagen proyectada en coordenadas WSG 84.

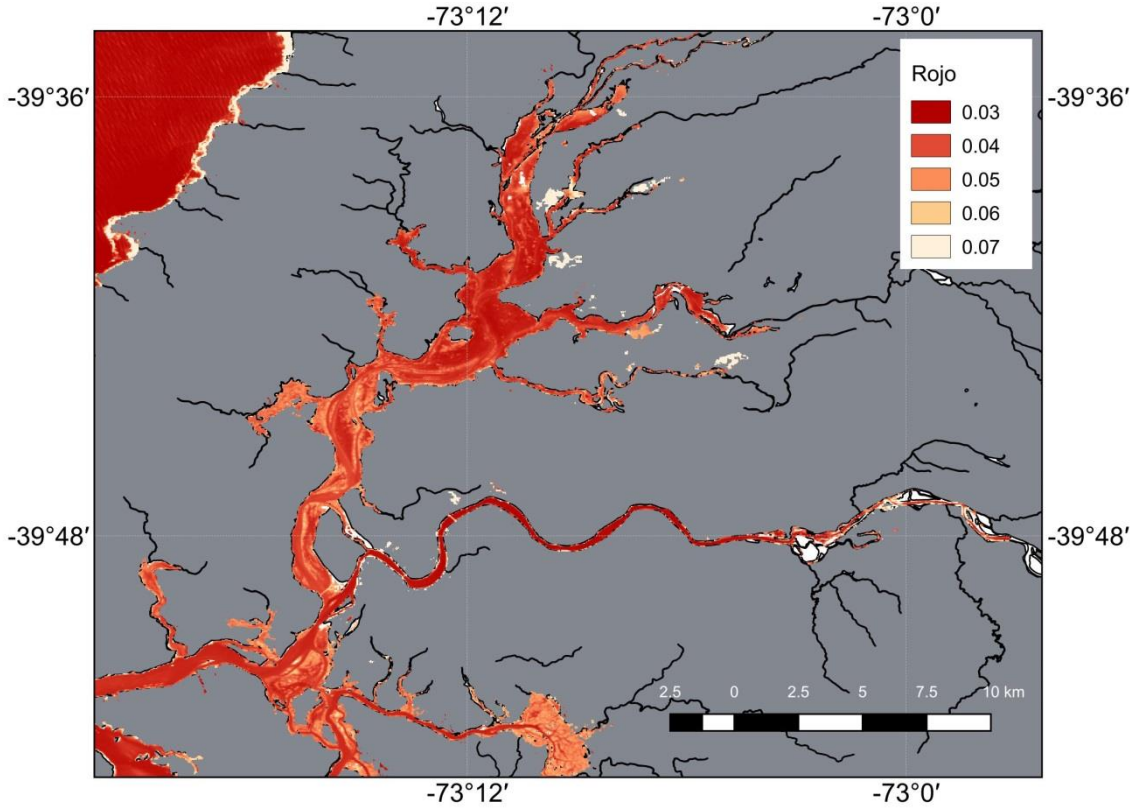


Figura 4.2.1.1.31. Reflectancia de la banda roja en el área de estudio. Se ilustra una imagen de pseudo-color, basada en la banda roja (banda 4) del sensor Landsat 8. La imagen corresponde al día 5 de febrero de 2018. Imagen proyectada en coordenadas WSG 84.

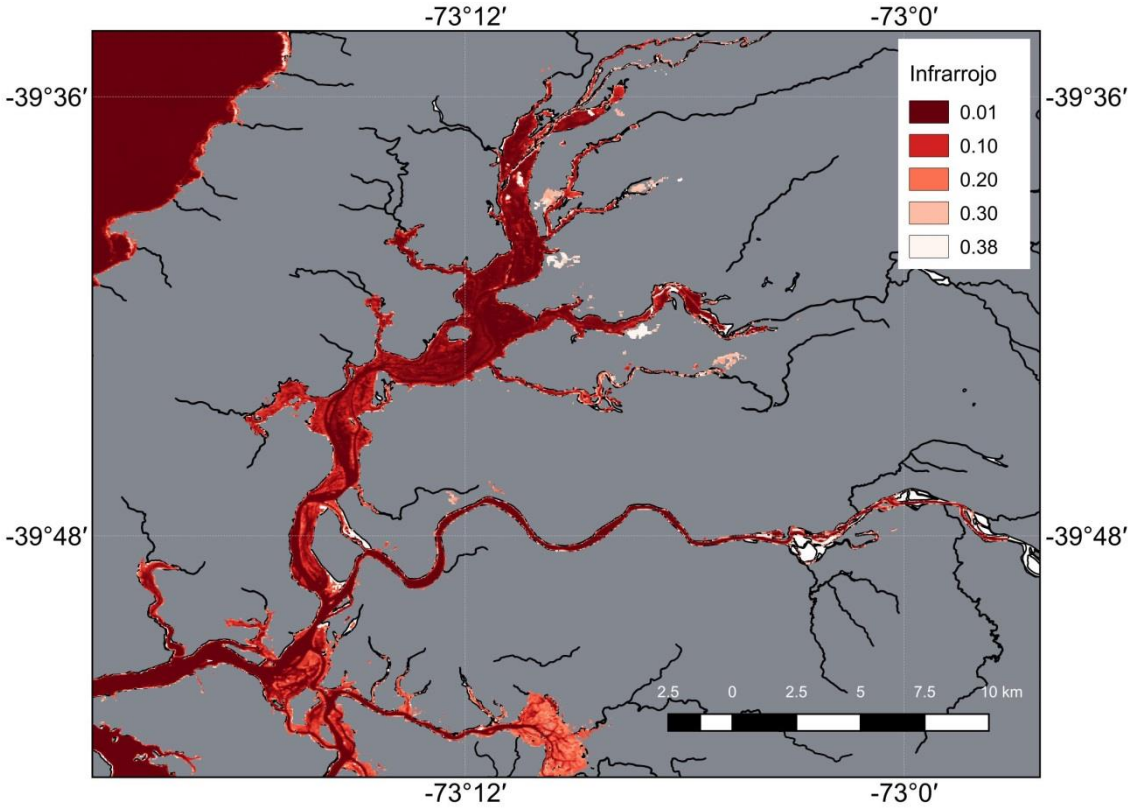


Figura 4.2.1.1.32. Reflectancia de la banda Infrarroja en el área de estudio. Se ilustra una imagen de pseudo-color, basada en la banda Infrarroja cercana (banda 5) del sensor Landsat 8. La imagen corresponde al día 5 de febrero de 2018. Imagen proyectada en coordenadas WSG 84.

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, en un estudio reciente, 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. 4.2.1.1.7), es posible relacionar nuestros resultados con las grandes zonas descritas en el trabajo de Lagos *et al.* (2008). En la Figura 4.2.1.1.33 se muestra la ubicación relativa de las grandes tres zonas, y los polígonos correspondientes a cada uno de los sectores estudiados.

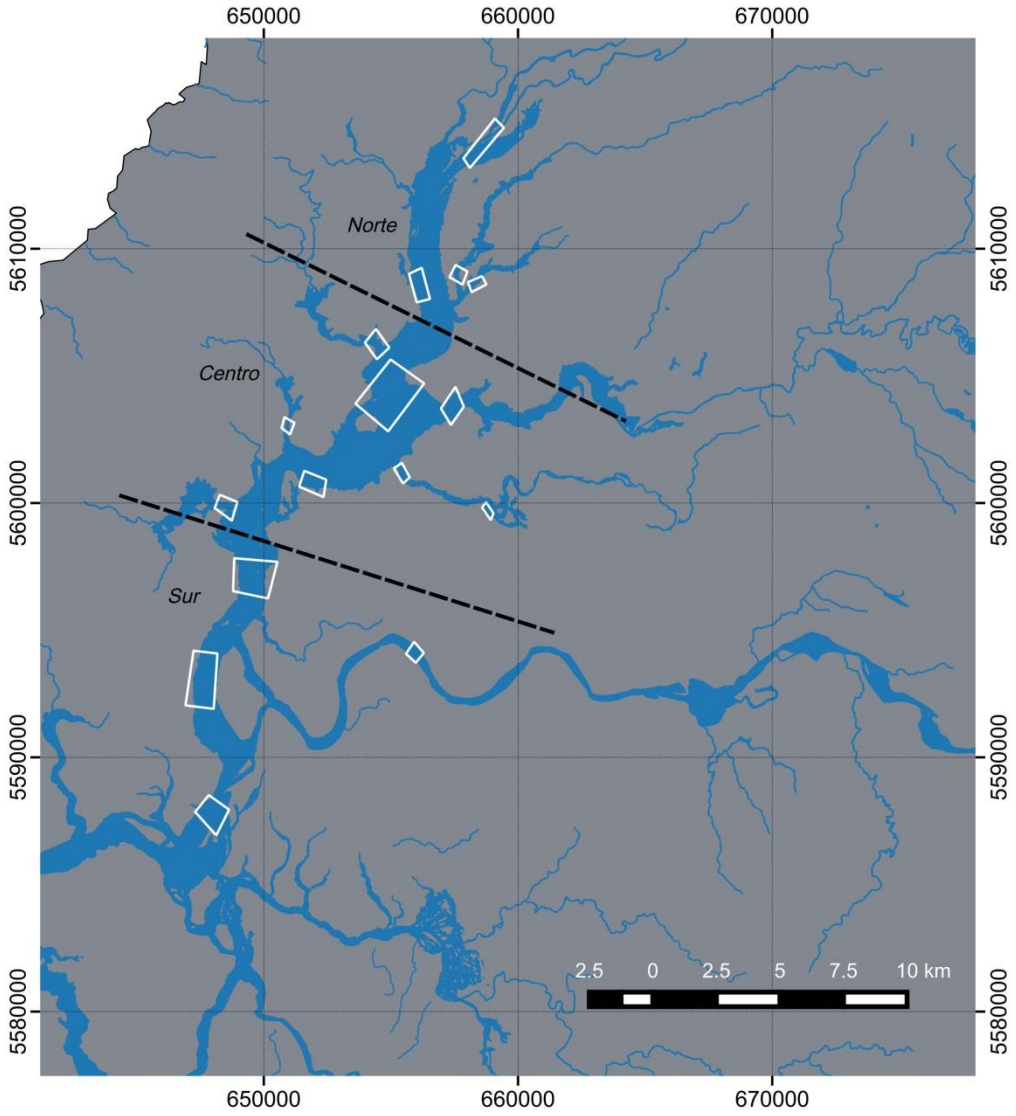


Figura 4.2.1.1.33. Definición de zonas dentro del humedal. Se ilustran las tres zonas principales del humedal (Norte, Centro y Sur), junto con los polígonos para cada sector de estudio para el cálculo de cobertura de macrófitas acuáticas y estimación de parámetros de calidad de agua. La imagen de fondo 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, río Cruces, sector Santa María, y los ríos Nanihue y Cudico (Fig. 4.2.1.1.34), solo se observan diferencias en los valores de reflectancia para los datos correspondientes al infrarrojo

cercano, levemente mayores en el sector de San Luis, en conjunto con un aumento en la reflectancia de infrarrojo cercano, 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.

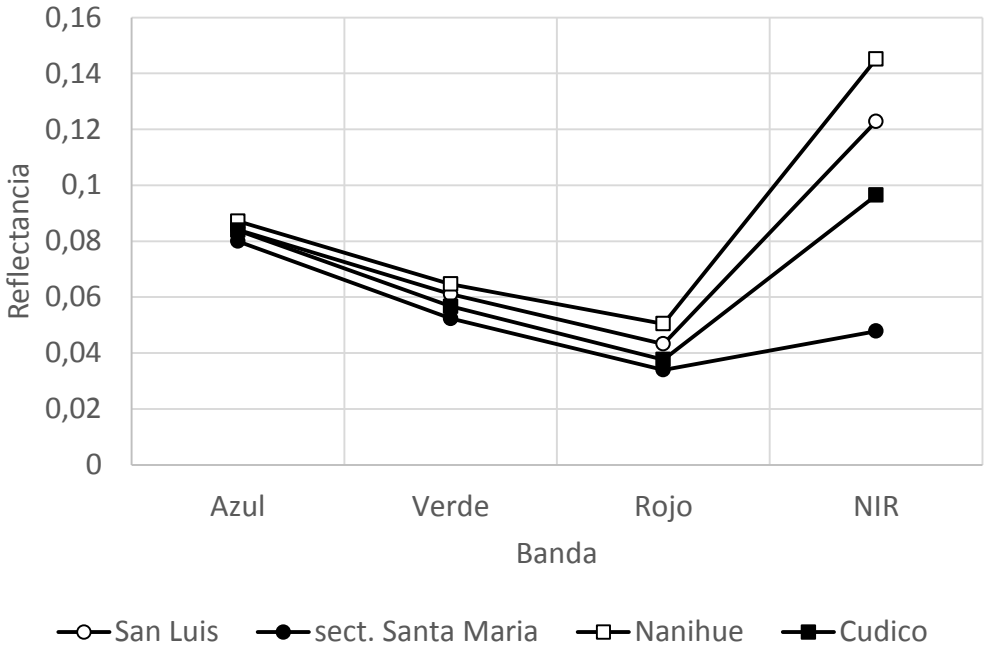


Figura 4.2.1.1.34. Variación espacial en la reflectancia el sector norte del humedal. Se ilustra el valor promedio de reflectancia observada para las bandas azul, verde, roja e infrarroja cercana del sensor Landsat 8.

En el sector central del humedal 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 el segundo año 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, la calidad del agua es mucho mejor, presentando valores correspondientes a una mayor transparencia del agua (Fig. 4.2.1.1.34 y 4.2.1.1.55). 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 (Figs. 4.2.1.1.35 y 4.2.1.1.36). De manera similar a lo reportado los años 1 y 2 del PMRHC, 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.}

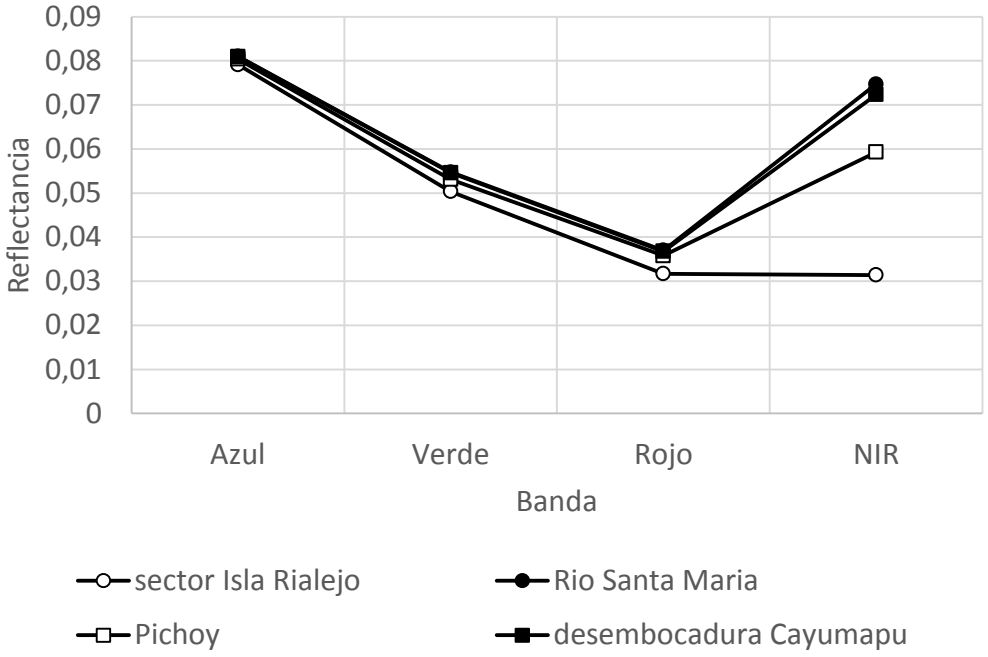


Figura 4.2.1.1.35. Variación espacial en la reflectancia el sector central del humedal. Se ilustra el valor promedio de reflectancia observada para las bandas azul, verde, roja e infrarroja cercana del sensor Landsat 8.

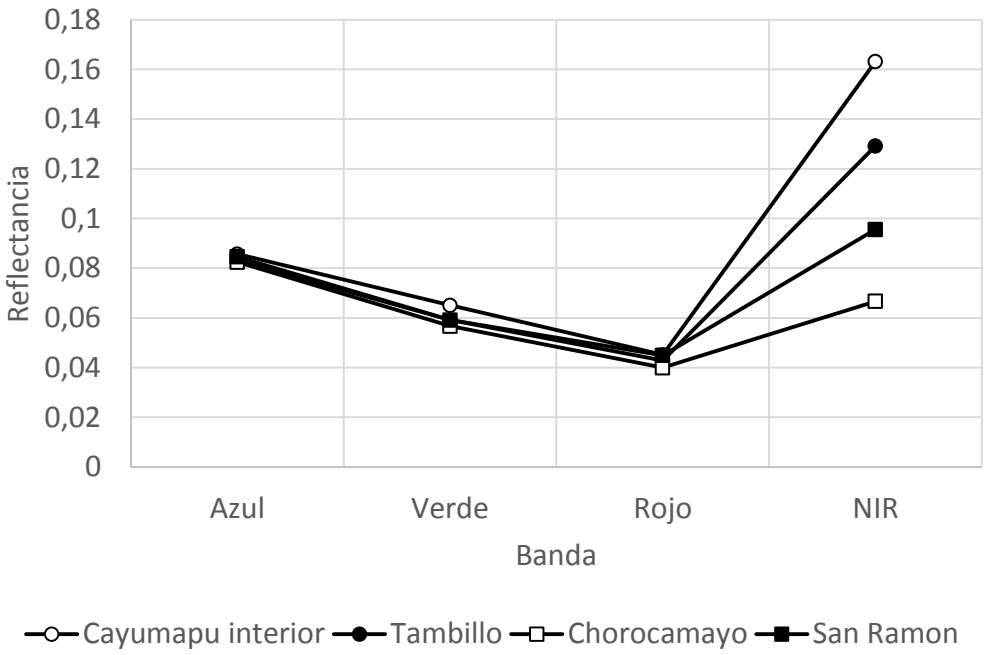


Figura 4.2.1.1.36. Variación espacial en la reflectancia el sector central del humedal. Se ilustra el valor promedio de reflectancia observada para las bandas azul, verde, roja e infrarroja cercana del sensor Landsat 8.

Finalmente, el sector sur del humedal presenta valores levemente menores de reflectancia, y por ende mayor transparencia (Fig. 4.2.1.37). En todos los sectores y sitios de estudio, se observaron reflectancias relativamente mínimos 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.

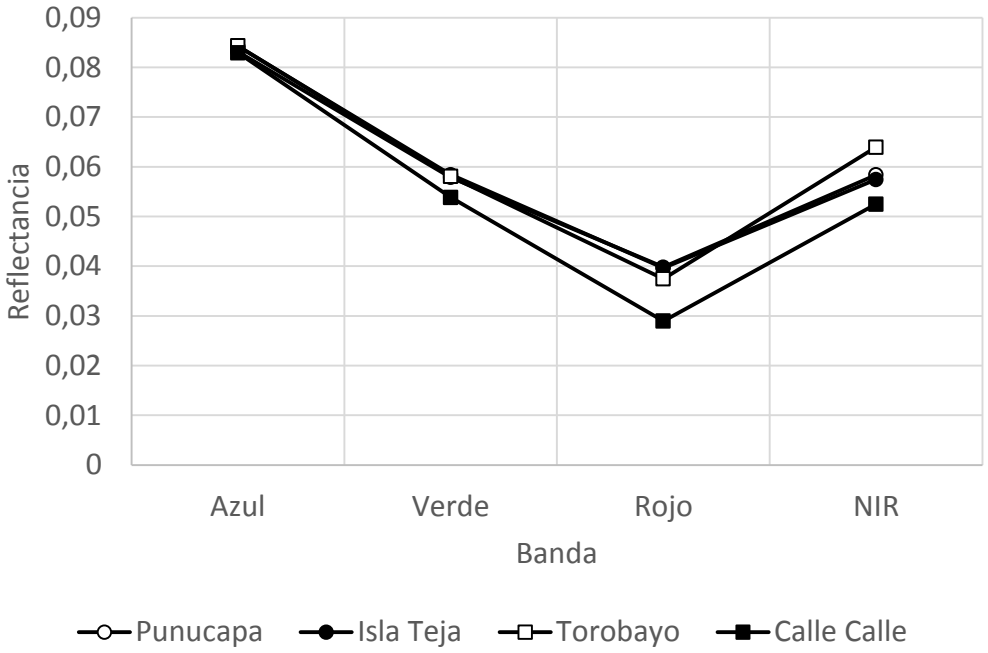


Figura 4.2.1.1.37. Variación espacial en la reflectancia el sector central del humedal. Se ilustra el valor promedio de reflectancia observada para las bandas azul, verde, roja e infrarroja cercana del sensor Landsat 8.

4.2.1.1.5. Conclusiones

- Respecto a la transparencia, se concluye 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. Es muy posible que estas variaciones espaciales den cuenta del efecto de las fuentes de variación local en la calidad del agua, particularmente respecto a la transparencia del agua. Estas fuentes locales de variación probablemente incluyen aportes diferenciales de sedimentos en distintos puntos del HRC. En el caso del sector del río Cayumapu, esto podría reflejar características de flujo propias del mismo. En particular, se evidencia una mayor reflectancia en la banda de longitudes de onda correspondientesal infrarrojo cercano, indicando una mayor cubierta de macrófitas acuáticas.

- Durante el año 2017, la distribución espacial de las macrófitas acuáticas dominantes fue muy similar a la documentada en el año 2014, particularmente para el caso del Luchecillo (*Egeria densa)*. 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 el Huiro y la Flecha de Agua, que presentaron disminuciones importantes en la cantidad de parches monoespecíficos observados en el HRC. En el caso del Huiro verde (*Potamogeton lucens*), ajustes anteriores llevaban a presumir que esta especie presentaba una distribución más restringida, lo que podría reflejar barreras abióticas a su distribución en el humedal. Actualmente, el Huiro verde presenta una mayor distribución y abundancia, mientras que el Huiro presenta menores abundancias. De igual forma, mientras que la Flecha de Agua ha disminuido su distribución, se observa que el Melilucul ha aumentado de forma paulatina su distribución. Ello da claras luces que la composición de las macrófitas acuáticas no se encuentra en equilibrio, y que existe potencial para interacciones bióticas como competencia intra e inter específica. Sin embargo, el estudio acabado de estas

interacciones requiere diseños y estudios de campo que complementen la información recabada mediante sensores remotos.

- Respecto a la distribución histórica de especies como el Huiro (*Potamogeton pusillus*) o la Flecha de agua (*Sagittaria montevidensis*), durante el año 2016-2017, ambas se caracterizaron por presentar una distribución importante en el humedal del río Cruces. En el caso del Huiro, se encontraba ampliamente distribuido, indicando que las condiciones ambientales le eran favorables. Actualmente, su baja prevalencia en el HRC lleva a un ajuste de modelos de distribución mas restringido. Una interpretación posible es que cualquier restricción a su distribución en el espacio podría obedecer a la acción de interacciones bióticas. De igual forma, en el caso de la Flecha de agua, la distribución ambiental modelada en periodos anteriores también era muy amplia, indicando que las condiciones ambientales eran favorables para su expansión en el área. No obstante, se encuentra en abundancias mucho menores hoy en día, mientras que el Lucehcillo ha dominado muchas áreas donde se superponían. En el monitoreo actual, la tendencia al aumento de la Flecha de agua se ha revertido, mientras que el Luchecillo ha consolidado su patrón de distribución. Nuevamente, ello sugiere una posible interacción a nivel poblacional entre ambas especies. Sin embargo, dilucidar eventuales efectos competitivos directos o indirectos requerirá de estudios observacionales y experimentales orientados a evaluar dicha hipótesis.

- En el caso del Loto (*Nynphaea alba*) y la Totora (*Scirpus californicus*), ambas especies presentan una amplia extensión en el humedal, la que se caracteriza por ser heterogénea y parchosa. En la primera, la distribución de habitat idóneo es mucho más amplia, mientras que se observa un patrón más parchoso y ribereño en el caso de la Totora. Para esta especie, las condiciones más idóneas se asocian a la ribera o sectores someros. Por otra parte, no se evidencian cambios notorios en la distribución entre los años 2014, 2015 y 2016, aun considerando que la proyección espacial para la Totora es más restringida. No obstante, ello puede reflejar la variación en el número de puntos de observación. Por el contrario, en el caso del

Loto, se observa un patrón de aumento cualitativo en la idoneidad de hábitat y abundancia relativa de esta especie.

- Se concluye finalmente 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 en la transparencia. Pese a las importantes variaciones experimentadas en las últimas décadas, la calidad de agua se presenta como significativamente mejor que en el programa de diagnóstico, observándose evidencia de una importante cubierta de macrófitas. Esto se corrobora al observar una distribución amplia de las principales macrófitas acuáticas en el HRC y de , los datos recabados dando cuenta de un buen estado de este compartimento del ecosistema del HRC.

4.2.1.1.6. Referencias

Ahn, Y. H., P. Shanmugam, J. Hyung-Ryu. 2004. Atmospheric correction of the Landsat satellite imagery for turbid waters. Gayana 68:1-8.

Antoine, D., A. Morel. 1999. A multiple scattering algorithm for atmospheric correction of remotely sensed ocean color (MERIS instrument): principle and implementation for atmospheres carrying various aerosols including absorbing ones. International Journal of Remote Sensing 20:1875-1916.

Chander, G., B. Markham. 2003. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 41: 2674-77.

Elith, J., CH. Graham, R.P. Anderson, M. Dudik, S. Ferrier, A. Guisan, R.J. Hijmans, F. Huettmann, J.R. Leathwick, A. Lehmann, J. Li, L.G. Lohmann, B.A. Loiselle, G. Manion, C. Moritz, M. Nakamura, Y. Nakazawa, J.M. Overton, A.T. Peterson, S.J. Phillips, K. Richardson, R. Scachetti-Pereira, R.E. Schapire, J. Soberon, S. Williams, M.S. Wisz, N.E. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. Ecography 29: 129-151.

Elith, J., J.R. Leathwick. 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 40: 677-697.

Elith, J., S.J. Phillips, T. Hastie, M. Dudík, E. Chee. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. Diversity and Distributions 11: 43-57.

Franklin, J. 2009. Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction. Cambridge University Press, Cambridge.

Hernández, P.A., C.H. Graham, L.L. Master, D.L. Albert. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. Ecography 29: 773-785.

Lagos, N.A., P, Paolini, E. Jaramillo, Ch. Lovengreen, C. Duarte, H. Contreras. 2008. Environmental processes, water quality degradation, and decline of water bird populations in the Rio Cruces wetland, Chile. Wetlands 28:938-950.

Mulsow, S., M. Grandjean. 2006. Incompatibility of sulphate compounds and soluble bicarbonate salts in the Río Cruces waters: an answer to the disappearance of *Egeria densa* and black-necked swans in a Ramsar sanctuary. Ethics in Science and Environmental Politics 5-11.

Ortega-Huerta, M.A., A.T. Peterson. 2008. Modeling ecological niches and predicting geographic distributions: a test of six presence-only methods. Revista Mexicana De Biodiversidad 79: 205-216.

Papes, M., P. Gaubert. 2007. Modelling ecological niches from low num-bers of occurrences: assessment of the conservation status of poorly known viverrids (Mammalia, Carnivora) across two continents. Diversity and Distributions 13: 890-902.

Parslow, J.S., G. Harris. 1990. Remote sensing of marine photosynthesis. p. 269-90. IN: R. J. Hobbs and H. A. Mooney (eds.) Remote Sensing of Biosphere Functioning Springer Verlag. New York, NY, USA.

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 tercer año del Programa de Monitoreo Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC) (corresponden al periodo abril 2017 - marzo 2018), en cuanto a estructura comunitaria de la macroinfauna de fondos sedimentarios se refiere. Estos resultados se comparan además, con los obtenidos durante el primer y segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental y durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (abril 2014-marzo 2015).

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 2016.
- 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 2017.
- Comparar los resultados anteriores con los obtenidos durante el primer y segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental (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 17 - 18 de abril 2017 (campaña de otoño) y 19 - 20 de octubre 2017 (campaña de primavera). Los muestreos se realizaron 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.

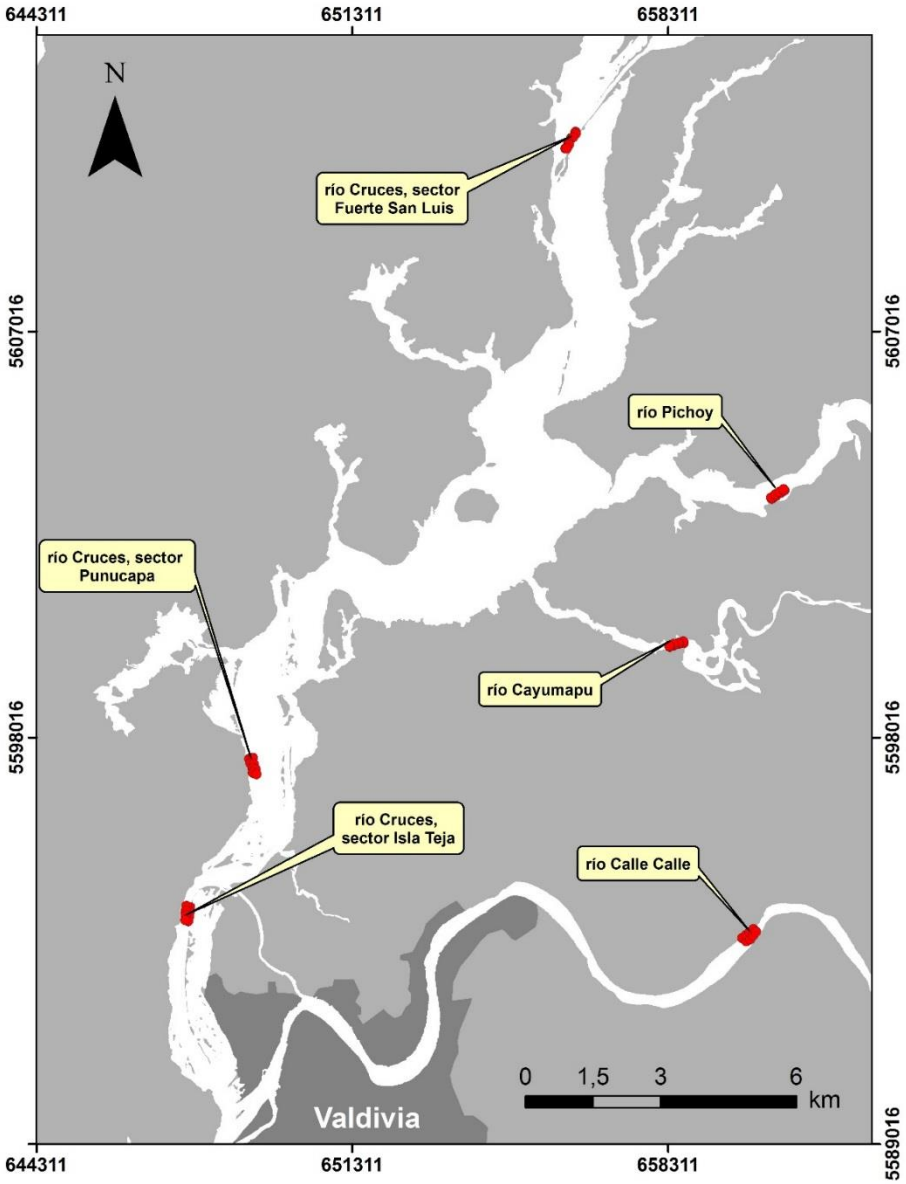


Figura 4.2.2.1. Ubicación de los sitios de muestreo seleccionadas para el estudio de la macroinfauna bentónica de fondos sedimentarios. En cada uno de los sitios se obtuvieron cuatro muestras en las orillas (<1.5 m de profundidad) y cuatro en los cauces de los mismos (>2.5 m de profundidad).

Tratamiento preliminar de las muestras y mediciones de pH y redox

El sedimento recolectado 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 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 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 2017. 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 (<9%), con excepción de aquellos presentes en orillas de los sectores

Punucapa e Isla Teja durante la primavera de los años 2015 y 2017, los cauces de los sectores San Luis e Isla Teja durante el otoño del año 2017, San Luis y Cayumapu durante la primavera del año 2017, y río Calle Calle en la primavera del año 2015 (Tabla 4.2.2.1). En los sectores antes mencionados, el porcentaje de grava en los sedimentos fue superior a 9,0 % (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; 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 (Fig. 4.2.2.2).

Tabla 4.2.2.1. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio de grava en los sedimentos de orillas y cauces del área de estudio durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016 y 2017. 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)
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)

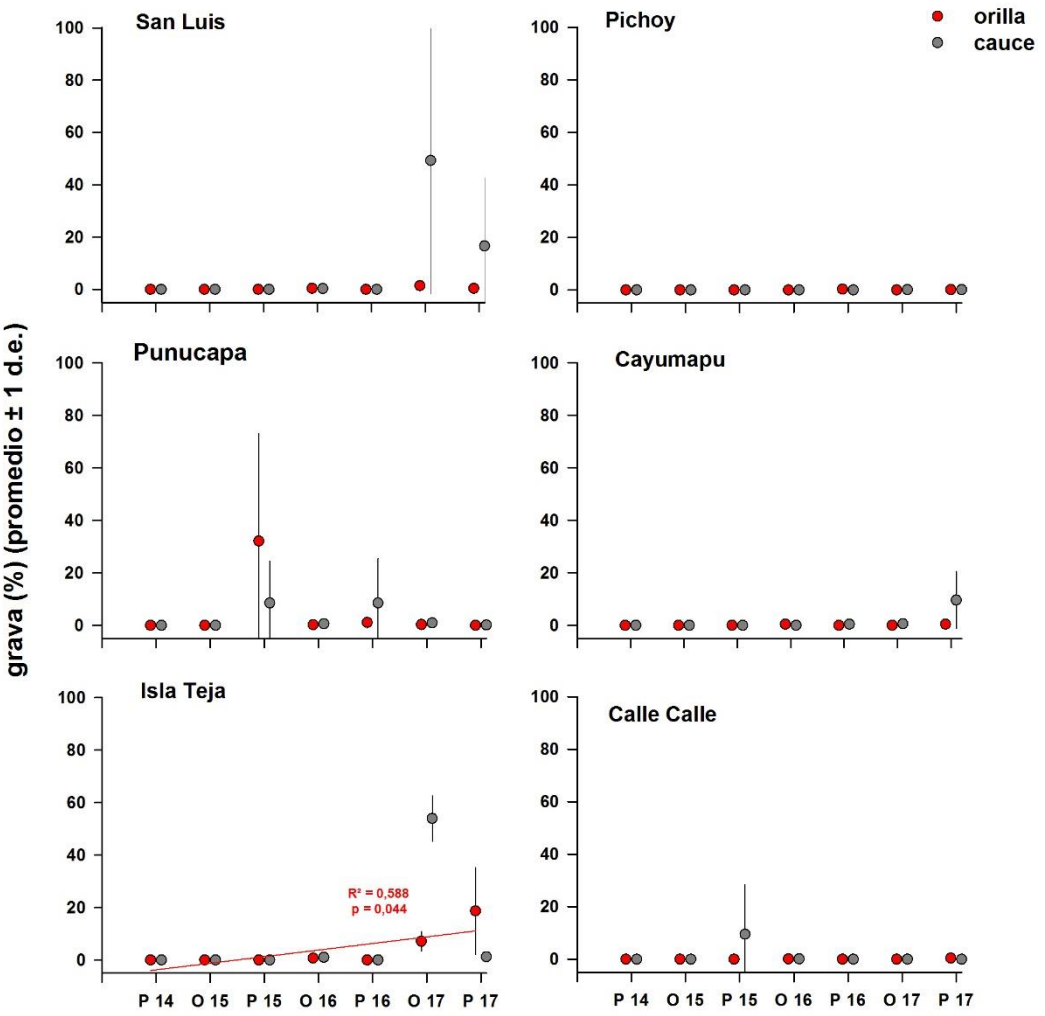


Figura 4.2.2.2. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio de grava contenida en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016 y 2017. Los valores son promedios ± 1 desviación estándar. Solo se muestran resultados de análisis de correlación entre valores porcentuales y tiempo, cuando los valores de p y R^2 fueron significativos; representados con sus valores y una línea color rojo o gris en orilla y cauce respectivamente según corresponda.

Arena

La fracción de arena (partículas comprendidas entre 63 y 2000 µm), ha sido la más abundante en los sedimentos durante todo el periodo de estudio (Tabla 4.2.2.2). Las mayores proporciones registradas corresponden a las halladas en el cauce (>90%); en Pichoy y Calle Calle durante la primavera del año 2014, en San Luis, Isla Teja, Pichoy y Calle Calle durante otoño del año 2015, y en Pichoy durante otoño de los años 2016 y 2017 (Tabla 4.2.2.2). A su vez, valores más bajos en el cauce (<10%) fueron registrados en Punucapa durante otoño del año 2016 y en Punucapa, Isla Teja y Cayumapu durante la primavera del año 2016 (Tabla 4.2.2.2). A su vez, en la orilla los valores porcentuales más altos (>70%) fueron registrados en el sector Isla Teja y río Pichoy durante la primavera del año 2014 y otoño del año 2015, y en el río Calle Calle durante la primavera del año 2014 (Tabla 4.2.2.2). Por otra parte, los valores porcentuales más bajos (<10%) registrados para la orilla ocurrieron en San Luis durante la primavera del año 2016 y en Cayumapu durante otoño y primavera del año 2016, y primavera del año 2017 (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 ($p < 0,05$) en los sedimentos del cauce en el sector San Luis y en la orilla del sector Cayumapu, el contenido de los mismos tendió a disminuir en el tiempo (Fig. 4.2.2.3).

Tabla 4.2.2.2. Valores porcentuales promedio de arena en los sedimentos de orillas y cauces del área de estudio durante la primavera del año 2014, el otoño y la primavera de los años 2015, 2016 y 2017. 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)
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 (22,2)	45,7 (8,9)	71,9 (4,7)	89,6 (9,5)	19 (9,0)	29,1 (8,4)

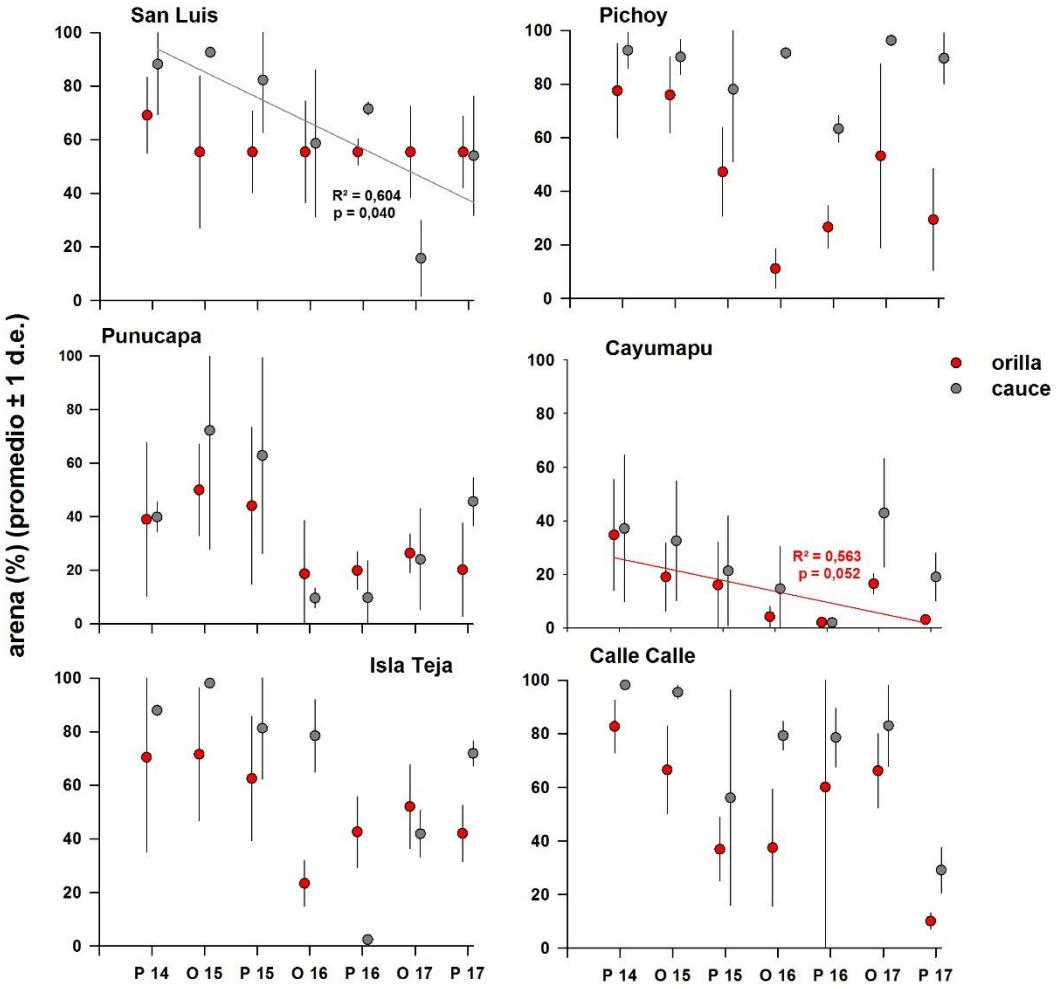


Figura 4.2.2.3. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio de arena contenida en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016 y 2017. Los valores son promedios ± 1 desviación estándar. Solo se muestran resultados de análisis de correlación entre valores porcentuales y tiempo, cuando los valores de p y R^2 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 de orilla presentando la mayor proporción (>80%) en el sector San Luis durante la primavera del año 2016; luego (>70%) en Cayumapu durante otoño del año 2015, Cayumapu y Calle Calle durante la primavera del año 2017 (Tabla 4.2.2.3). Por el contrario, los valores porcentuales más bajos de fango en sedimentos de orilla se presentaron durante la primavera del año 2014 en los ríos Pichoy y Calle Calle, 11,1 y 11,3% respectivamente (Tabla 4.2.2.3).

El fango contenido en las muestras de los cauces presentó las mayores proporciones (>60%) durante la primavera del año 2016 en los sectores Punucapa, Isla Teja y Cayumapu, y durante primavera y otoño del año 2015 en Cayumapu (Tabla 4.2.2.3). A su vez, proporciones menores (<2%) se presentaron en; Isla Teja durante los otoños de los años 2015 y 2017, 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 (Tabla 4.2.2.3). En esta fracción textural no se observó tendencia interanual significativa ($p > 0,05$) en los sedimentos de orilla y cauce analizados (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 y 2017. 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)
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)

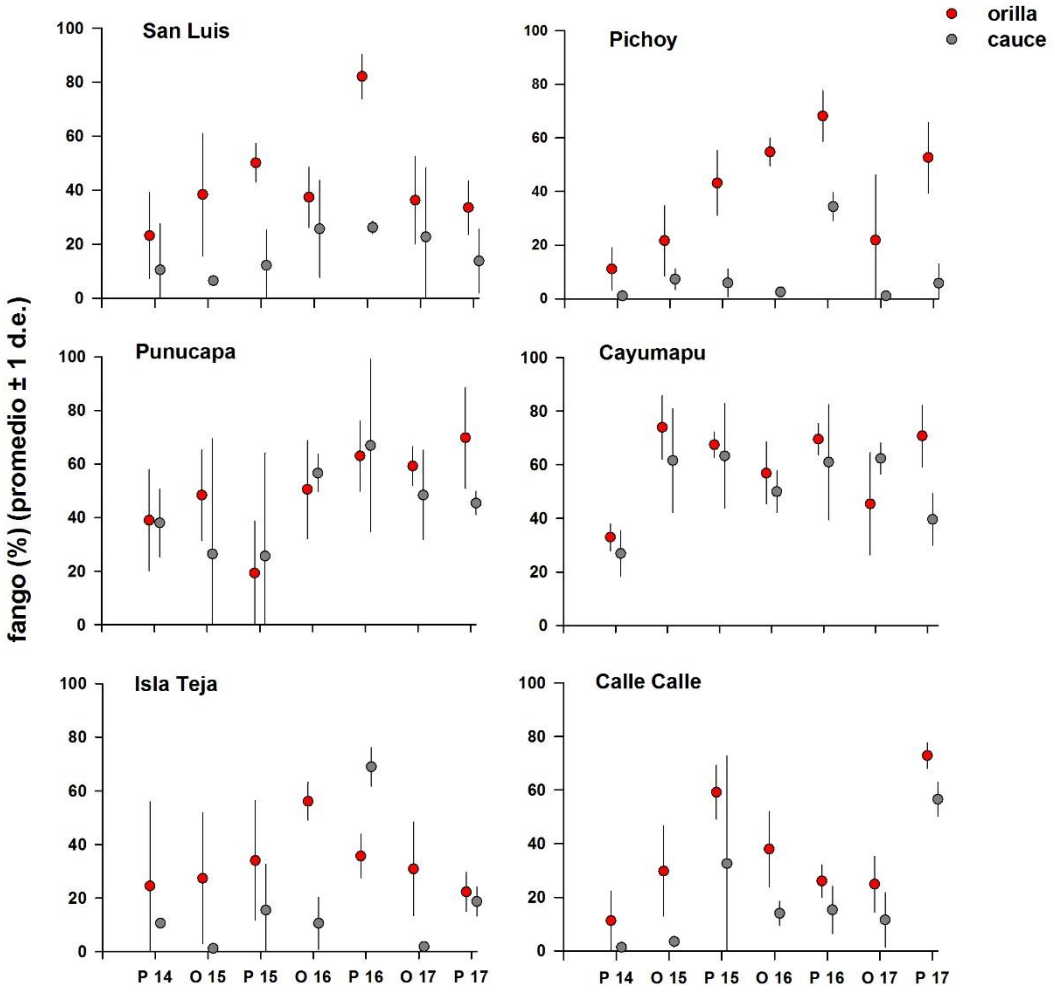


Figura 4.2.2.4. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio de fango contenido en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016 y 2017. Los valores son promedios ± 1 desviación estándar.

Agregados biogénicos

Los agregados biogénicos contenidos en los sedimentos de orilla y cauce del área estudiada fluctuaron entre 0,9 y 40%, en orilla, los valores porcentuales más altos (>30%) se presentaron durante el otoño del año 2016 en los sectores, San Luis, Punucapa, río Pichoy y Cayumapu, también en San Luis durante otoño del año 2017, y Cayumapu durante la primavera del año 2014 (Tabla 4.2.2.4), por el contrario, los menores valores porcentuales (<2%) se presentaron en el río Calle Calle durante la primavera del año 2014 y en Punucapa e Isla Teja durante el otoño del año 2015 (Tabla 4.2.2.4). A su vez, los agregados biogénicos contenidos en los sedimentos provenientes del cauce, presentaron mayores valores porcentuales (>30%) en; Cayumapu durante la primavera de los años 2014, 2016 y 2017, y Punucapa durante otoño del año 2016. En contraste, las menores proporciones (<2%) ocurrieron en; 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 2015, y en Punucapa durante otoño del año 2015 (Tabla 4.2.2.4).

Se observó que los agregados biogénicos contenidos en los sedimentos del cauce en el río Calle Calle durante el tiempo de estudio, presentaron una tendencia positiva, interanual significativa ($p < 0,05$) (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 y 2017. 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)
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)

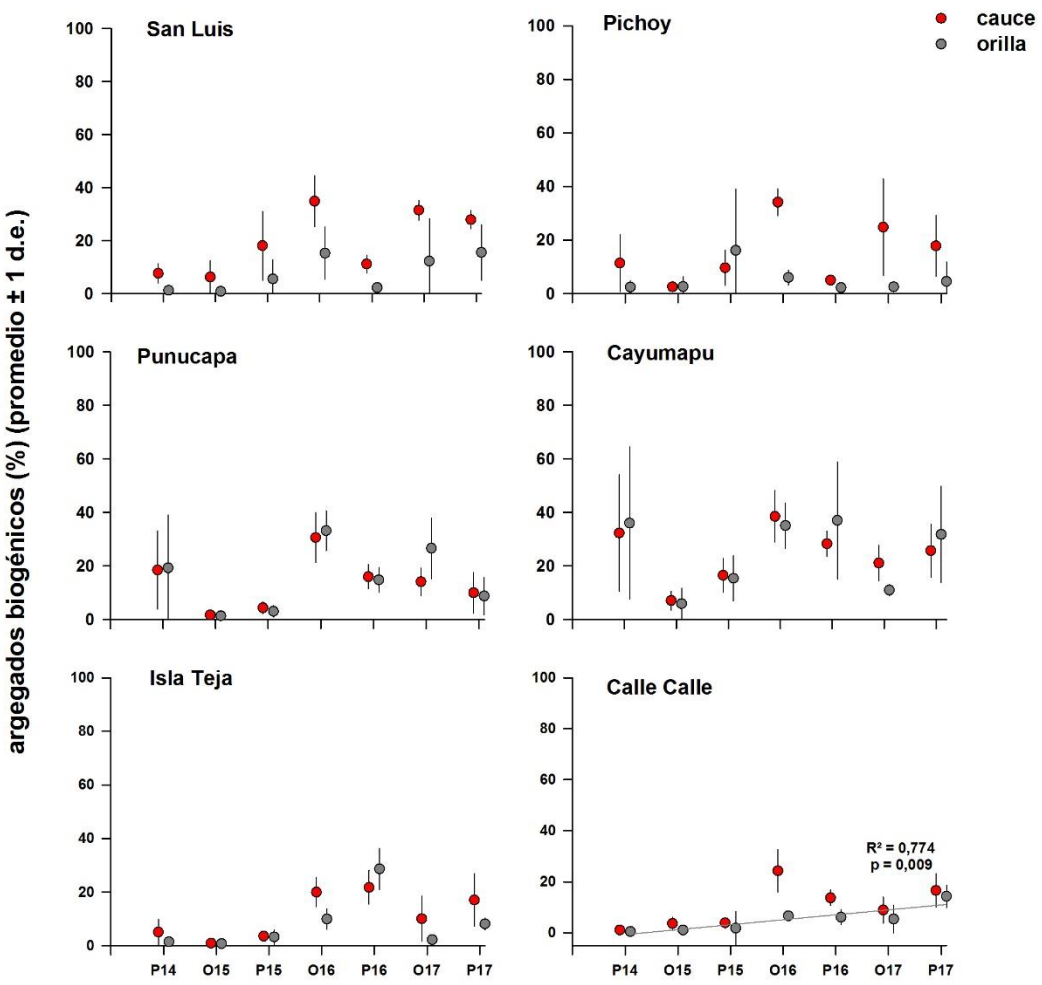


Figura 4.2.2.5. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio de agregados biogénicos contenidos en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016 y 2017. Los valores son promedios ± 1 desviación estándar. Solo se muestran resultados de análisis de correlación entre valores porcentuales y tiempo, cuando los valores de p y R^2 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 analizados los mayores valores porcentuales de materia orgánica total ocurrieron en las orillas, del área estudiada, con excepción de los sedimentos provenientes del sector Punucapa y río Cayumapu donde los valores porcentuales presentan una mayor uniformidad entre la orilla y el cauce. Los valores porcentuales de materia orgánica total variaron entre 2 y 35 %, con excepción de la orilla del sector San Luis en la primavera del año 2016 donde ocurrió una considerable alza de 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, río Cayumapu durante la primavera del 2016 y el cauce de Isla Teja y Punucapa durante la primavera del año 2016 (Tabla 4.2.2.5).

En el cauce, de los sitios del área de estudio ocurrieron los valores porcentuales más bajos (<3%); en el sector Isla Teja durante otoño de los años 2015 y 2017, en río Pichoy durante otoño del año 2015, y en río Calle Calle durante la primavera del año 2014 y el otoño del año 2015 (Tabla 4.2.2.5).

En la Figura 4.2.2.6. mostró una tendencia positiva interanual significativa ($p < 0,05$) en el cauce del río Calle Calle durante el periodo de estudio.

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 y 2017. 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)
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)

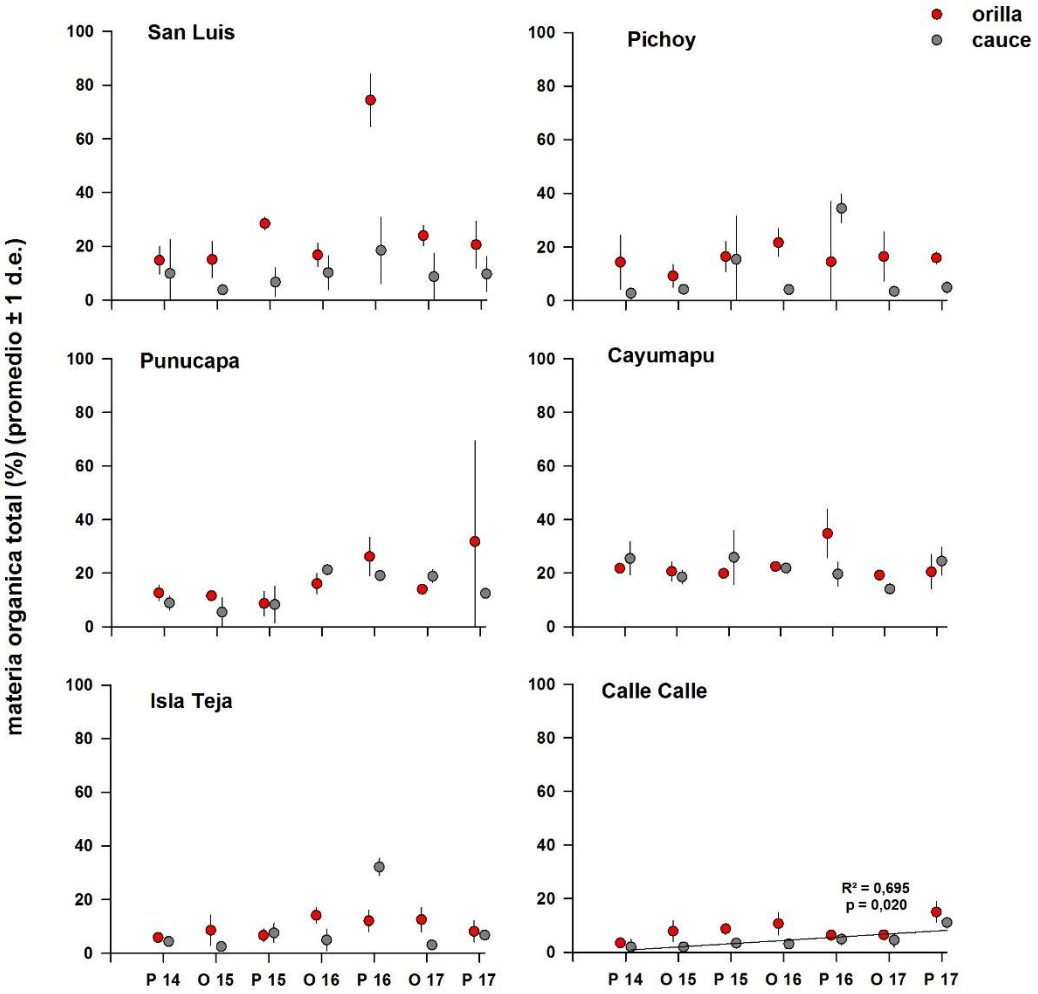


Figura 4.2.2.6. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio de materia orgánica total contenida en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016 y 2017. Los 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 R^2 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, con excepción de Punucapa y Cayumapu que presentaron mayor uniformidad de tamaños entre 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 que durante el otoño del año 2016 presentaron partículas de tamaño muy fino (< 125 µm; *cf*., Folk, 1980) (Tabla 4.2.2.6). A su vez, en los sedimentos provenientes de los cauces, las partículas de arena fueron mayoritariamente de tamaño medio en todos los sitios (250-500 µm; *cf.*, Folk, 1980), y de tamaño grueso (> a 500 µm, *cf.*, Folk, 1980) en San Luis durante otoño de los años 2015, 2017 y primavera de los años 2015 y 2016. Partículas finas (150-250 µm; *cf.*, Folk, 1980) fueron provenientes en los sedimentos de los sectores Punucapa y Cayumapu durante el otoño del año 2016 (Tabla 4.2.2.6).

El análisis de regresión lineal al cual se sometieron los datos de tamaño medio de la partícula de arena no mostró tendencia interanual significativa ($p > 0,05$) en los sedimentos de orilla y cauce (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 y 2017. 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)
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)

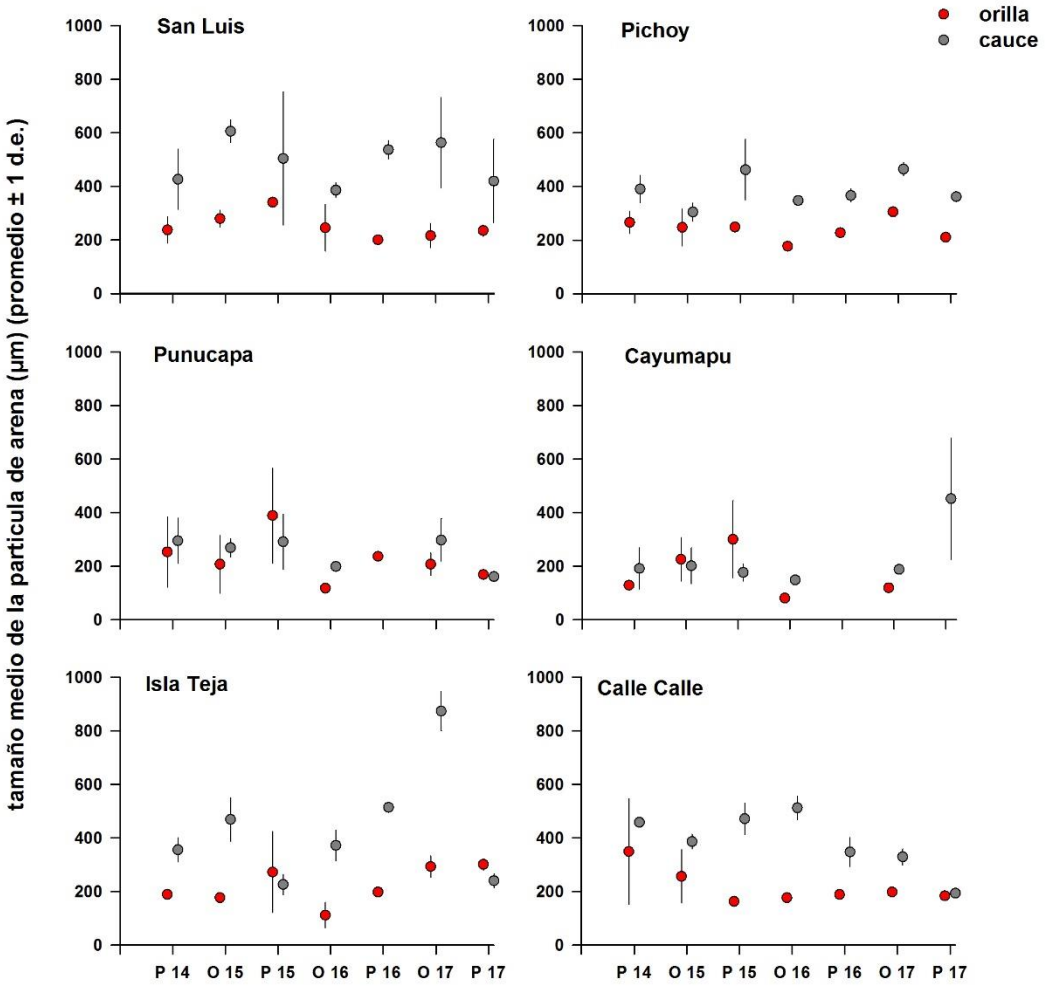


Figura 4.2.2.7. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio del tamaño medio de la partícula de arena contenida en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016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

pH

Los valores de pH registrados durante el periodo de estudio han presentado los valores más bajos durante la primavera del año 2014 en río Calle Calle (5,9 y 6,3), en los sedimentos provenientes de la orilla y el cauce respectivamente (Tabla 4.2.2.7). A su vez, los valores más bajos medidos se registraron 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 positivas y significativas ($p < 0,05$), provenientes de los sedimentos del cauce del sector San Luis y en los sedimentos de la orilla y el cauce del río Pichoy (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 y 2017. 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)
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)

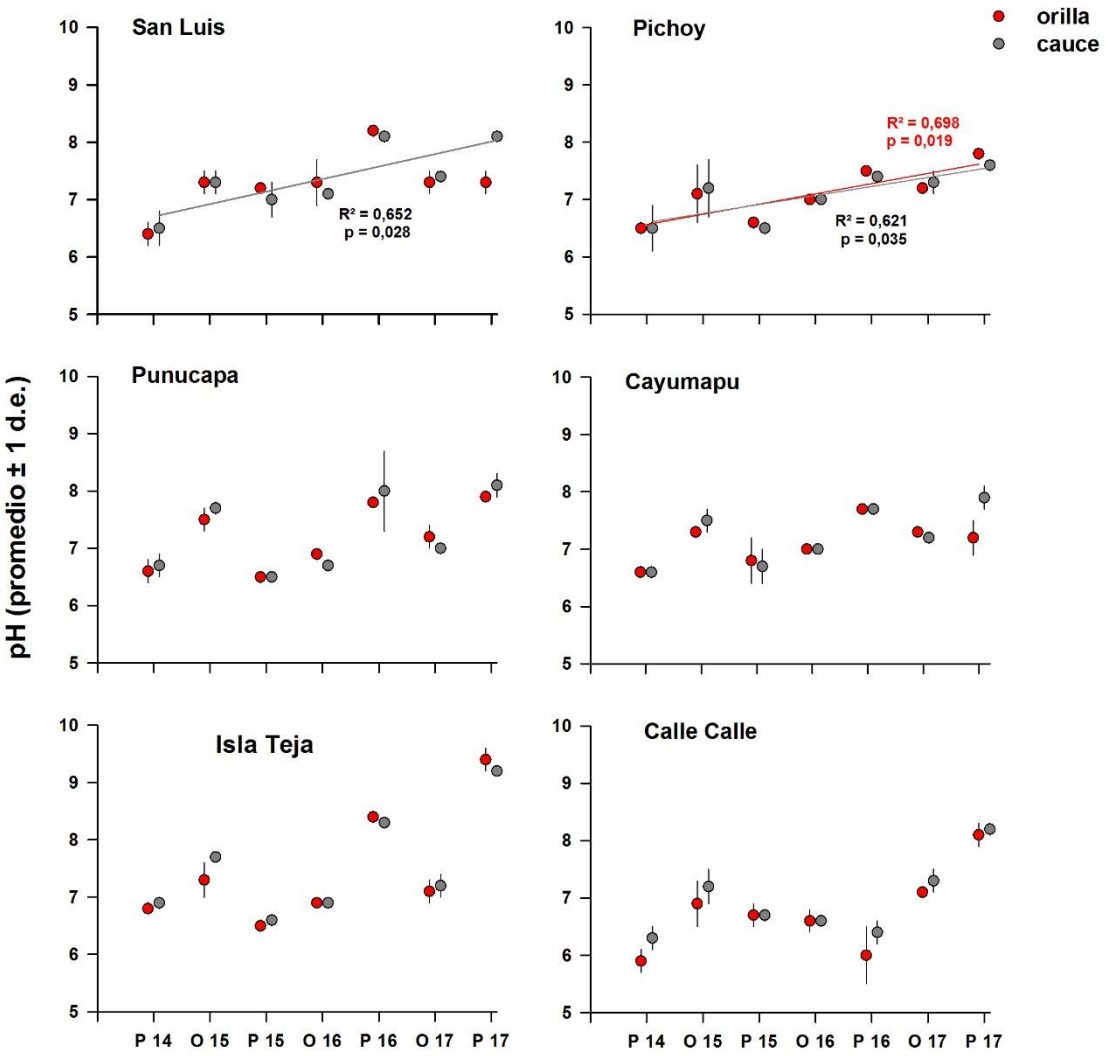


Figura 4.2.2.8. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio del pH en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016 y 2017. Los valores son promedios ± 1 desviación estándar. Solo se muestran resultados de análisis de correlación entre valores porcentuales y tiempo, cuando los valores de p y R^2 fueron significativos; representados con sus valores y una línea color rojo o gris en orilla y cauce respectivamente según corresponda.

Redox

Los valores 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 el Cayumapu durante la primavera del año 2017) y 148,1 mV (Punucapa durante la primavera del año 2015) (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 dio a conocer una tendencia interanual significativa ($p < 0,05$), al aumento del valor óxido reducción, en los sedimentos de la orilla provenientes del sector San Luis (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 y 2017. 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)
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)

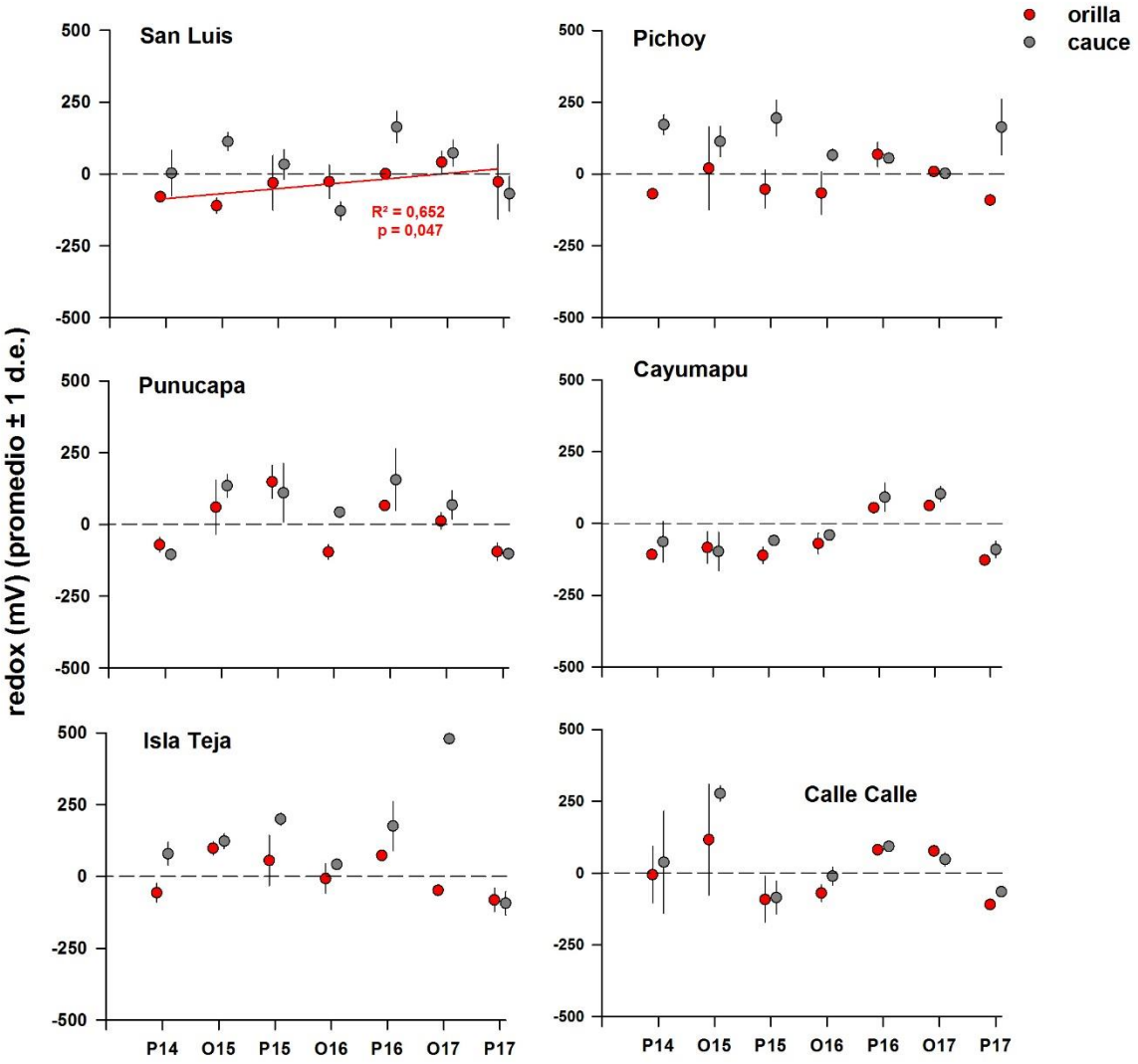


Figura 4.2.2.9. Comparación interanual de los valores porcentuales promedio del valor óxido reducción (redox) en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016 y 2017. Los valores 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 R^2 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 el año 2017, tanto en la campaña de otoño como la de primavera, 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 en el HRC 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 cuatro crustáceos, dos insectos, dos poliquetos, dos oligoquetos, 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.

Al igual que durante el año 2016, los resultados del tercer año del Programa de Monitoreo del HRC (año 2017), muestran que la riqueza promedio de especies por sitio de estudio varió entre 1 y 6 taxa, valores promedio más altos que los registrados durante el primer año del Programa de Monitoreo Ambiental (año 2015) y durante el Programa de Diagnóstico del HRC (año 2014) (Tabla 4.2.2.9 y Fig. 4.2.2.10).

El río Calle Calle, ha sido el sitio que ha presentado el número más alto de taxa, fundamentalmente durante el segundo y tercer año del Programa de Monitoreo del HRC, con excepción de los sedimentos de las orillas y cauces durante la primavera del año 2017, donde se observó una disminución de taxa (1 y 3 taxa, respectivamente) (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 y 2017. 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)
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)

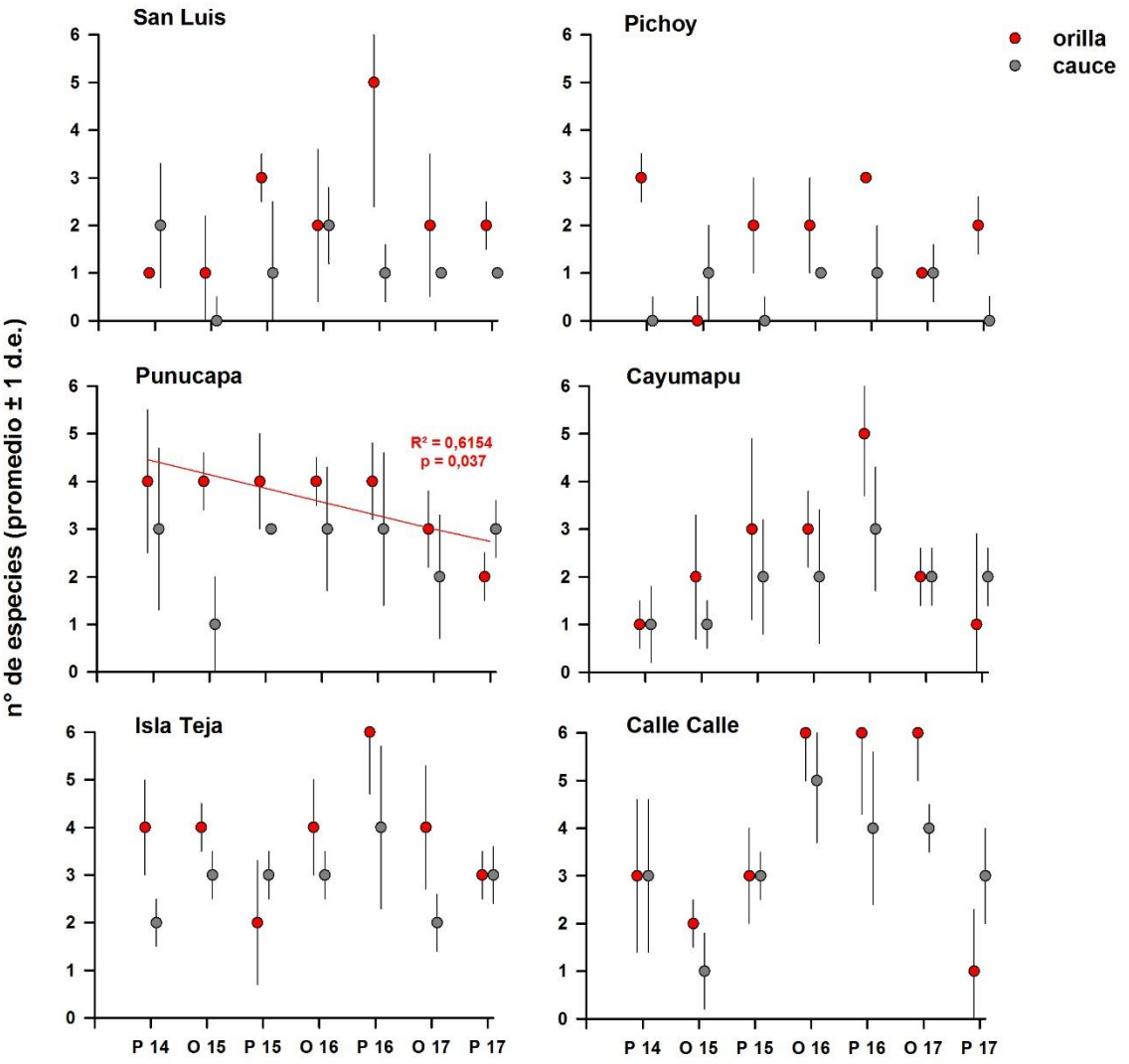


Figura 4.2.2.10. Comparación interanual de la riqueza de especies en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016 y 2017. Los valores son promedios (cuatro réplicas) ± 1 desviación 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 2017, fue mayor en los sedimentos de las orillas y cauces del río Calle Calle e Isla Teja (> a 25.000 ind/m^2), 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/m^2), 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 (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 y 2017. 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)
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)

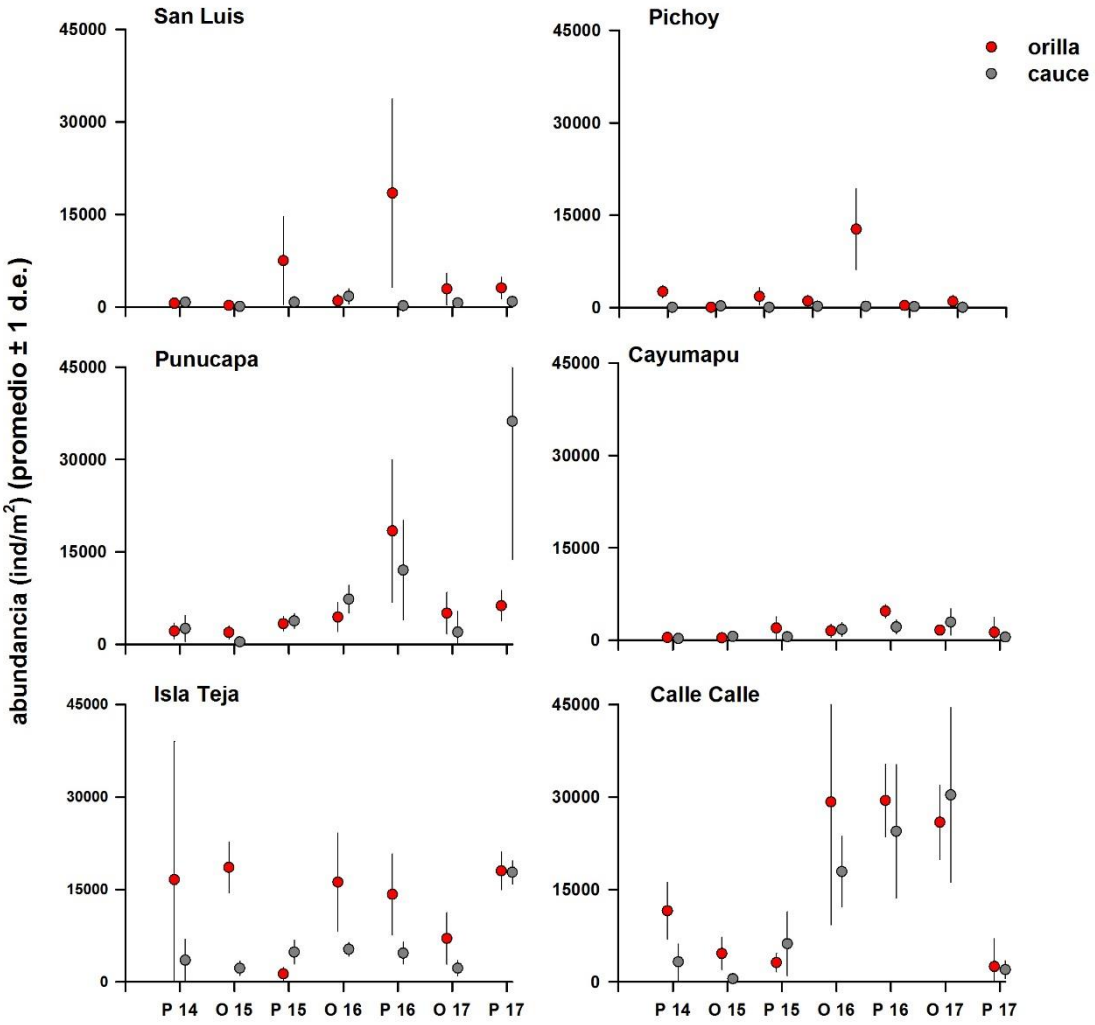


Figura 4.2.2.11. Comparación interanual de la abundancia total (ind/m^2) de la macroinfauna bentónica en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016 y 2017. Los valores son promedios (cuatro réplicas) ± 1 desviación estándar.

Biomasa

La biomasa total de la macroinfauna 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 y 2017. 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)
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)

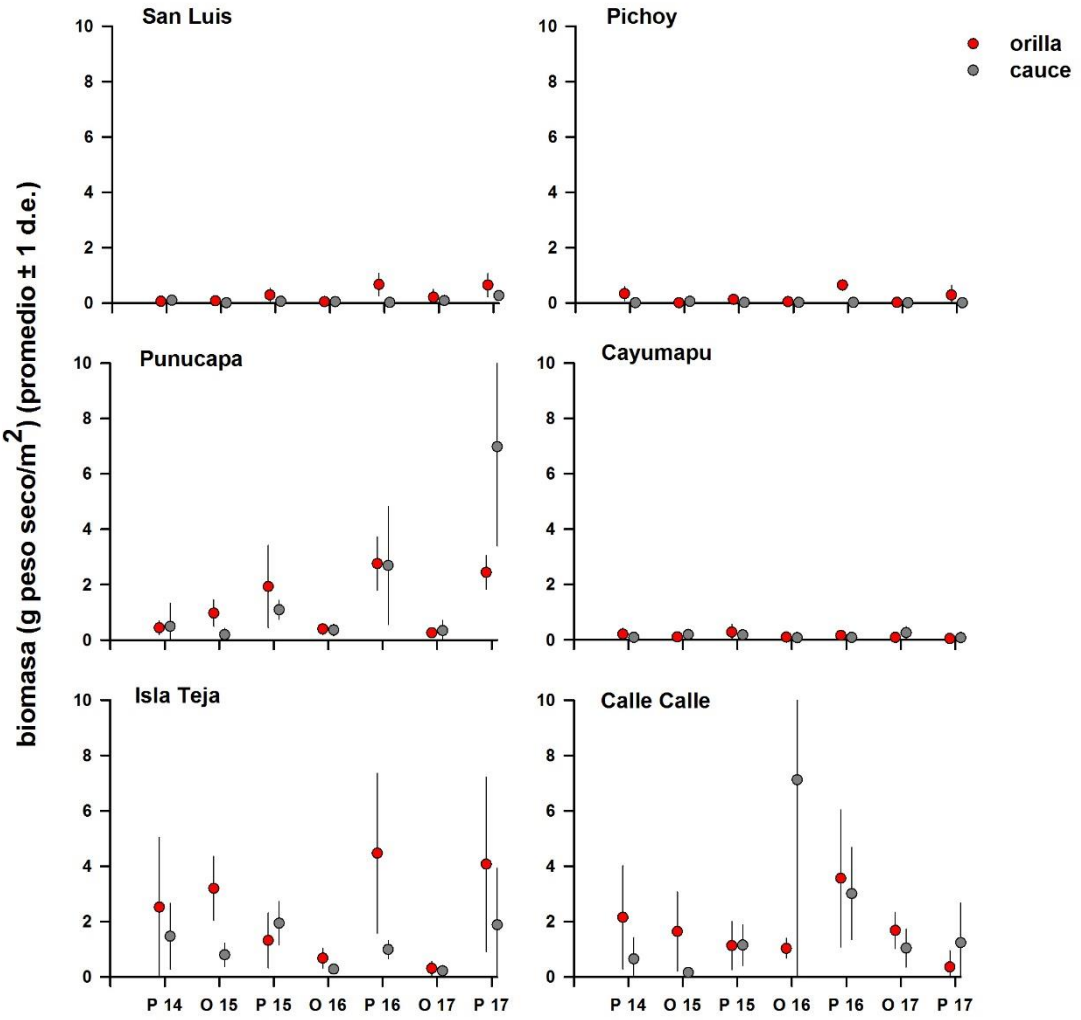


Figura 4.2.2.12. Comparación interanual de la biomasa total (g peso seco/m^2) de la macroinfauna bentónica en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016 y 2017. Los valores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

Diversidad

El Índice de diversidad de Shannon – Wiener, 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).

En general todos los valores más bajos de diversidad en los sedimentos de las orillas como en los cauces se dieron en el sector de San Luis y río Pichoy, valores cercanos a H'=0,00) (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; solo se observó una

tendencia interanual significativa ($p < 0,05$) en los sedimentos de las orillas del sector de Punucapa *i.e*, hubo una tendencia en la diversidad a disminuir en el tiempo.

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 y 2017. 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)
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)

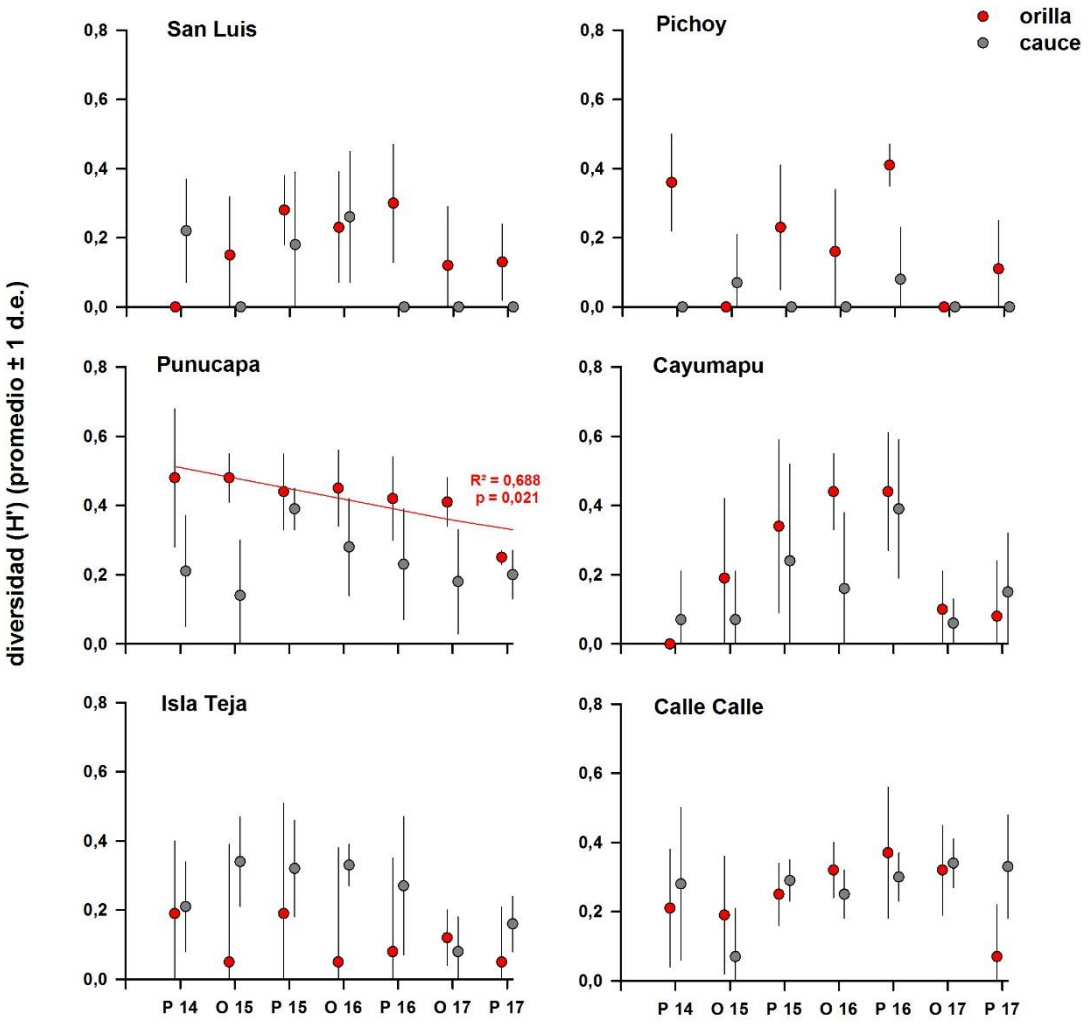


Figura 4.2.2.13. Comparación interanual del Índice de diversidad Shannon – Wiener de la macroinfauna bentónica en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016 y 2017. Los valores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

Uniformidad o equitatividad

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; solo se observó una tendencia interanual significativa ($p < 0,05$) en los sedimentos de los cauces del sector Isla Teja; *i.e.*, la Uniformidad tendió a disminuir 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 y 2017. 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)
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)

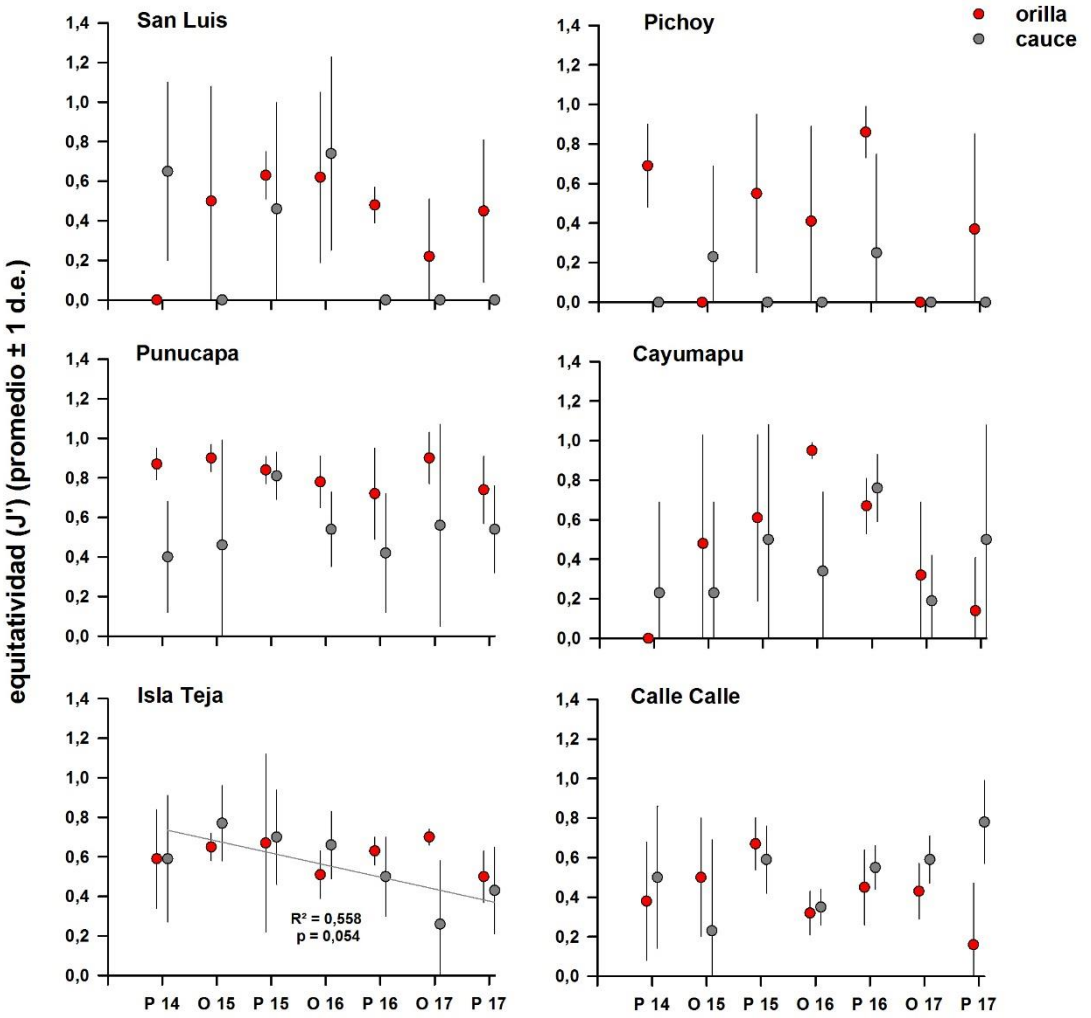


Figura 4.2.2.14. Comparación interanual del Uniformidad de Pielou o equitatividad de la macroinfauna bentónica en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016 y 2017. Los valores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

Las Tablas 4.2.2.14 y 4.2.2.15 muestran abundancia totales de los poliquetos *Prionospio (M) patagonica* y *Perinereis gualpensis.*

El poliqueto *Prionospio (M) patagonica* ha dominado en los sedimentos de las orillas y cauces del sector de Punucapa, Isla Teja y río Calle Calle, alcanzando sus mayores abundancias en los sedimentos de los cauces del sector de Punucapa (28.864 ind/m^2) e Isla Teja (16.477 ind/m^2), durante la primavera del año 2017. Por otra parte, pero en abundancias relativamente más bajas, el poliqueto *Perinereis gualpensis* lo ha hecho en los sedimentos de las orillas y cauces del sector de Punucapa, e Isla Teja (Tabla 4.2.2.14 y Tabla 4.2.2.15 respectivamente).

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; sólo se observó una tendencia interanual significativa ($p<0,05$) a aumentar en el tiempo en los sedimentos de las orillas del sector Punucapa para el poliqueto *Prionospio (M) patagonica,* a la vez, *Perinereis gualpensis* no mostró ninguna tendencia interanual significativa ($p > 0,05$) de disminuir o aumentar en el tiempo en las 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 y 2017. 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
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

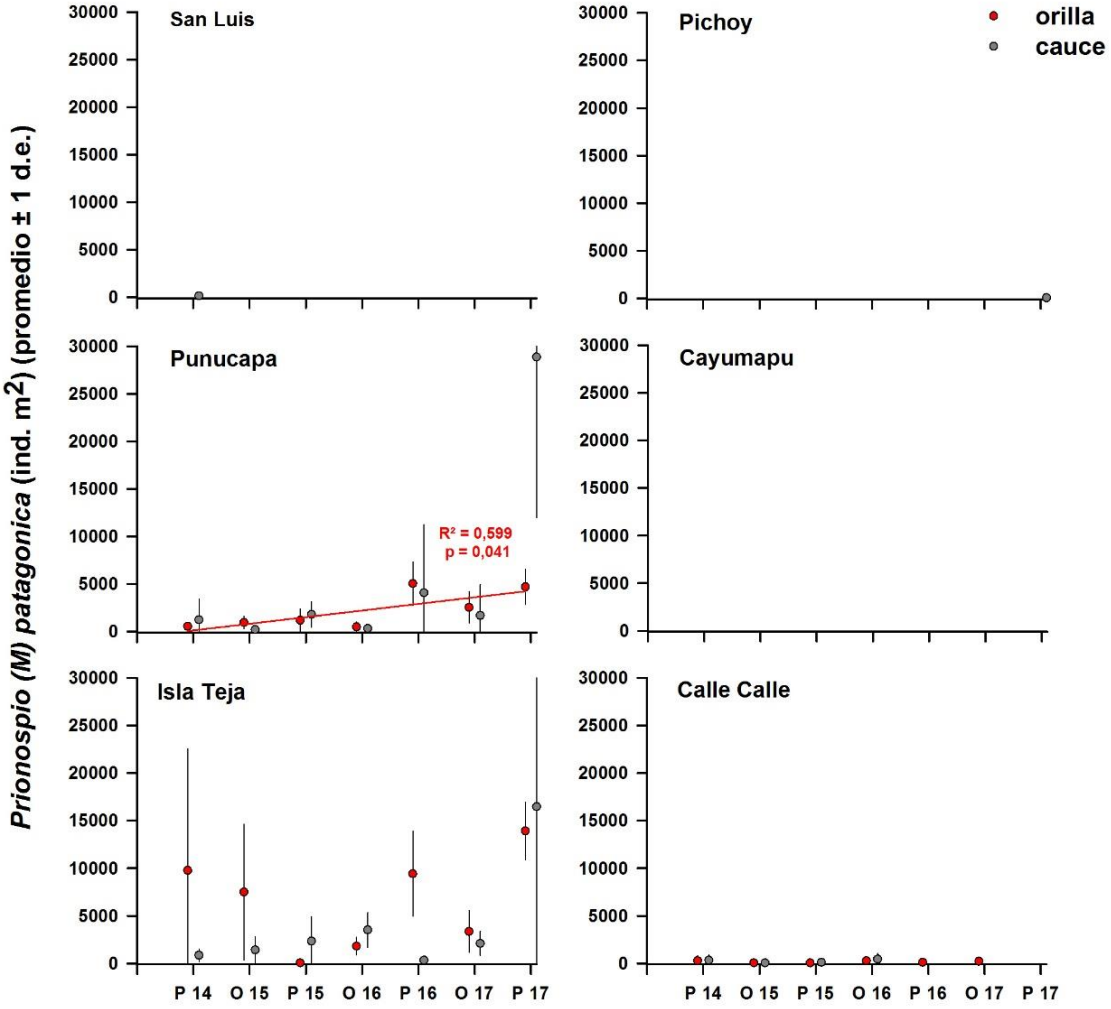


Figura 4.2.2.15. Abundancia total (ind/m^2) del poliqueto *Prionospio (M) patagonica*, en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016 y 2017. Los valores son promedios (cuatro 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 y 2017. 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
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

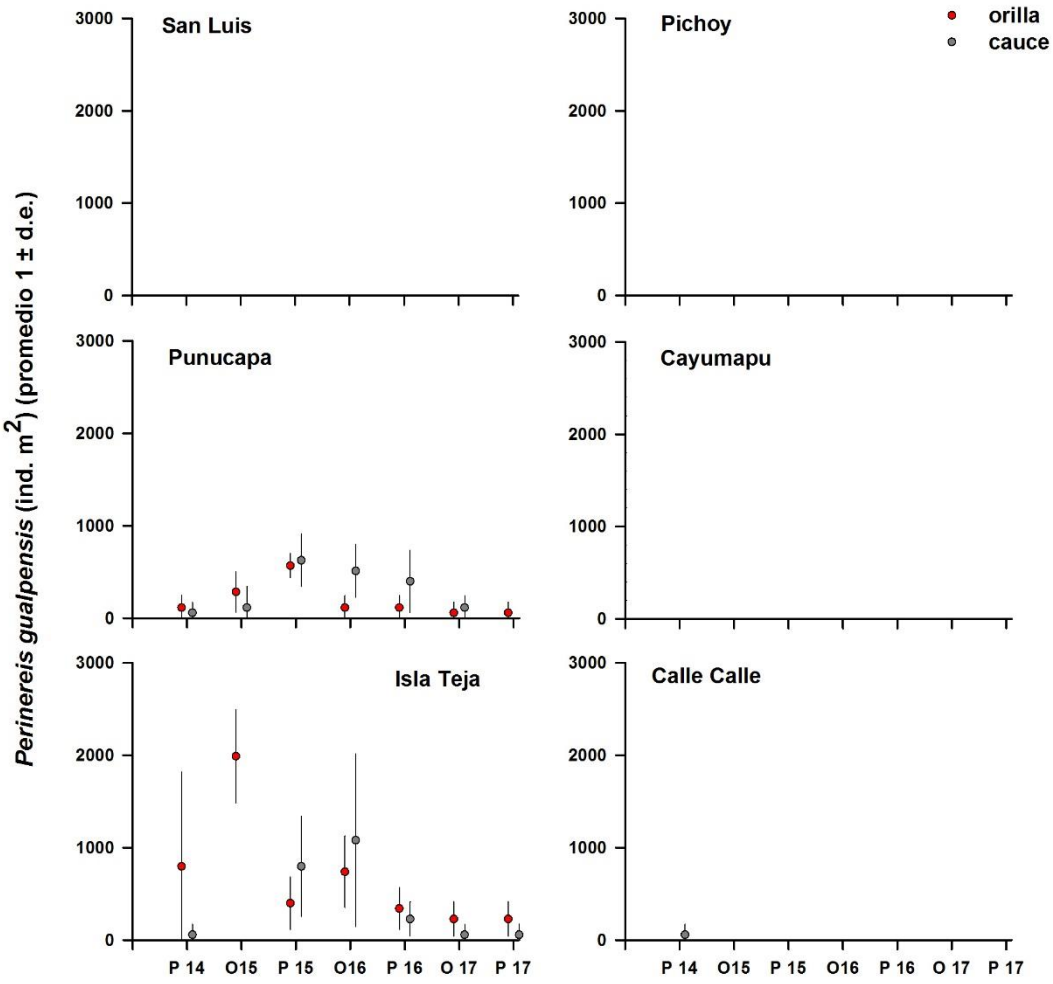


Figura 4.2.2.16. Abundancia total (ind/m^2) del poliqueto *Perinereis gualpensis* en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016 y 2017. Los valores son promedios (cuatro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

El anfípodo *Paracorophium hartmannorum* presento sus mayores abundancias en los sedimentos de las orillas y cauces del sector Punucapa e Isla Teja y en menor ocurrencia en el río Pichoy y Calle Calle. Durante el año 2017, se observó una disminución de esta especie en estos sitios de estudio. A su vez, está especie ha estado ausente en el sector San Luis durante todo el periodo de estudio (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 y 2017. 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
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

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.

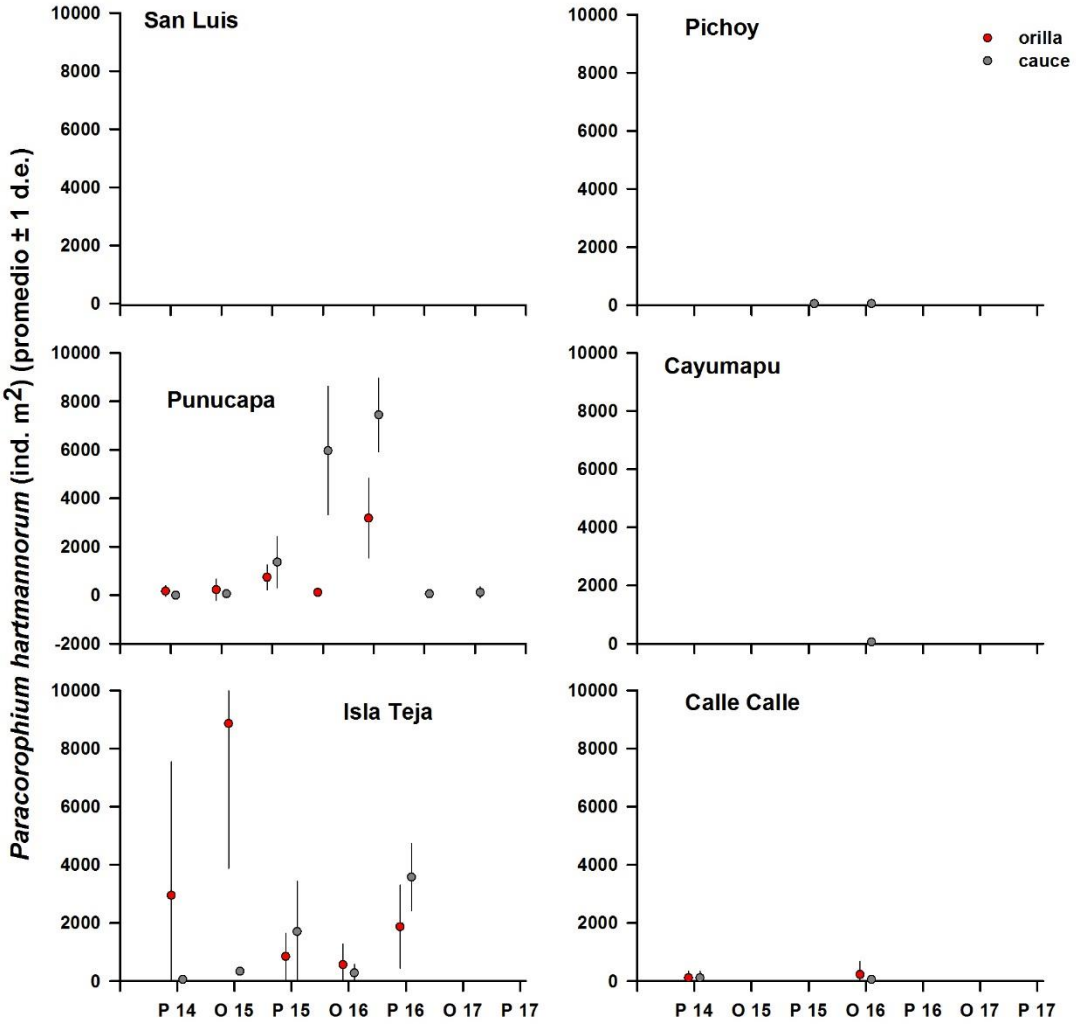


Figura 4.2.2.17. Abundancia total (ind/m^2) del anfípodo *Paracorophium hartmannorum* en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016 y 2017. Los valores son promedios (cuatro 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 de estudio (Tabla 4.2.2.17). Esta especie mostró una tendencia interanual significativa ($p < 0,05$) a aumentar en el tiempo en los sedimentos de los cauces del sector San Luis y río Calle Calle (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 y 2017. 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)
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)

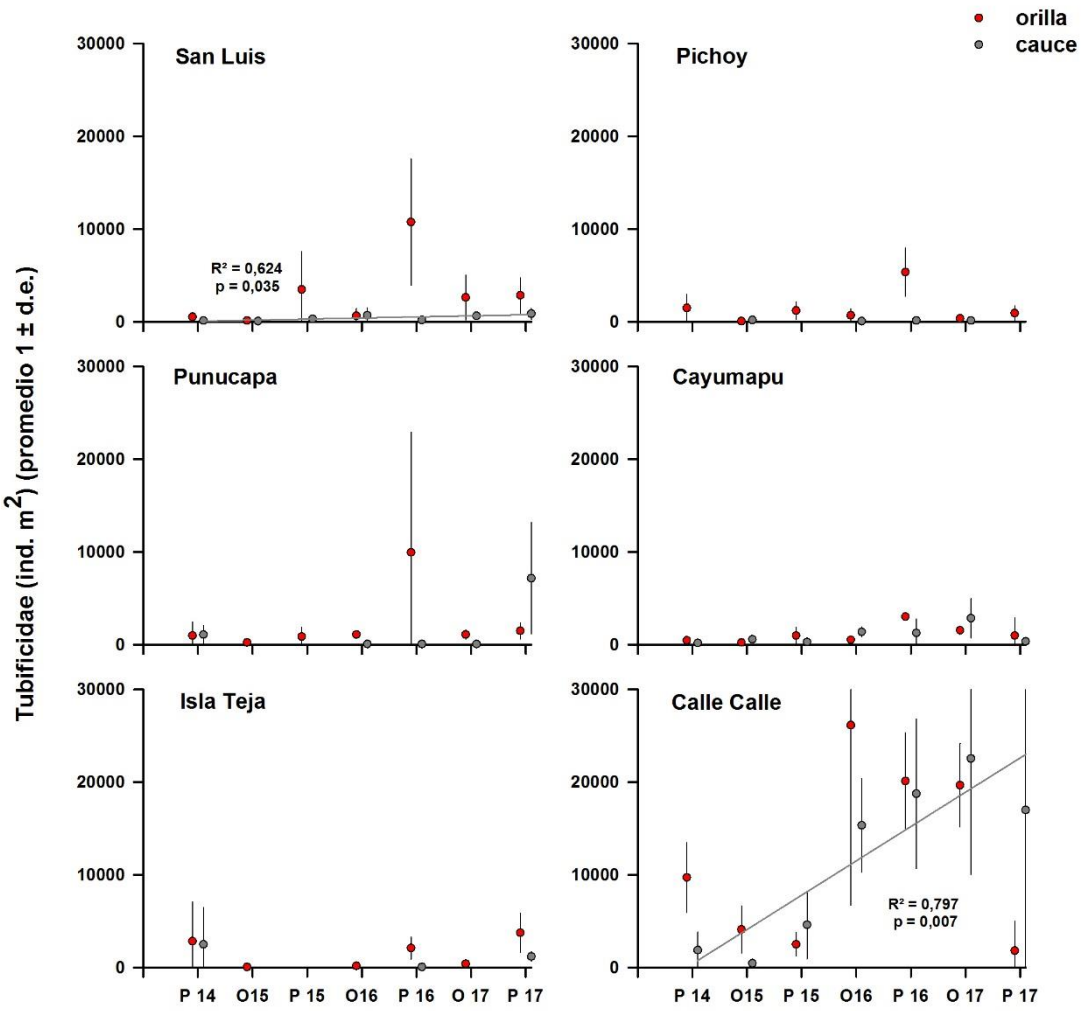


Figura 4.2.2.18. Abundancia total (ind/m^2) del oligoqueto Tubificidae en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016 y 2017. Los valores son promedios (cuatro réplicas) ± 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.

Los insectos de la familia Chironominae han estado en general presentes en todos los sitios de estudio, aun cuando en abundancias relativamente bajas, las mayores abundancias se han registrado en los sedimentos de las orillas y cauces del río Calle Calle pero no han sobrepasado los 4.000 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 y 2017. 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
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

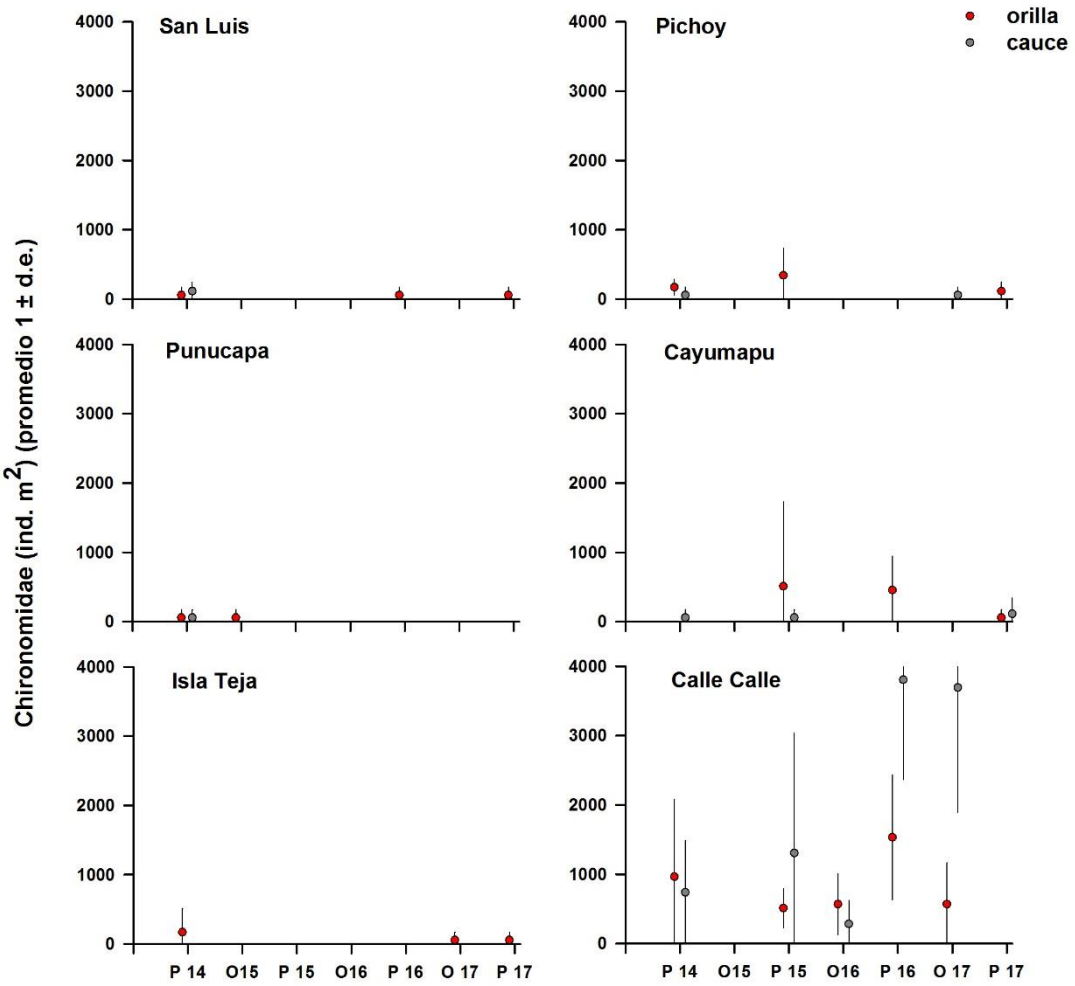


Figura 4.2.2.19. Abundancia total (ind/m^2) del insecto de la familia Chironominae en los sedimentos de orillas (círculos rojos) y cauces (círculos grises) del área de estudio, durante la primavera del año 2014 y el otoño y la primavera de los años 2015, 2016 y 2017. Los valores son promedios (cuatro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

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).

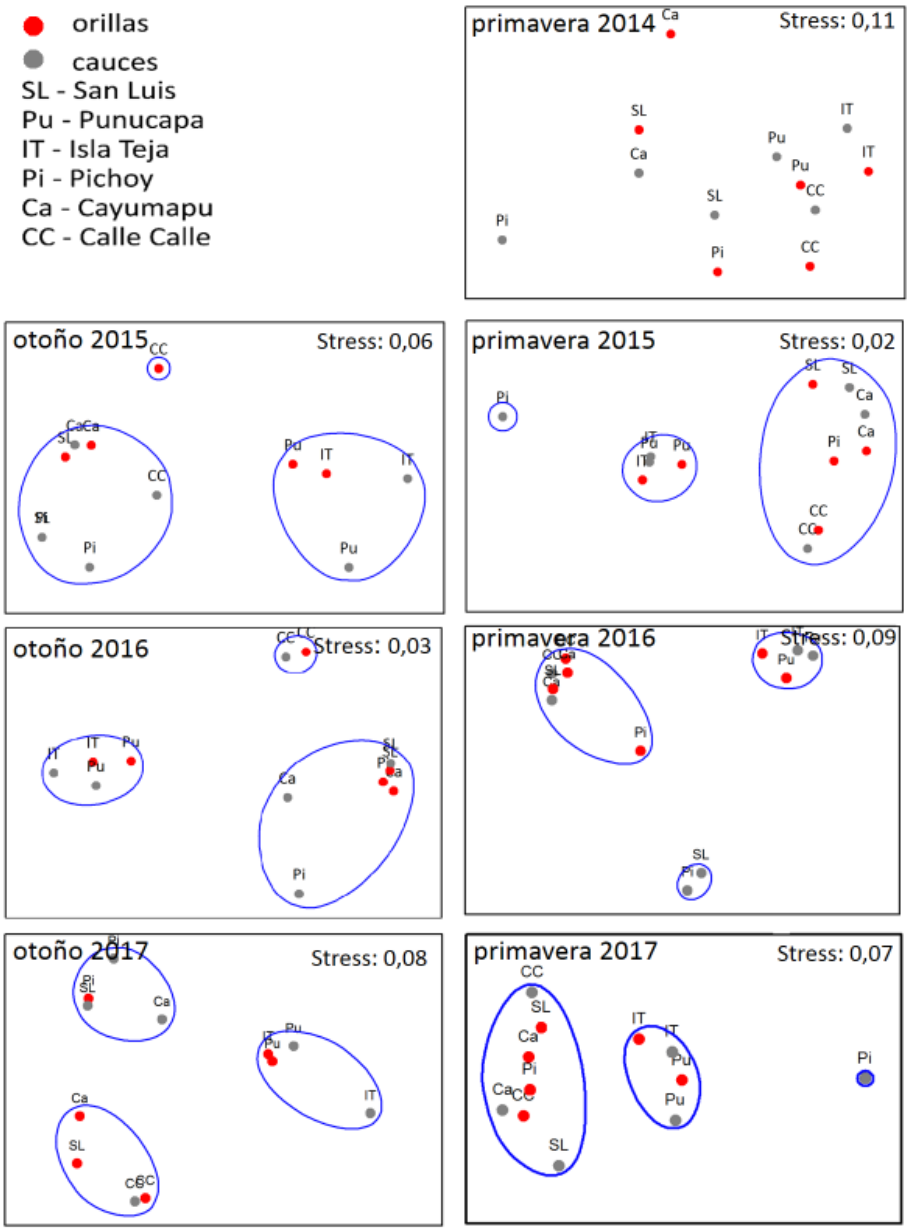


Figura 4.2.2.20. Representación gráfica del análisis de escalamiento multidimensional no métrico, basado en la abundancia de los organismos de la macroinfauna bentónica presentes en los sedimentos de los sitios muestreados (orillas-cauces), durante la primavera de 2014, otoño y primavera de 2015, 2016 y 2017. Análisis basados en una matriz de similitud construida a partir del Índice de Bray Curtis.

4.2.2.5. Conclusiones

- Las fracciones texturales arena y fango son las que predominan en los fondos sedimentarios del área de estudio; fango, partículas finas y partículas de tamaño medio son las que prevalecen en los sedimentos de las orillas del área de estudio. • Partículas de tamaño medio y tamaño grueso son las que prevalecen en los sedimentos del cauce. 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 del río Cayumapu.
- Los valores de agregados biogénicos y materia orgánica total contenida en los sedimentos del cauce del río Calle Calle (fuera del HRC y sus ríos tributarios), mostraron una tendencia estadísticamente significativa en el tiempo.
- 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. Los valores obtenidos en los sedimentos provenientes de las orillas del sector San Luis, dan a conocer una tendencia al aumento en el tiempo la cual es estadísticamente significativa.
- 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, se registró el menor número de taxa hasta ahora encontrado (12 taxa) pero similar al número encontrado 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 (tercer 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, ha sido los taxa que han estado presente en todos los sitios de estudio, 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 río 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 y 2017. 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)	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)	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

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)	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

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

4.2.3. MACROFAUNA DE FONDOS RITRALES

4.2.3.1 Antecedentes

La macrofauna bentónica que habita fondos acuáticos 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 plecópteros, efemerópteros, 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 (Huillín), respectivamente (*e.g*., Medina, 1997, 1998) en ríos y humedales del sur de Chile.

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 Tercer año del Programa de Monitoreo Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC) (otoño y primavera del año 2017).
- 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 Tercer año del Programa de Monitoreo (2017), con los datos de los muestreos realizados en la misma área durante el otoño y primavera de los años 2014 correspondiente al Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, y el Primer y Segundo año del Programa de Monitoreo ambiental del HRC, 2015 y 2016 respectivamente.

4.2.3.3. Material y métodos

Obtención de las muestras de macrofauna

Los muestreos se realizaron en otoño (abril) y primavera (noviembre) del año 2017 (Tabla 4.2.3.1), en los sitios que se muestran en la Figura 4.2.3.1. Se muestreó en un sitio ubicado en el río Calle Calle, debido a que esa área no fue afectada por los cambios ambientales del año 2004 y por lo tanto se lo considera como un sitio control. Para efectos del actual monitoreo la estación de muestreo “Carriquilda”, hoy se denomina Cahuincura.

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) (Fig. 4.2.3.2) provista con malla de 250 µm de trama; ésta se usó 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 2017	primavera 2017
Porción superior del río Cruces (sector límnico)		
1 (sector Ciruelos)	4 abril 2017	10 noviembre 2017
2 (sector Rucaco)	5 abril 2017	10 noviembre 2017
3 (sector Cahuincura)	6 abril 2017	14 noviembre 2017
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios		
4 (río Calle Calle)	7 abril 2017	14 noviembre 2017

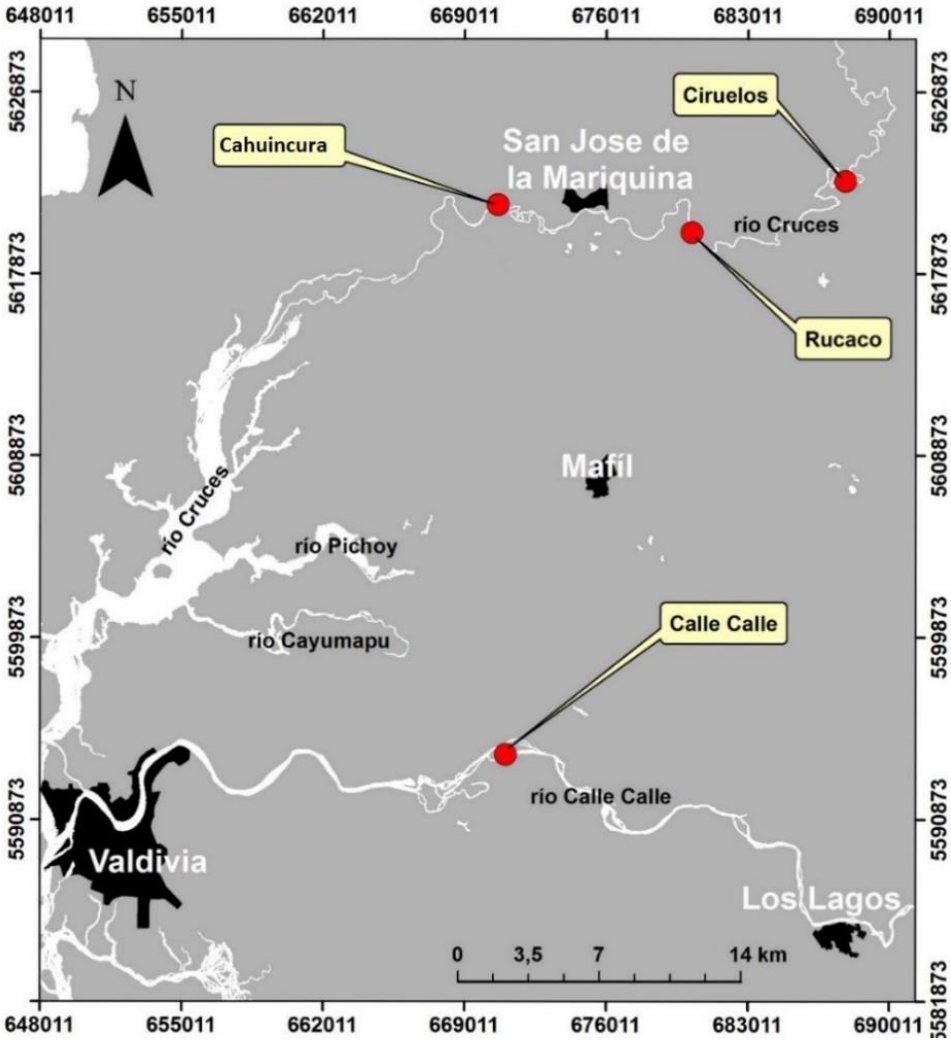


Figura 4.2.3.1. Ubicación de los sitios de muestreo para el estudio de la macrofauna de invertebrados bentónicos que ocurren en los fondos ritrales del río Cruces y río Calle Calle. .



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 del agua

Para evaluar la calidad del agua (referida a carga de materia orgánica disponible en el ambiente) mediante indicadores biológicos, se utilizó el Índice Biótico de Hilsenhoff modificado (RBP III) (Plafkin *et al*., 1989) 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*., (1990), 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 2017 se encontraron 34 especies de macroinvertebrados bentónicos provenientes de los fondos ritrales de los ríos Cruces y Calle Calle, siendo los insectos del orden “Diptera” los más representativos en estos fondos. En otoño del año 2017 ocurrieron 19 especies (11 insectos, 1 crustáceo, 1 arácnido, 2 gasterópodos, 3 oligoquetos y 1 platelmintos), a la vez, que en la primavera del mismo año la macrofauna bentónica estuvo compuesta por 26 especies (16 insectos, 2 crustáceo, 1 arácnido, 3 gasterópodos, 2 bivalvos, 1 oligoqueto y 1 platelminto) (Tabla 4.2.3.3), en dicha tabla se indica también el valor del Índice Biótico asignado a cada especie (*cf*. Tabla 4.2.3.2). Durante el año 2016, se encontraron 23 especies, durante el año 2015, 29 especies, y por ultimo durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (año 2014) el número de taxa encontradas alcanzo a 33 especies.

Tabla 4.2.3.3. Invertebrados bentónicos de fondos ritrales recolectados en el área de estudio para el año 2017 (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 2017	primavera 2017
Arthropoda	Insecta	Diptera	*Eukiefferiella* sp.	4	✓	✓
			Corynoneura sp.	4	✓	✓
			Lopescladius sp.	5	X	✓
			Alluaudomya sp.	6	✓	X
			Rheotanytarsus sp.	6	X	✓
			Atherix sp.	4	✓	X
			Orthocladius sp.	6	✓	X
			Simulium sp.	4	✓	✓
			Tipulidae	3	X	✓
			Limoniidae	3	X	✓
		Ephemeroptera	*M. diguillina*	4	✓	✓
			A. torrens	5	X	✓
			A. peruvianus	4	X	✓
			P. flavidula	4	✓	✓
		Plecoptera	*L. jaffueli*	2	✓	✓
		Trichoptera	*S. annulucormis*	5	✓	✓
			Limnephilidae	4	X	✓
			Hidroptilidae	5	X	✓
		Coleoptera	*Luchoelmis* sp.	4	✓	X
			Austromnius sp.	4	X	✓
	Crustacea	Decapoda	*Aegla abtao*	5	✓	X
			Aegla spp.	4	X	✓
		Amphipoda	*H. costera*	8	X	✓
	Arachnida	Acariforme	*Hydracarina*	6	✓	X
			Hylobatidae	6	X	✓
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	*C. dombeyana*	6	✓	✓
			Ancylidae	7	✓	✓
		Mesogastropoda	*L. cumingi*	7	X	✓
	Bivalvia	Ameletopsidae		2	X	✓
		Sphaeriidae		6	X	✓
Annelida	Oligochaeta			5	✓	✓
		Haplataxida	*Tubifex* sp.	10	✓	X
			Tubificidae	10	✓	X
Plathelminthes	Rhabditophora	Tricladida	*D. anceps*	4	✓	✓

Atributos Comunitarios

Riqueza de especies

Durante las ocho campañas estacionales realizadas durante cuatro años (otoño y primavera de los años 2014 al 2017) la riqueza de especies encontradas en el área de estudio, ha variado de 6 especies, ocurridas en el río Calle Calle y Cahuincura durante el otoño y la primavera de los años 2015 y 2017 respectivamente, a 18 especies ocurridas en el sector Ciruelos durante el otoño del año 2014 (Tabla 4.2.3.4). La variabilidad temporal de la riqueza de especies existente en el área de estudio se ha comportado de manera más bien heterogénea y no ha mostrado tendencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) a aumentar o disminuir en el tiempo (Fig. 4.2.3.3).

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 y 2017. 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**
1 (sector Ciruelos)	18 (1)	14 (1)	13 (1)	7 (1)	12 (1)	13 (1)	13 (1)	10 (1)
2 (sector Rucaco)	13 (1)	15 (0)	11 (1)	13 (1)	9 (2)	12 (1)	10 (1)	14 (3)
3 (sector Cahuincura)	14 (1)	8 (3)	11 (3)	13 (1)	10 (2)	13 (1)	6 (1)	6 (2)
4 (sector Calle Calle)	9 (5)	9 (3)	6 (1)	6 (1)	7 (1)	10 (1)	10 (1)	7 (1)

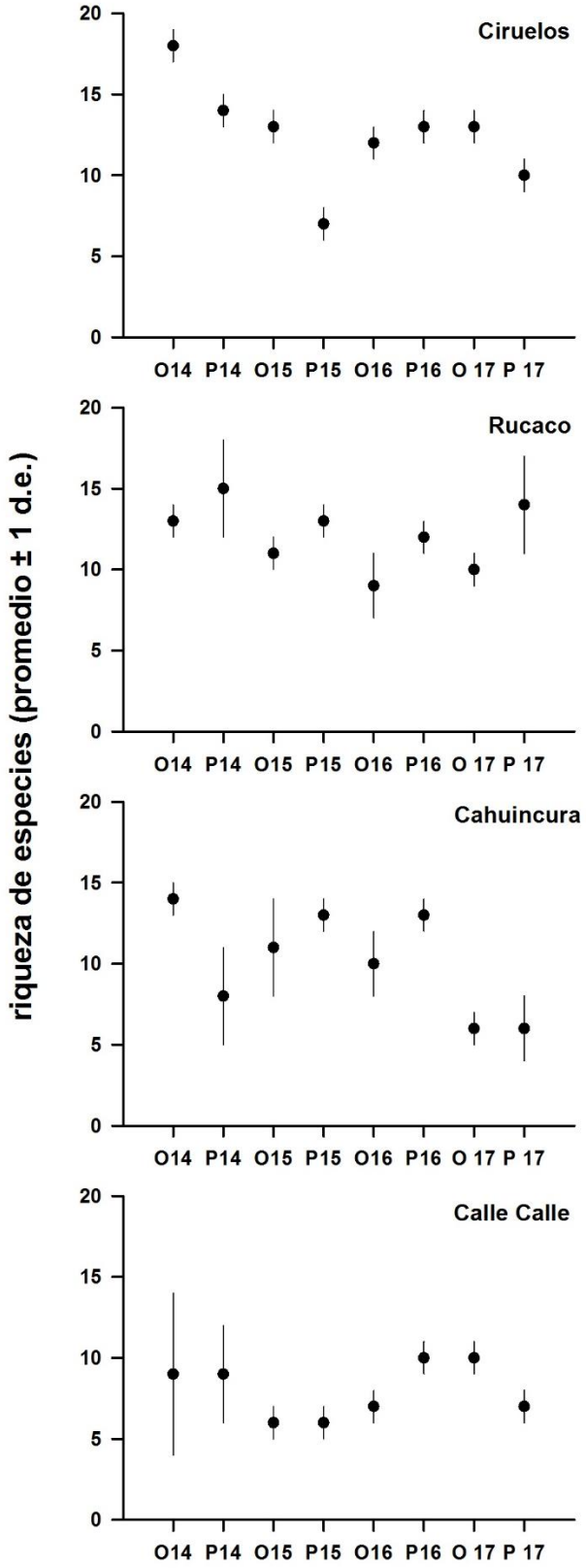


Figura 4.2.3.3. Riqueza promedio de especies de invertebrados bentónicos en los fondos ritrales del área de estudio, durante las estaciones de otoño (O) y primavera (P) de los años

2014, 2015, 2016 y 2017. Los valores corresponden al promedio de las réplicas ± 1 desviación estándar.

Abundancia

Las abundancias totales registradas en cada sitio de estudio 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 536 (ind/m^2) durante el otoño del año 2015 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). En términos generales, durante el periodo de estudio las abundancias fluctuaron entre 19.797 (ind/m^2) ocurridos en el sector 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 4.2.3.4 muestra la variabilidad interanual existente en las abundancias totales estimadas para cada sitio de estudio, las cuales no presentaron ninguna tendencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) en el tiempo.

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 y 2017. 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 Carriquilda)	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 Carriquilda)	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)

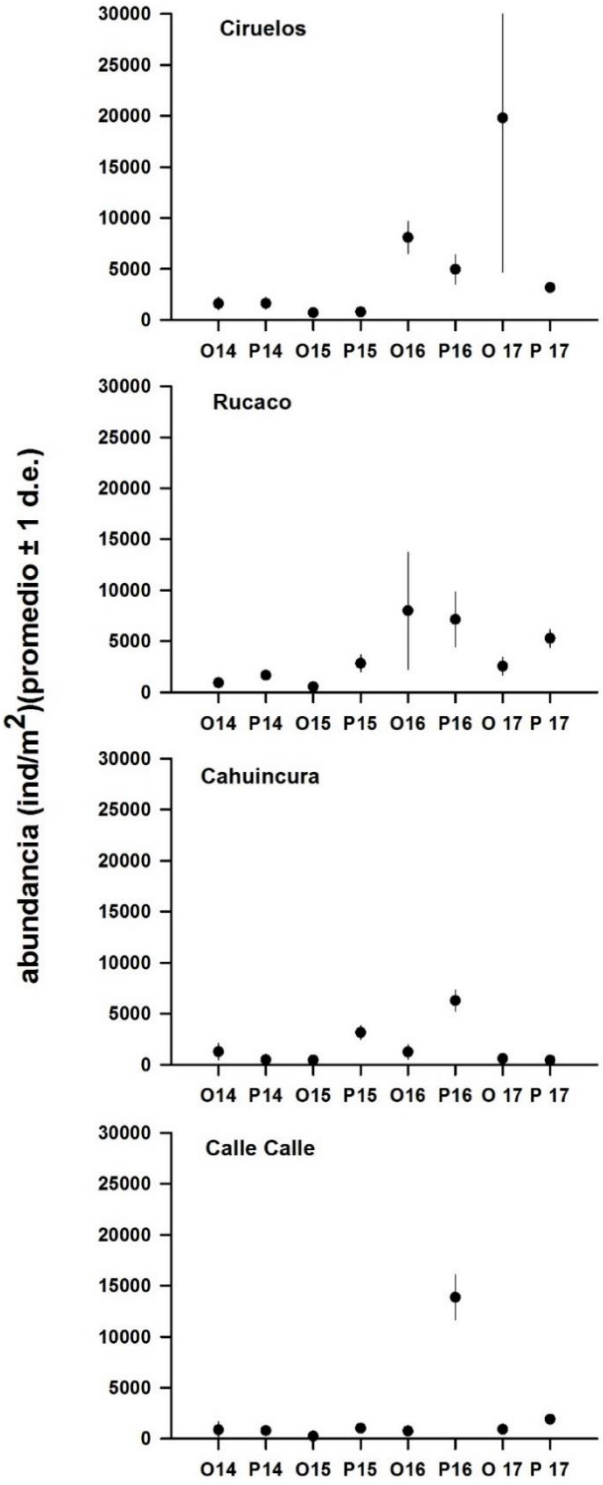


Figura 4.2.3.4. Abundancia total promedio de invertebrados bentónicos en los fondos ritrales del área de estudio, durante las estaciones de otoño (O) y primavera (P) de los años 2014, 2015, 2016 y 2017. Los valores corresponden al promedio de las réplicas ± 1 desviación estándar.

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 *Aegla abtao* (29,5%) de frecuencia relativa ocurrida en el río Calle Calle durante el otoño del año 2014. 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. ha sido la especie que ha domino ampliamente las frecuencias relativas de ocurrencia en los ríos Cruces y Calle Calle (Tabla 4.2.3.6). Las proporciones estimadas fueron 43,9% en río Calle Calle (primavera del año 2015), 61% en el río Cruces sector Rucaco (otoño del año 2016), y 75,1% de ocurrencia en Cahuincura durante la primavera del año 2017 (Tabla 4.2.3.6).

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

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* sp.	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* sp.	44,3	*Eukiefferiella* sp.	75,1
4 (sector Calle Calle)	*Eukiefferiella* sp	26,9	*Eukiefferiella* sp.	32,3

Diversidad

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

La Figura 4.2.3.5 muestra la variabilidad temporal de la diversidad de la macrofauna de invertebrados bentónicos; el análisis estadístico de regresión lineal mostró tendencias significativas ($p<0,05$) a disminuir en los sectores del río cruces sector 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 y 2017. 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)

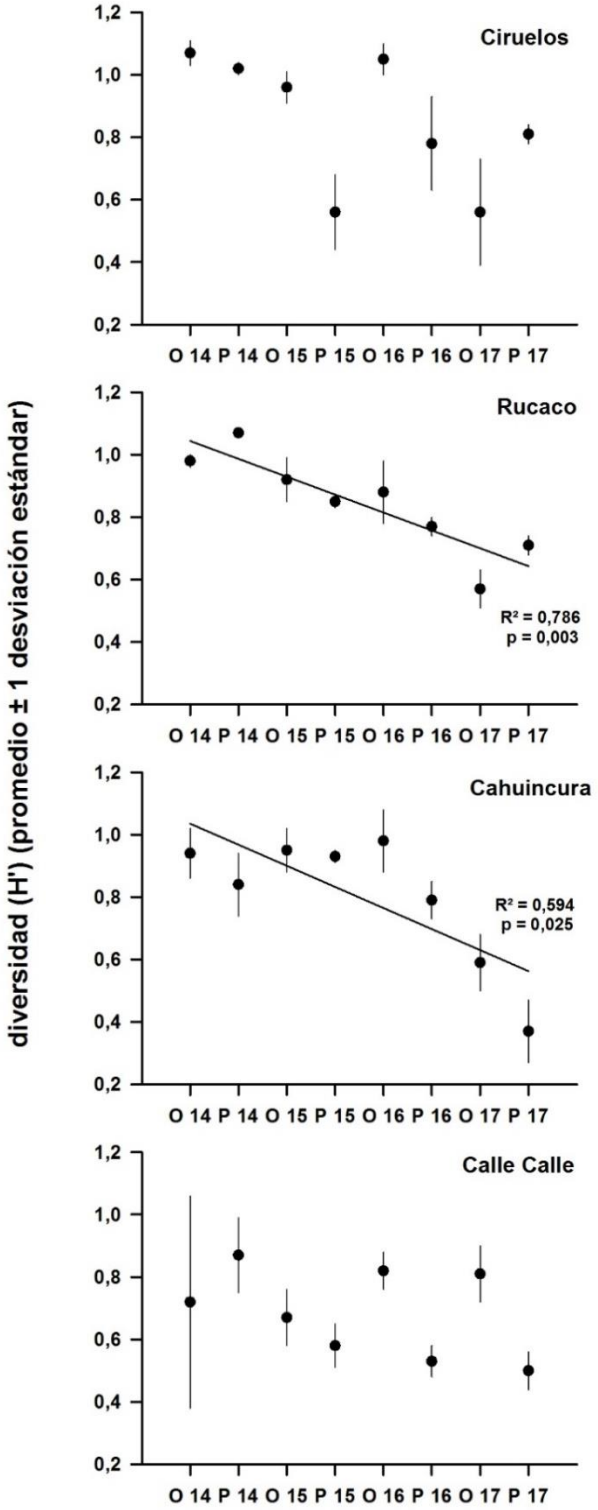


Figura 4.2.3.5. Diversidad promedio de invertebrados bentónicos en los fondos ritrales del área de estudio, durante las estaciones de otoño (O) y primavera (P) de los años 2014, 2015, 2016 y 2017. Los valores corresponden al promedio de las réplicas ± 1 desviación estándar. La línea de tendencias corresponde al resultado de una regresión lineal cuando esta fue significativa, se indica además el respectivo valor de p y R^2.

Biomasa

Los valores más altos de biomasa total de macroinvertebrados bentónicos se registraron durante el otoño del año 2014 (Programa de Diagnóstico Ambiental de HRC), ocurridos en el río Cruces, sector Cahuincura y río Calle Calle; 8,95 y 8,11 g peso seco/m^2 respectivamente (Tabla 4.2.3.8). Por otra parte, el menor valor de biomasa total de macroinvertebrados bentónicos encontrado ocurrió en el sector de Cahuincura durante este periodo de estudio (otoño del año 2017) y alcanzo solo a 0,05 g peso seco/m^2 (Tabla 4.2.3.8).

La variabilidad de la biomasa total de macroinvertebrados de fondos ritrales, durante el periodo de estudio no mostró tendencias estadísticamente significativas ($p>0,05$) a aumentar o disminuir en el tiempo (Fig. 4.2.3.6).

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 y 2017. 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)

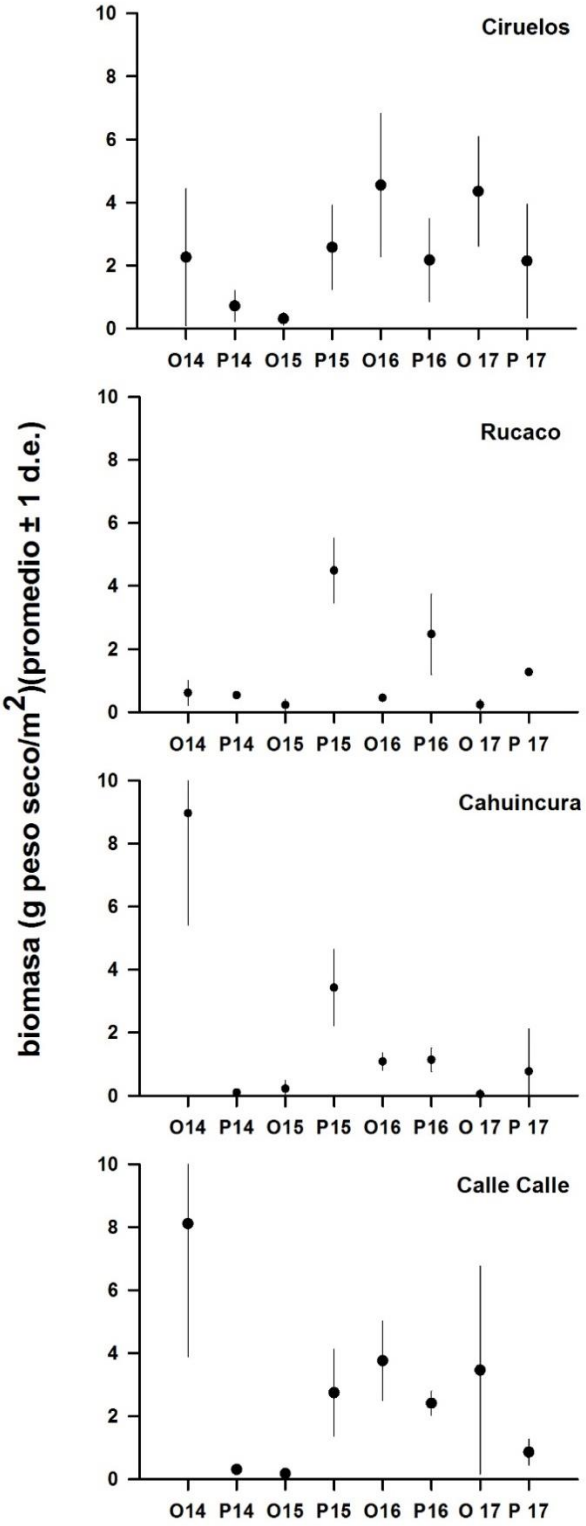


Figura 4.2.3.6. Biomasa total promedio de invertebrados bentónicos en los fondos ritrales del área de estudio, durante las estaciones de otoño (O) y primavera (P) de los años 2014, 2015, 2016 y 2017. Los valores corresponden al promedio de las réplicas ± 1 desviación estándar.

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 de estudio, se ha mantenido generalmente entre “buena” y “muy buena” (Tabla 4.2.3.9). Los valores estimados van de 4,06 (muy buena) ocurridos en el río Calle Calle durante la primavera del año 2015 a 5,32 (buena) calculado para el sector Cahuincura durante el otoño del año 2014 (Tabla 4.2.3.9). Con menores ocurrencias se han registrado valores que califican la calidad del agua como “regular” (6,23 y 5,77 en Ciruelos y Calle Calle durante la primavera del año 2015 y el otoño del año 2016 respectivamente). Por otra parte, durante el otoño del año 2017 sector de Cahuincura, se estimó el valor más alto hasta ahora medido (6,86) el que califica el agua como “algo pobre” según la carga orgánica (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 y 2017(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

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 2017, y comparados con años anteriores se muestran en la Figura 4.2.3.7.

Durante ambas campañas (año 2017) se observan tres grupos, de similar forma, pero aún más definidos que en campañas anteriores, ordenándose estos grupos geográficamente. Los sectores de Ciruelos y Rucaco (sitios 1 y 2 respectivamente) forman un grupo, mientras que las de los sectores Cahuincura (sitio 3) y Calle Calle (sitio 4) forman grupos separados y distantes de este, tendencia que se observado y mantenido en el tiempo desde el Programa de Monitoreo Ambiental de HRC. Los valores de stress (0,1 y 0,05), indican un grado de asociación de muestras bastante apropiado. (Fig.4.2.3.7).

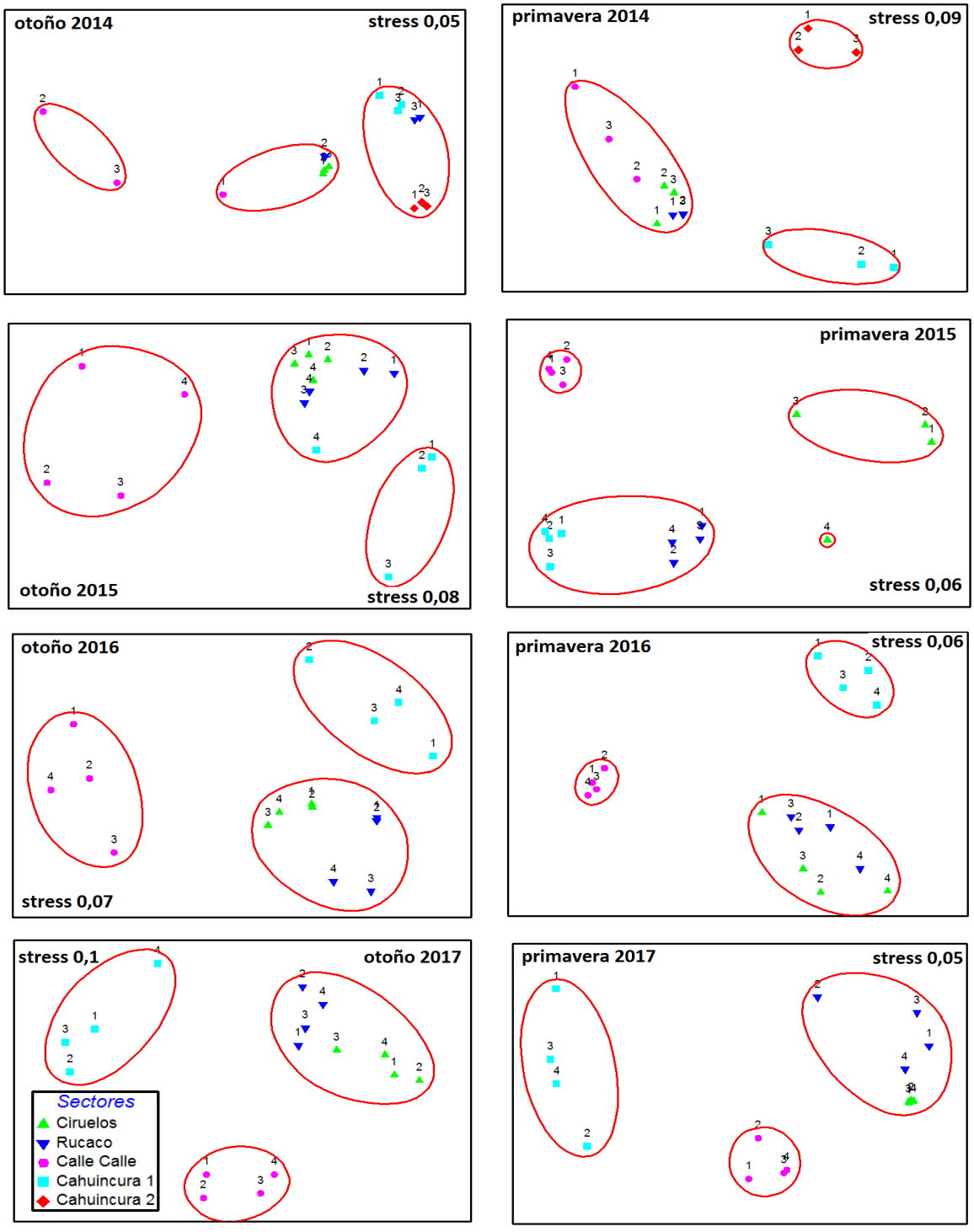


Figura 4.2.3.7. Representación gráfica del escalamiento multidimensional no métrico (EMDNM) basado en la abundancia de los organismos de la macrofauna bentónica presentes en los sedimentos de los sitios muestreados durante las estaciones de otoño y primavera de los años 2014, 2015, 2016 y 2017. El sector Cahuincura 2 (rombo color rojo), sólo fue analizado durante el PD/HRC 2014-2015.

4.2.3.5. Conclusiones

- La composición faunística de los fondos ritrales del área de estudio registraron su valor más alto de taxa (34) durante la campaña del año 2017 similar a la encontrada durante el año 2014 (33 taxa) (Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC).
- El insecto díptero *Eukiufferiella* sp. ha sido la especie que ha dominado en el ambiente acuático de fondos ritrales durante todo el periodo de estudio (Programa de Diagnóstico 2014 y Programa de Monitoreo 2015, 2016 y 2017).
- La variabilidad temporal de la abundancia de la macrofauna de los fondos ritrales del área de estudio no ha mostrado tendencias significativas a aumentar o disminuir durante todo el periodo de estudio. Sin embargo, en los sectores; Cahuincura y río Calle Calle, durante el año 2017 se encontraron valores de abundancia inferiores a los encontrados en la primavera del año 2016, los cuales pueden ser el resultado directo del cambio en el entorno ocasionado por recientes murallas construidas en los lugares en cuestión (Ver Anexo).
- El índice de diversidad calculado durante la campaña del año 2017, mostró valores más bajos que los obtenidos durante los otros periodos de estudio, lo que resultó en tendencias significativas a disminución de la diversidad en el tiempo en los sectores de Rucaco y Cahuincura.
- El análisis de ordenamiento multidimensional, indica que la fauna de las estaciones de muestreo tienen relación con su lugar geográfico, ya que lasestaciones más cercanas, se encontraron más agrupadas, lo cual se observa en ambos periodos del último año, y se ha observado de igual manera en las campañas anteriores.
- El Índice Biótico calculado durante el periodo de estudio, muestra 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. En principio, esto sugiere que el área de estudio se encuentra ambientalmente estable en relación a la carga orgánica del mismo. Sin embargo, durante el año 2017 se detectaron cambios en este índice biótico indicadores de baja en calidad de agua. Esto puede estar relacionado a que durante este año, ocurrieron cambios en la estructura del hábitat

(construcción de defensas ribereñas artificiales), lo que aparentemente habría influido en un aumento de materia orgánica y material particulado fino, no solo en el fondo (Ver Anexo), sino también en la columna de agua.

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



Figura 1. Sitios de muestreo recientemente modificados debido a la construcción de murallas en la ribera de los ríos Cruces (sector Cahuincura, 1) y Calle Calle (2).



Figura 2. Río Cruces, sector Cahuincura. La línea amarilla representa el largo de la muralla construida durante el año 2016 (longitud aproximada: 100 m).



Figura 3. Sitio de muestreo en el río Calle Calle. En círculo rojo se muestra la barrera construida durante el año 2017 (longitud aproximada: 10 m).



Figura 4. Muralla construida durante el año 2016 en la ribera adyacente al sitio de muestreo del sector Cahuincura, río Cruces.



Figura 5. Vista panorámica de la obstrucción ocasionada por la construcción de la muralla y barrera construidas durante el año 2017 en el sector adyacente al sitio de muestreo ubicado en el río Calle Calle.



Figura 6. Vista del sitio de muestreo ubicado 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)) y 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 a 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 mismo, a fin de comparar diversas variables con los resultados del Programa de Diagnóstico Ambiental delHRC y sus ríos tributarios.

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 habitáculo.
- 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 tres primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (otoño y primavera de los años 2015, 2016 y 2017) 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, 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).

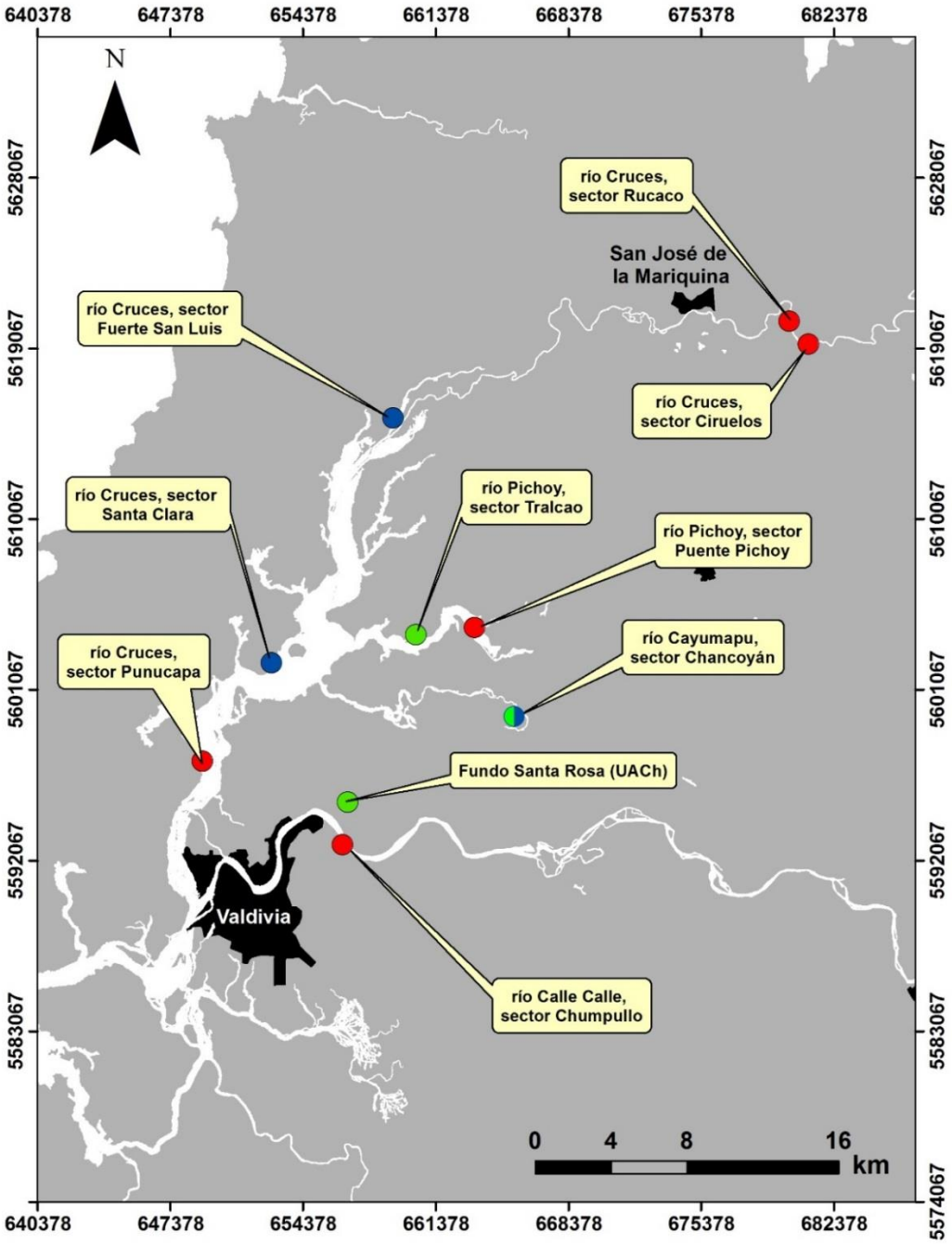


Figura 4.2.4.1. Ubicación de los sitios de muestreo del monitoreo estacional seleccionados para el estudio del Camarón de río *Samastacus spinifrons* (puntos rojos). Los círculos verdes indican los sitios donde se recolectaron especímenes del Camarón de vega *Parastacus nicoleti* durante el año 2015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

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 el año 2017 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 no cambiadas 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.

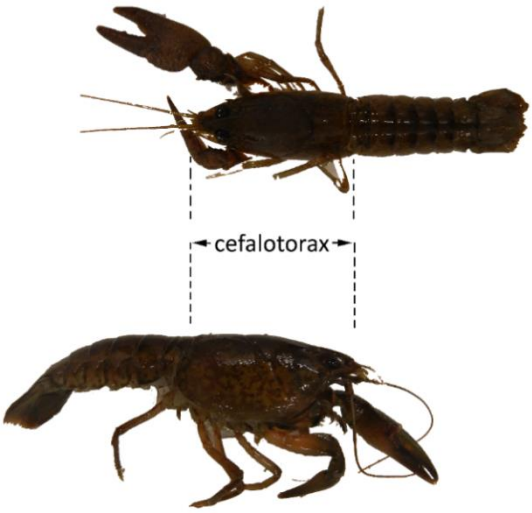


Figura 4.2.4.2. Mediciones de longitud del cefalotórax realizadas en ambas especies de camarones recolectados en este estudio

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 una 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 y 2017 fueron analizadas en el Laboratorio de Oceanografía Química (LOQ) de la Universidad de Concepción.

Se realizaron dos modalidades comparativas de análisis: i) camarones recolectados durante el otoño de los años 2014, 2015, 2016 y 2017 en los sectores Ciruelos, Rucaco (río Cruces) y Chumpullo (río Calle Calle) (Fig. 4.2.4.1), y ii) camarones recolectados durante el otoño de los años 2014 y 2017 en los sectores Ciruelos, Rucaco, Punucapa (río Cruces), río Pichoy 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 y la 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.

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).

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).

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) (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).

Durante la primavera del año 2017, el sector Rucaco fue nuevamente el único lugar donde no se encontraron camarones (Tabla 4.2.4.1). 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).

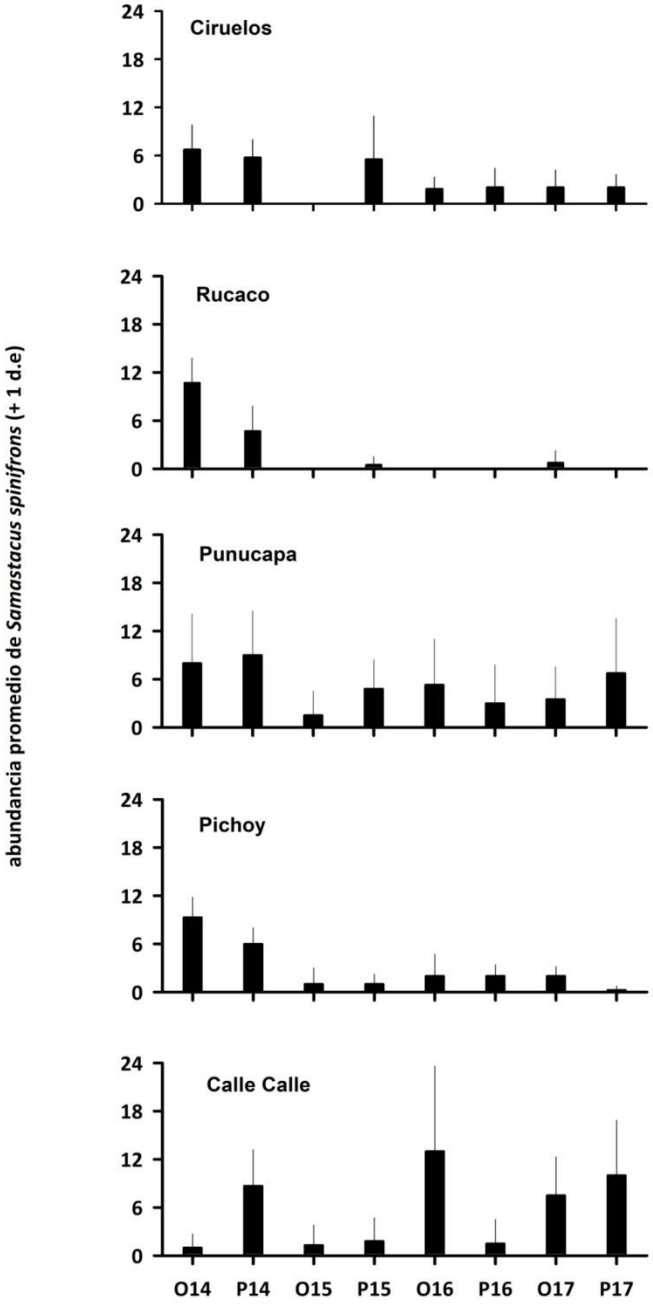


Figura 4.2.4.3. Abundancia promedio de *Samastacus spinifrons* en cada sitio de estudio, durante las campañas de otoño (O) y primavera (P) de los años 2014, 2015, 2016 y 2017. Las barras que acompañan al promedio corresponden a una desviación estándar.

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 y 2017. Se muestran valores promedio por estación con desviación estándar en paréntesis. Durante el año 2014 se realizaron sólo tres transectos de muestreo*.

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)
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)
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)

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)
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)

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 19 de 38 habitáculos en el sector San Luis (50,0%), 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 hace notar que aun cuando durante esta campaña se detectó la presencia de *P.nicoleti* en todos los habitáculos cuantificados en el sector Santa Clara, Chancoyán siguió mostrando altas abundancias relativas (Fig. 4.2.4.4).

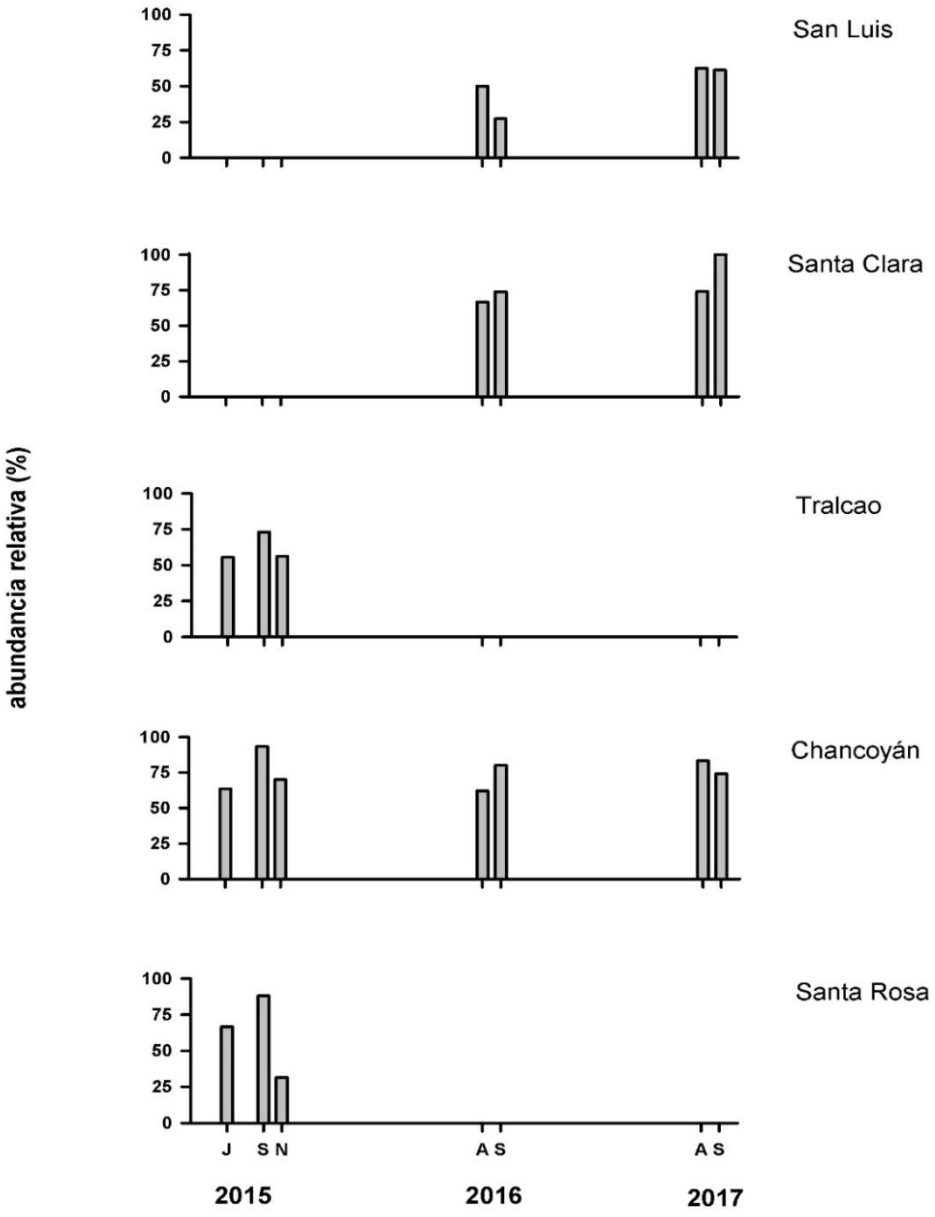


Figura 4.2.4.4. Abundancia relativa de la especie *P. nicoleti* en el área de estudio durante junio, septiembre y noviembre del año 2015 (J, S y N, respectivamente), agosto y septiembre del año 2016 y 2017 (A y S, respectivamente). Los valores se refieren al número de habitáculos ocupados en relación 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 sector presentó las mayores ocupaciones con 8 individuos encontrados en 2 habitáculos (agosto 2016) (Fig. 4.2.4.5 b).

Año 2017

Durante la campaña de agosto y septiembre del 2017, 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).

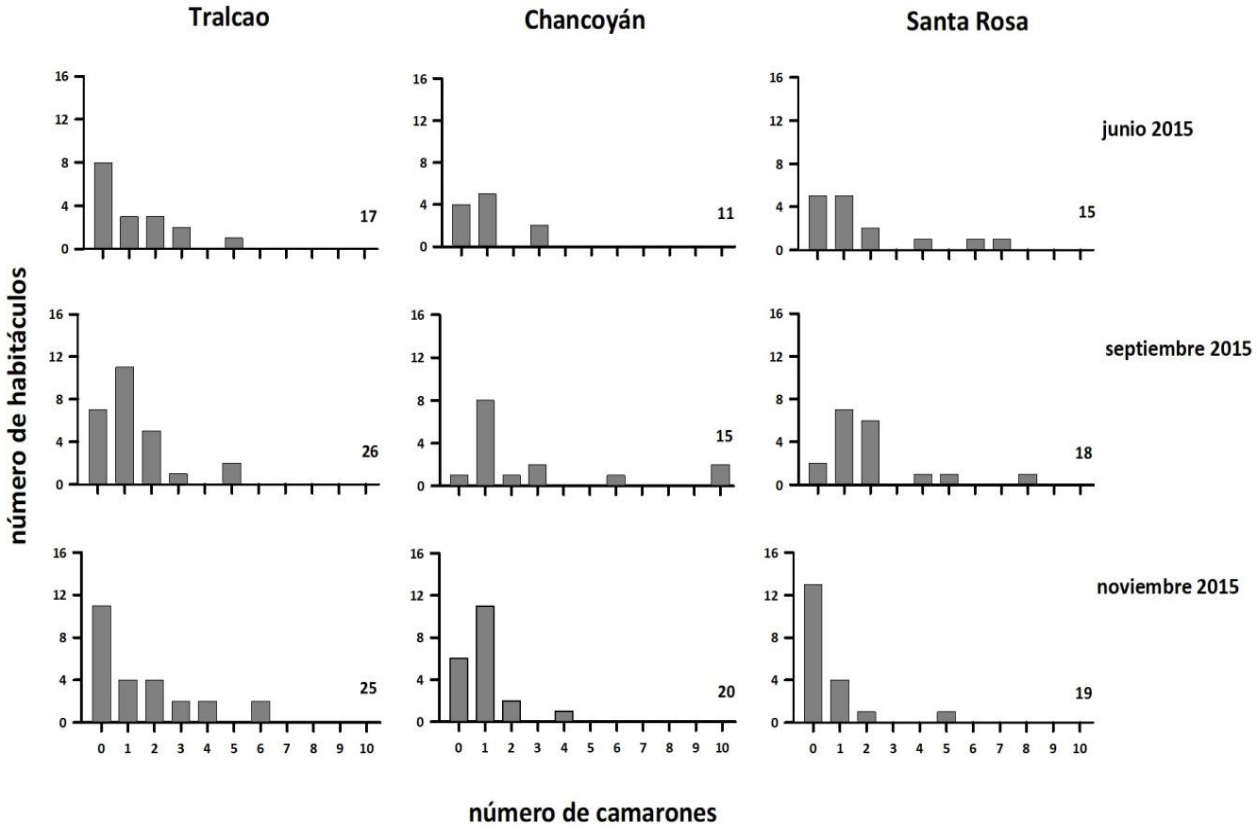


Figura 4.2.4.5 a. Número de individuos de *Parastacus nicoleti* recolectados por habitáculo durante junio, septiembre y noviembre del año 2015. Los ceros en el eje X de cada gráfico, indican ausencia de camarones en habitáculos. Los números a la derecha de cada gráfico indican el total de habitáculos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

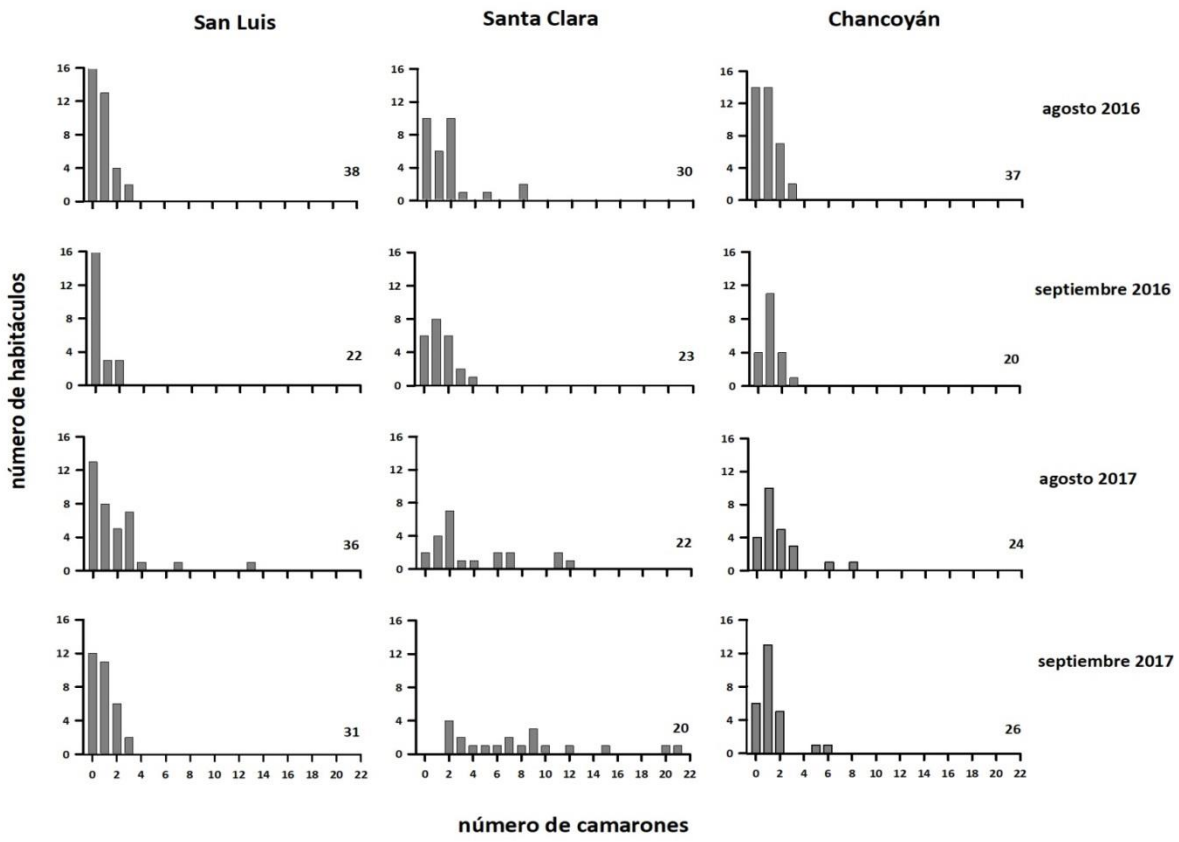


Figura 4.2.4.5 b. Número de individuos de *Parastacus nicoleti* recolectados por habitáculo durante agosto y septiembre de los años 2016 y 2017. Los ceros en el eje X de cada gráfico, indican ausencia de camarones en habitáculos. Los números a la derecha de cada gráfico indican el total de habitáculos 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 2015, 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 2015, 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 2016, 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 2016, 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 del año 2017 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 2017, 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).

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 y 2017. n= número de especímenes recolectados.

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
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
	otoño 2017	27	3,3	3,4	2,0 - 4,4
	primavera 2017	11	2,9	2,4	1,7 – 4,4
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

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	-	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
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios					
río Calle Calle, sector	otoño 2014	27	2,9	3,1	1,2 - 4,6
Chumpullo	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	-	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

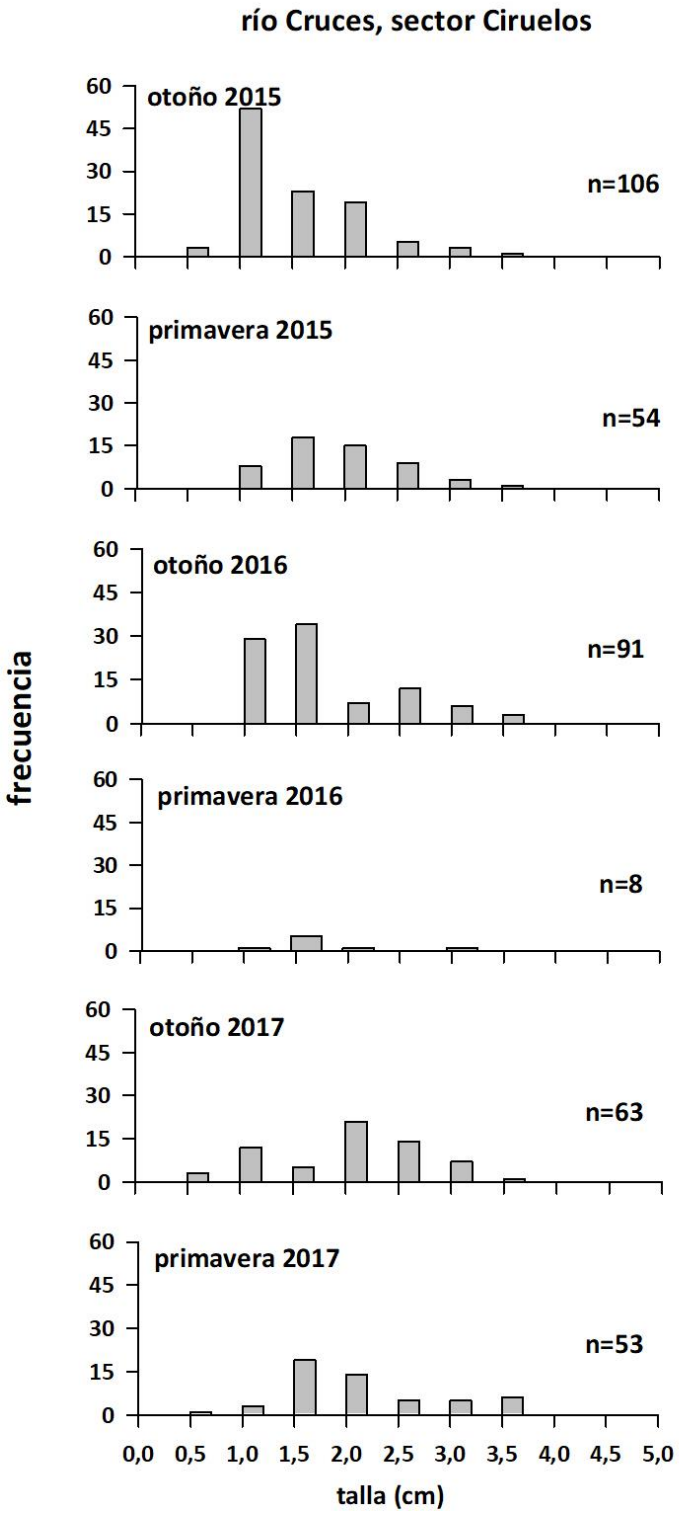


Figura 4.2.4.6. Distribución de tallas corporales de *Samastacus spinifrons* en el sector Ciruelos durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016 y 2017.

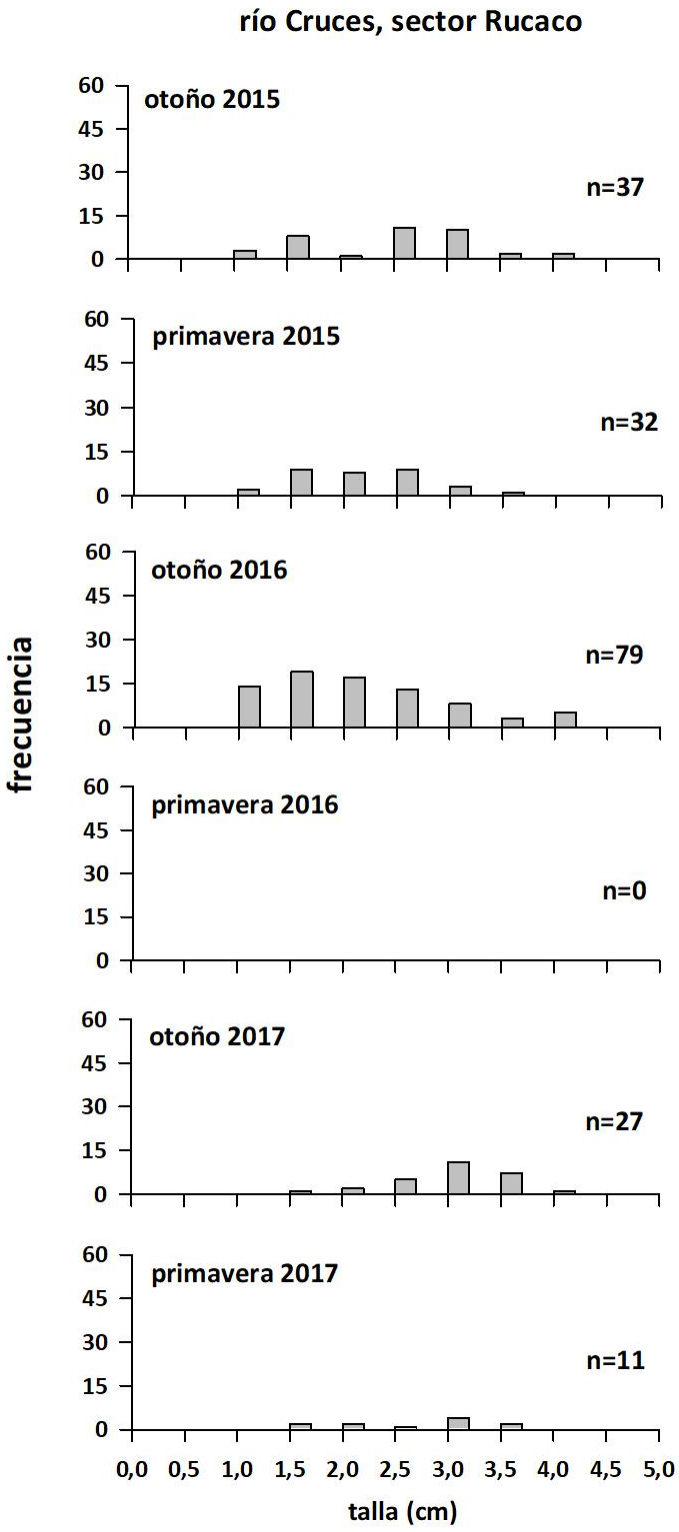


Figura 4.2.4.7. Distribución de tallas corporales de *Samastacus spinifrons* en el sector Rucaco durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016 y 2017.

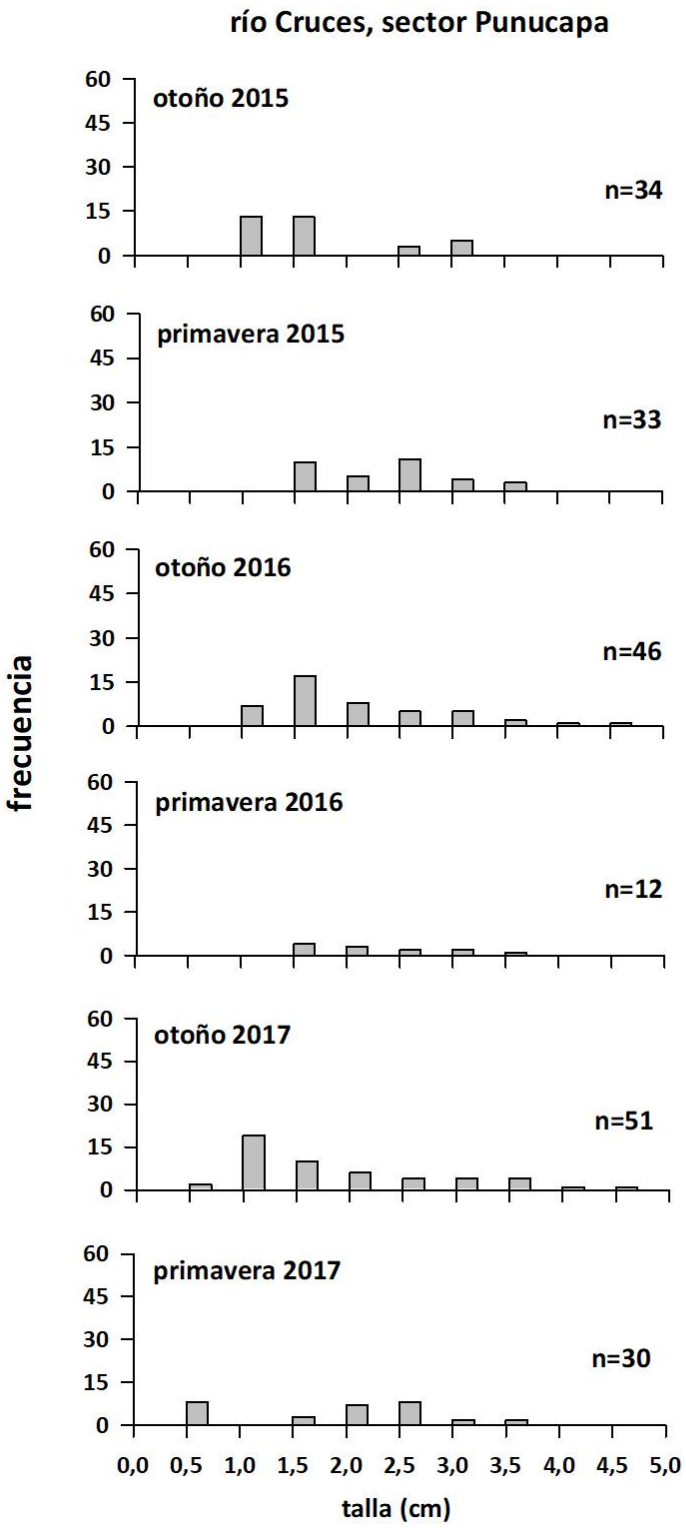


Figura 4.2.4.8. Distribución de tallas corporales de *Samastacus spinifrons* en el sector Punucapa durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016 y 2017.

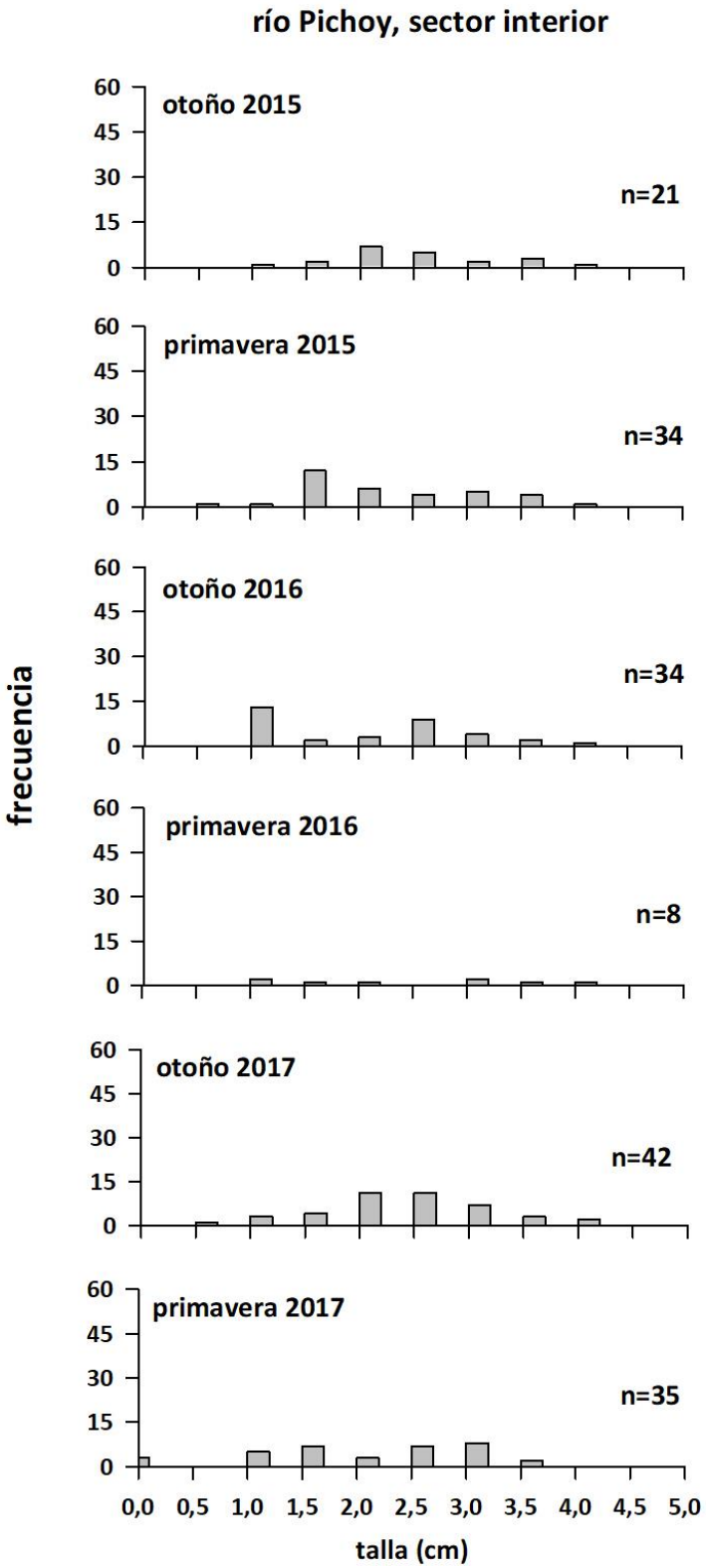


Figura 4.2.4.9. Distribución de tallas corporales de *Samastacus spinifrons* en el sector río Pichoy durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016 y 2017.

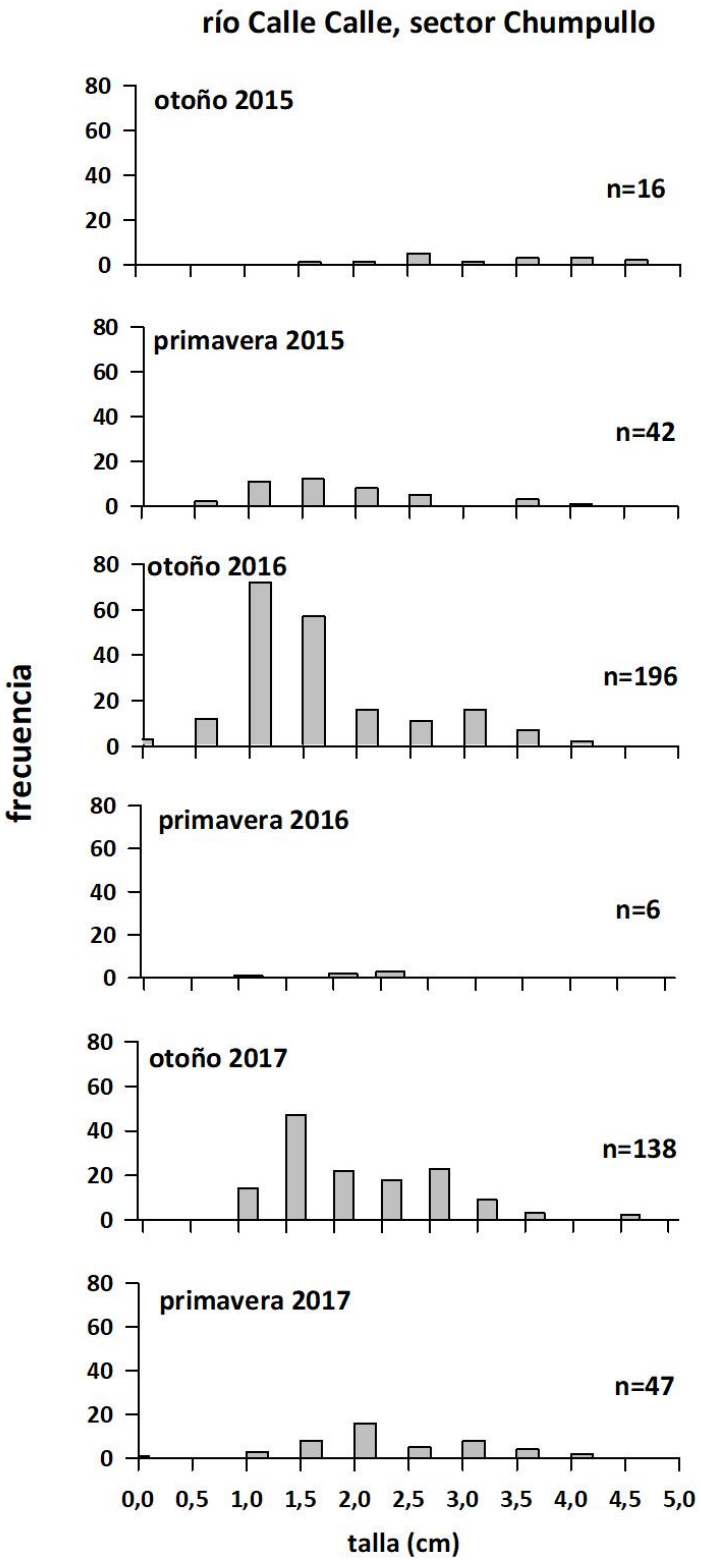


Figura 4.2.4.10. Distribución de tallas corporales de *Samastacus spinifrons* en el sector río Calle Calle durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016 y 2017.

Parastacus nicoleti

Año 2014

Durante las campañas de otoño y primavera del año 2014, 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 realizadas en el 2015 el tamaño promedio de los camarones de vega fue de 2,3 ± 0,3 cm de longitud cefalotorácica, cuyos rangos fluctuaron entre 07 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 del año 2016, 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 el año 2017 nuevamente disminuyó la talla promedio a 2,4 ± 0,7 cm de longitud cefalotoracica, 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).

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 y 2017.

estaciones	campañas	N	media	moda	rango
Eje central río del río Cruces (área estuarial)					
sector San Luis	otoño 2016	27	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
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
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
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 y 2017.

La proporción machos / hembras fue bastante variable a través de los años y sin mayores tendencias espaciales; en el sector Punucapa dominaron los machos (proporción machos / hembras > 1 en cuatro o más muestreos), a la vez que en el sector Rucaco dominaron las hembras (proporción machos / hembras < 1 en cuatro o más muestreos) (Tabla 4.2.4.4). En los otros sectores no se observaron tendencias definidas (Tabla 4.2.4.4).

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 y 2017. 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
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				
	otoño 2017	27	44,4	55,6	0,8
	Primavera 2017	11	27,3	72,7	0,4
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
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

Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)	**campaña**	**N° total**	**M (%)**	**H (%)**	**M/H**
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	40,0	1,4

Elementos y compuestos químicos en *Samastacus spinifrons*

Metales pesados

Comparaciones en base a muestreos otoñales de los años 2014, 2015, 2016 y 2017 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 y 2017 (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 y 2017. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis y aproximados a un decimal.

estación	**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)
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)
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)

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 y 2017. 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)
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)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
río Calle Calle, sector	otoño 2014	128,8 (7,9)	115,0 (3,3)	0,20 (0,0)
Chumpullo	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)

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 y 2017. 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)
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)
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)

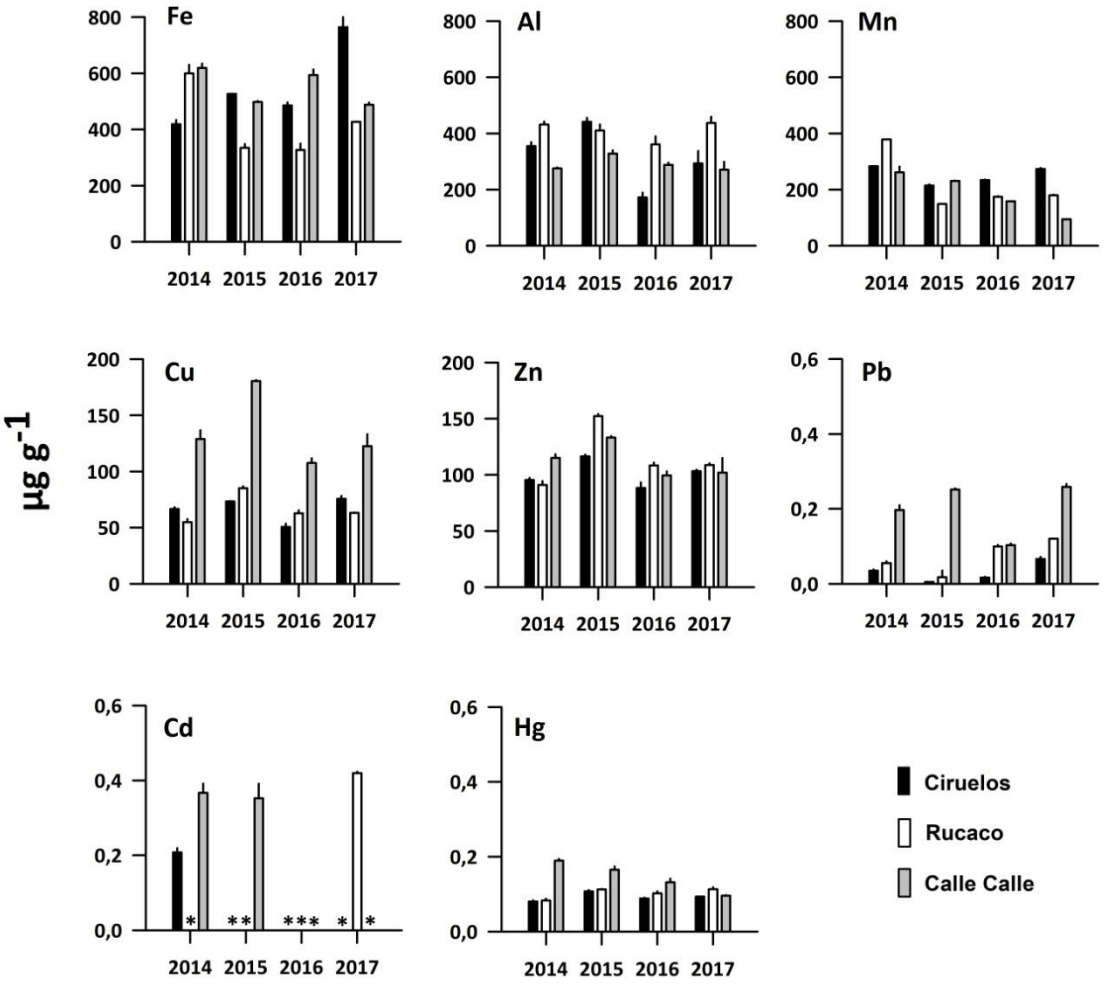


Figura 4.2.4.11. Concentración de metales pesados en especímenes de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016 y 2017. Los valores son promedios con una desviación estándar. * = No detectado, *i.e*., bajo el límite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

Las concentraciones de Aluminio fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en camarones analizados durante los años 2015 y 2014 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; estas últimas no difirieron significativamente ($p>0,05$) entre sí (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 el año 2017 (Tabla 4.2.4.8). A su vez, los camarones recolectados en Ciruelos presentaron concentraciones significativamente más altas de este metal ($p<0,05$) que los camarones capturados en Rucaco y Calle Calle (Tabla 4.2.4.8).

Las concentraciones de Cobre fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en camarones analizados durante el año 2015, 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 camarones capturados en Ciruelos y Rucaco (Tabla 4.2.4.8).

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). Las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas (p<0,05) en camarones recolectados en Calle Calle y Rucaco 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 2017 y especialmente en los camarones recolectados en Calle Calle (Tabla 4.2.4.8).

Las concentraciones de Mercurio 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). Las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas (p<0,05) en los camarones recolectados en Calle Calle (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 y 2017) 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)	3	52154,7	17384,9	46,6	**<0,001**	2014 = 2017 > 2015 = 2016
	Sector (S)	2	86351,4	43174,7	115,9	**<0,001**	Ci = CC > Ru
	A × S	6	206376,9	34396,1	92,3	**<0,001**	
	Error	12	4470,6	372,5			
	Total	23	349353,6	15189,3			
Al (*) (**)	Año (A)	3	44753,7	14917,9	32,3	**<0,001**	2015 >2014 = 2017 >2016
	Sector (S)	2	63776,5	31888,2	69,1	**<0,001**	Ru > Ci = CC
	A × S	6	43223,4	7203,8	15,6	**<0,001**	
	Error	12	5537,4	461,4			
	Total	23	157290,9	6838,7			
Mn (***)	Año (A)	3	63335,1	21111,6	522,2	**<0,001**	2014 >2015 =2016 >2017
	Sector (S)	2	17032,3	8516,2	210,6	**<0,001**	Ci > Ru >CC
	A × S	6	44501,1	7416,8	183,4	**<0,001**	
	Error	12	485,1	40,4			
	Total	23	125353,7	5450,1			
Cu (*)(***)	Año (A)	3	5057,7	1685,9	88,445	**<0,001**	2015 > 2014 = 2017 > 2016
	Sector (S)	2	24944,8	12472,4	654,3	**<0,001**	CC > Ci = Ru
	A × S	6	2745,3	457,5	24,0	**<0,001**	
	Error	12	228,7	19,1			
	Total	23	32976,6	1433,7			
Zn (***)	Año (A)	3	4906,1	1635,3	77,27	**<0,001**	2015 > 2014 = 2016 = 2017
	Sector (S)	2	911,1	455,5	21,52	**<0,001**	CC = Ru > Ci
	A × S	6	1484,8	247,4	11,69	**<0,001**	
	Error	15	253,9	21,163			
	Total	23	7556,04	328,52			
Pb (**)	Año (A)	3	0,0189	0,0063	115,2	**<0,001**	2017 > 2014 = 2015 > 2016
	Sector (S)	2	0,128	0,0642	1174,4	**<0,001**	CC > Ru > Ci
	A × S	6	0,0291	0,0048	88,74	**<0,001**	
	Error	12	0,0006	0,00005			
	Total	23	0,177	0,0077			

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Hg (**)	Año (A)	3	0,002	0,0008	34,51	**<0,001**	2015 > 2014 > 2016 = 2017
	Sector (S)	2	0,012	0,0063	255,1	**<0,001**	CC > Ru > Ci
	A × S	6	0,009	0,0015	61,94	**<0,001**	
	Error	12	0,0003	0,00002			
	Total	23	0,025	0,001			

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.

Comparaciones en base a muestreos otoñales de los años 2014 y 2017 en los sectores Ciruelos, Rucaco, Punucapa (río Cruces), río Pichoy y Chumpullo (río Calle Calle)

Las Tablas 4.2.4.9 a 4.2.4.11 y la Figura 4.2.4.12, muestran las concentraciones de metales pesados en ejemplares completos de *S. spinifrons* recolectados en los sectores de Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy y Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014 (Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC) y 2017 (3º Año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC).

Durante ambas campañas, los metales pesados más representados (*i.e.,* mayores concentraciones) fueron Hierro, Aluminio y Manganeso (Tabla 4.2.4.9 y Fig. 4.2.4.12). No se detectó Cadmio en las muestras de camarones del río Pichoy a la vez que en la mayoría de los otros sectores este metal fue detectado en solo una campaña (Tabla 4.2.4.11). No se detectó Arsénico en los camarones recolectados en los cinco sectores de estudio, durante ninguna de las campañas hasta ahora realizadas (Tabla 4.2.4.11).

Tabla 4.2.4.9. Concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso en tejidos de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014 y 2017. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	campañas	Hierro (µg g^{1})	Aluminio (µg g^{1})	Manganeso (µg g^{1})
Eje central río Cruces (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	418,6 (14,9)	354,3 (13,9)	283,5 (0,4)
	otoño 2017	764,0 (42,0)	293,1 (44,2)	273,4 (3,5)
sector Rucaco	otoño 2014	599,4 (30,6)	431,6 (10,5)	378,5 (0,1)
	otoño 2017	426,8 (0,8)	437,1 (22,4)	179,5 (2,2)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Punucapa	otoño 2014	505,9 (6,4)	275,1 (12,9)	84,7 (2,5)
	otoño 2017	430,9 (4,0)	287,8 (18,2)	85,4 (0,4)
Ríos tributarios del río Cruces				
sector río Pichoy	otoño 2014	553,4 (9,7)	442,2 (23,9)	657,9 (5,9)
	otoño 2017	824,5 (37,7)	567,4 (21,0)	838,4 (4,5)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector	otoño 2014	619,1 (15,4)	275,5 (3,1)	261,1 (20,9)
Chumpullo	otoño 2017	488,0 (7,9)	270,3 (28,5)	94,3 (0,7)

Tabla 4.2.4.10. Concentraciones de Cobre, Zinc y Plomo en tejidos de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014 y 2017. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	campañas	Cobre (µg g^{1})	Zinc (µg g^{1})	Plomo (µg g^{1})
Eje central río Cruces (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	66,5 (1,5)	95,3 (2,0)	0,03 (0,0)
	otoño 2017	75,5 (2,7)	103,3 (1,3)	0,07 (0,0)
sector Rucaco	otoño 2014	54,8 (2,7)	90,9 (3,5)	0,06 (0,0)
	otoño 2017	63,1 (0,4)	108,7 (1,5)	0,12 (0,0)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Punucapa	otoño 2014	73,6 (2,8)	94,8 (2,7)	0,05 (0,0)
	otoño 2017	75,3 (1,4)	93,6 (6,9)	0,13 (0,0)
Ríos tributarios del río Cruces				
sector río Pichoy	otoño 2014	116,2 (0,8)	141,9 (1,9)	0,10 (0,0)
	otoño 2017	115,2 (7,9)	142,5 (13,3)	0,20 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	128,8 (7,9)	115,0 (3,3)	0,20 (0,0)
	otoño 2017	122,4 (10,6)	101,9 (13,1)	0,26 (0,0)

Tabla 4.2.4.11. Concentraciones de Cadmio, Arsénico y Mercurio en tejidos de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014 y 2017. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. *= no detectado, i.e., bajo el límite de detección del método.

estaciones	campañas	Cadmio (µg g^{1})	Arsénico (µg g^{1})	Mercurio (µg g^{1})
Eje central río Cruces (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	0,21 (0,0)	*	0,080 (0,0)
	otoño 2017	*	*	0,093 (0,0)
sector Rucaco	otoño 2014	*	*	0,083 (0,0)
	otoño 2017	0,42 (0,0)	*	0,113 (0,0)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Punucapa	otoño 2014	0,24 (0,0)	*	0,036 (0,0)
	otoño 2017	0,52 (0,1)	*	0,035 (0,0)
Ríos tributarios del río Cruces				
sector río Pichoy	otoño 2014	*	*	0,047 (0.0)
	otoño 2017	*	*	0,052 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	0,37 (0,0)	*	0,190 (0,0)
	otoño 2017	*	*	0,096 (0,0)

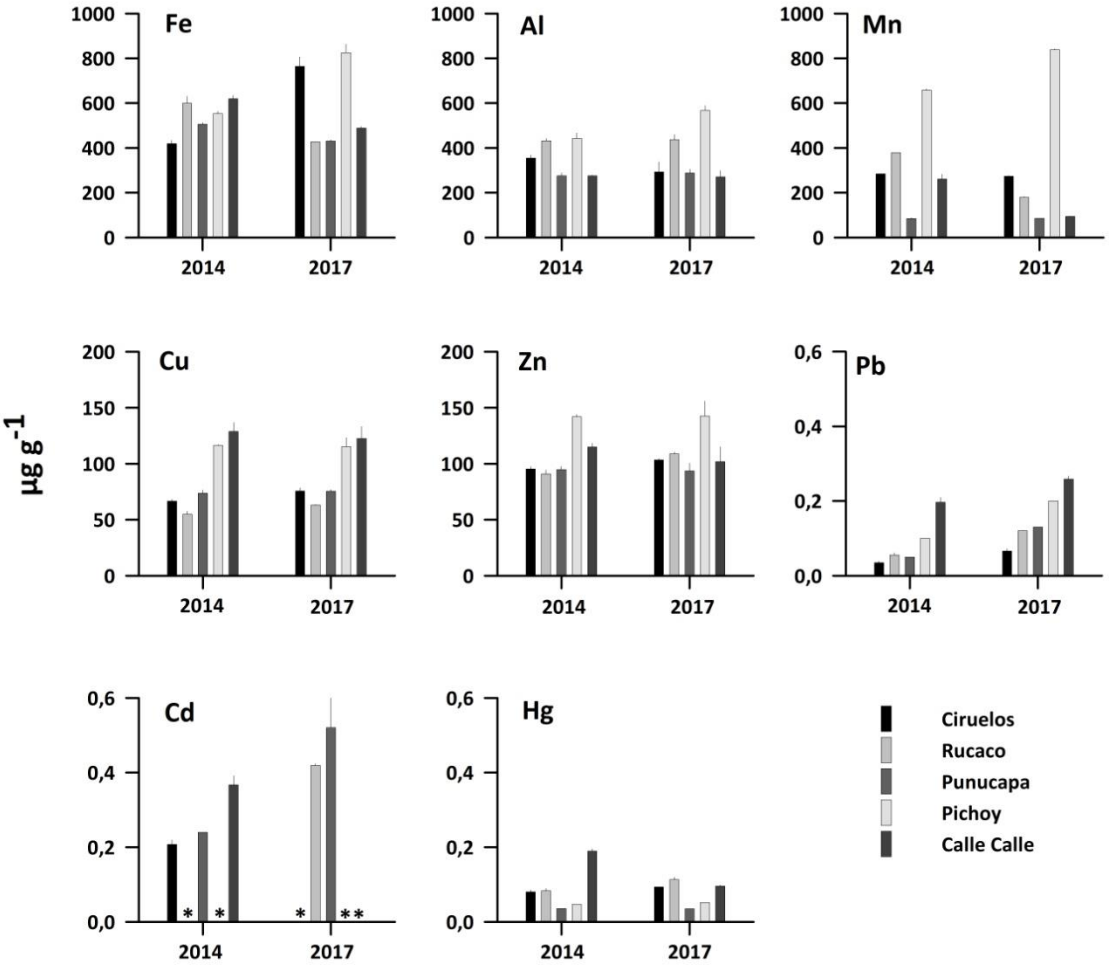


Figura 4.2.4.12. Concentración de metales pesados en especímenes de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014 y 2017. Los valores son promedios con una desviación estándar. * = No detectado, *i.e.,* bajo el 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 4.2.4.12. 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 durante el año 2017 (Tabla 4.2.4.12). Por otra parte, las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en camarones recolectados en Pichoy y más bajas en Punucapa (Tabla 4.2.4.12).

Las concentraciones de Aluminio no difirieron significativamente ($p>0,05$) entre campañas; a su vez, los camarones de Pichoy y Rucaco fueron los que tuvieron las concentraciones más altas de este metal ($p<0,05$) (Tabla 4.2.4.12).

Las concentraciones de Manganeso fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante la campaña del año 2014; por otra parte, las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en los camarones recolectados en Pichoy, Ciruelos y Rucaco (Tabla 4.2.4.12).

Las concentraciones de Cobre no difirieron significativamente ($p>0,05$) entre campañas; las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en camarones recolectados en Pichoy y Calle Calle y más bajas en especímenes de Rucaco (Tabla 4.2.4.12).

Las concentraciones de Zinc no difirieron significativamente ($p>0,05$) entre campañas, a la vez que los camarones de Pichoy mostraron las concentraciones más altas de este metal ($p<0,05$) (Tabla 4.2.4.12).

Las concentraciones de Plomo fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2017 y especialmente en los camarones recolectados en Calle Calle (Tabla 4.2.4.12).

Las concentraciones de Mercurio no difirieron significativamente ($p>0,05$) entre campañas, a la vez que los camarones de Calle Calle y Rucaco fueron los que presentaron las concentraciones más altas de este metal (Tabla 4.2.4.12).

Tabla 4.2.4.12. 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 y 2017) y Sector (Ciruelos o Ci, Rucaco o Ru, Punucapa o Pu, Pichoy o Pi 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)	1	0,002	0,002	13,1	**0,005**	2017 > 2014
	Sector (S)	4	0,057	0,014	73,5	**<0,001**	Pi > Ci = CC > Ru > Pu
	A × S	4	0,133	0,033	168,6	**<0,001**	
	Error	10	0,001	0,000			
	Total	19	0,195	0,010			
Al (*) (**)	Año (A)	1	1181,9	1181,9	2,3	0,159	
	Sector (S)	4	165987,6	41496,9	81,5	**<0,001**	Pi = Ru > Ci = Pu = CC
	A × S	4	18438,4	4609,6	9,0	**0,002**	
	Error	10	5089,8	508,9			
	Total	19	190697,7	10036,7			
Mn (*) (***)	Año (A)	1	0,09	0,09	564,3	**<0,001**	2014 > 2017
	Sector (S)	4	1,93	0,48	3017,7	**<0,001**	Pi > Ci = Ru > CC > Pu
	A × S	4	0,22	0,05	345,3	**<0,001**	
	Error	10	0,00	0,00			
	Total	19	2,24	0,11			
Cu (*)(**)	Año (A)	1	0,001	0,0019	4,76	0,054	
	Sector (S)	4	0,326	0,0815	196,39	**<0,001**	Pi = CC > Ci = Pu > Ru
	A × S	4	0,005	0,0013	3,27	**0,058**	
	Error	10	0,004	0,0004			
	Total	19	0,338	0,0178			
Zn (*)(**)	Año (A)	1	0,0005	0,0005	0,87	0,373	
	Sector (S)	4	0,0814	0,0204	31,00	**<0,001**	Pi > CC = Ci = Ru = Pu
	A × S	4	0,0096	0,0024	3,69	**0,043**	
	Error	10	0,0065	0,0006			
	Total	9	0,0982	0,0051			

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Pb (*)(**)	Año (A)	1	0,432	0,432	463,67	**<0,001**	2017 > 2014
	Sector (S)	4	1,056	0,264	283,22	**<0,001**	CC > Pi > Ru = Pu > Ci
	A × S	4	0,047	0,120	12,83	**<0,001**	
	Error	10	0,009	0,0009			
	Total	19	1,546	0,0814			
Hg (*)(**)	Año (A)	1	0,0009	0,0009	3,15	0,106	
	Sector (S)	4	0,870	0,217	755,29	**<0,001**	CC > Ru > Ci > Pi > Pu
	A × S	4	0,110	0,027	95,56	**0,001**	
	Error	10	0,0028	0,0002			
	Total	19	0,983	0,0518			

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 y 2017 (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 y 2017. 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)
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)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (área estuarial)				
río Calle Calle, sector	otoño 2014	1035,8 (67,2)	*	234,0 (23,7)
Chumpullo	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)

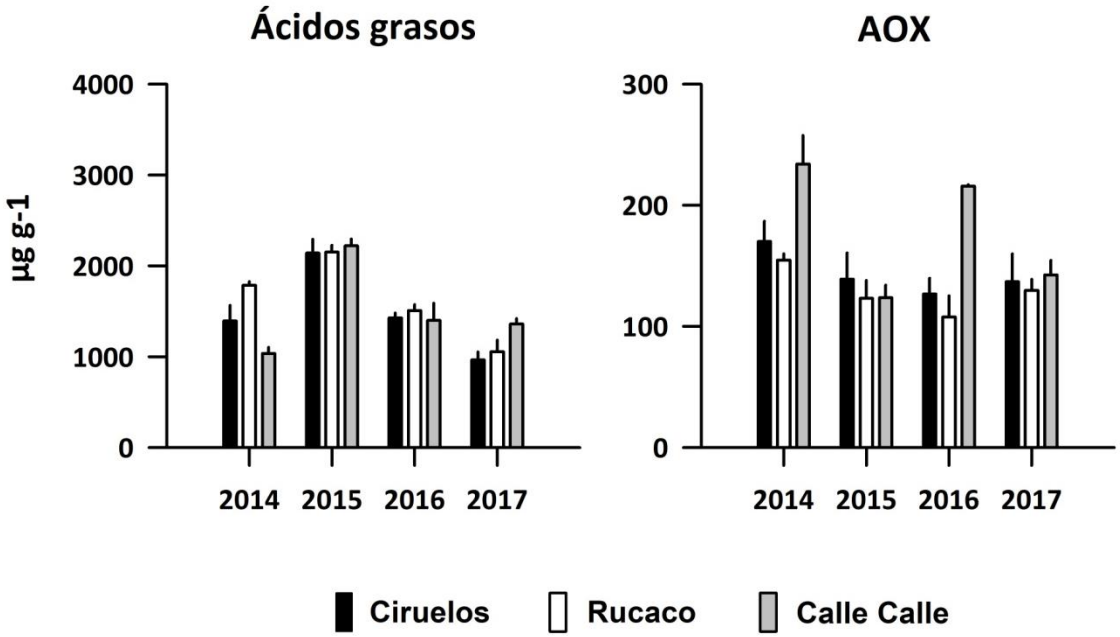


Figura 4.2.4.13. Concentración de Ácidos grasos y compuestos halogenados adsorbibles (AOX) en especímenes de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016 y 2017. Los valores son promedios con una desviación estándar.

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 2017, respectivamente (Tabla 4.2.4.14). Los mismos análisis no detectaron diferencias significativas ($p>0,05$) entre sectores (Tabla 4.2.4.14).

Los análisis llevados a cabo con las concentraciones de AOX, muestran que estas fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2014; aquellas de los años 2015, 2016 y 2017 no difirieron significativamente entre sí ($p>0,05$) (Tabla 4.2.4.14). A su vez, las concentraciones de AOX en camarones del río Calle Calle fueron significativamente más altas que las de los camarones recolectados en Ciruelos y Rucaco, cuyas concentraciones no difirieron significativamente entre sí ($p>0,05$) (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 y 2017) 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)	3	0,2649	0,0883	76,0688	**<0,001**	2015 >2014 =2016 >2017
	Lugar (L)	2	0,0086	0,0043	3,7116	0,056	
	A x L	6	0,0731	0,0122	10,5013	**<0,001**	
	Error	12	0,0139	0,0012			
AOX (*)	Año (A)	3	8,2950e-02	2,7650e-02	12,288	**<0,001**	2014 >2015 =2016 =2017
	Lugar (L)	2	7,0293e-02	3,5147e-02	15,620	**<0,001**	CC > Ci = Ru
	A x L	6	6,9251e-02	1,1542e-02	5,1295	**<0,001**	
	Error	12	2,7001e-02	2,2500e-03			

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.

Comparaciones en base a muestreos otoñales de los años 2014 y 2017 en los sectores Ciruelos, Rucaco, Punucapa (río Cruces), río Pichoy y Chumpullo (río Calle Calle)

La Tabla 4.2.4.15 y la Figura 4.2.4.14, muestran las concentraciones de Ácidos grasos y compuestos halogenados adsorbibles (AOX) en los especímenes de *S. spinifrons* recolectados durante las campañas otoñales de los años 2014 (Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC) y 2017 (3º Año 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 4.2.4.15).

Tabla 4.2.4.15. Concentraciones de Ácidos grasos, Ácidos resínicos y AOX en tejidos de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014 y 2017. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. * = No detectado, i.e., bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	campañas	Ac. grasos ($\mu g\ g^{-1}$)	Ac. Resinicos ($\mu g\ g^{-1}$)	AOX ($\mu g\ g^{-1}$)
Eje central río Cruces (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	1393,3 (171,9)	*	170,1 (16,8)
	otoño 2017	965,8 (86,5)	*	136,9 (23,0)
sector Rucaco	otoño 2014	1785,6 (40,0)	*	154,7 (5,2)
	otoño 2017	1054,9 (127,0)	*	129,8 (9,1)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Punucapa	otoño 2014	2210,6 (337,4)	*	146,4 (14,8)
	otoño 2017	870,9 (69,4)	*	129,2 (8,5)
Ríos tributarios del río Cruces				
sector río Pichoy	otoño 2014	1238,7 (72,1)	*	152,6 (18,3)
	otoño 2017	626,3 (32,0)	*	165,0 (0,8)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	1035,8 (67,2)	*	234,0 (23,7)
	otoño 2017	1359,9 (60,2)	*	142,4 (12,1)

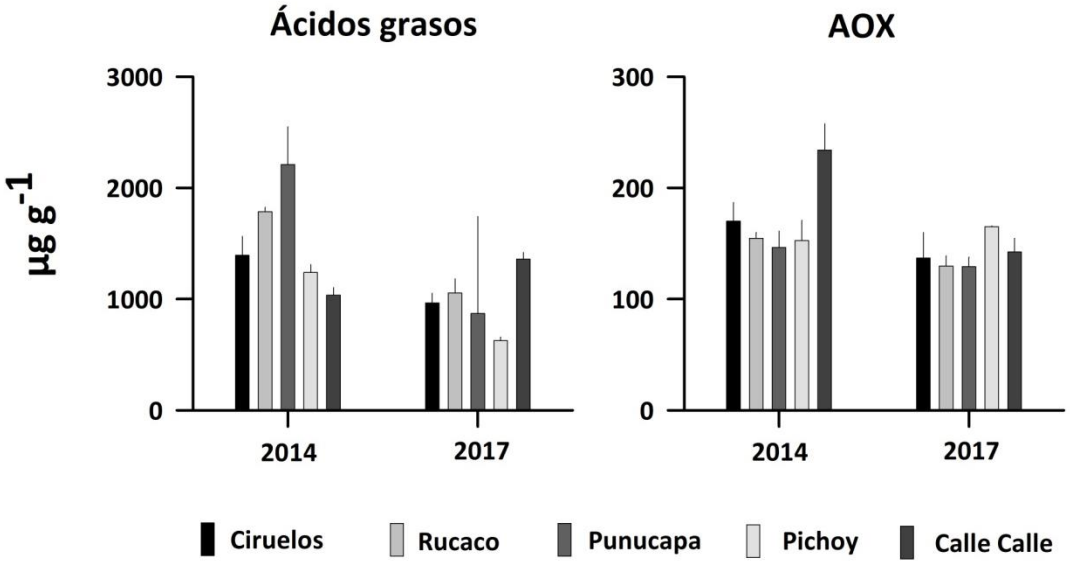


Figura 4.2.4.14. Concentración de Ácidos grasos y compuestos halogenados adsorbibles (AOX) en especímenes de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014 y 2017. Los valores son promedios con una desviación estándar.

Análisis estadísticos

Los resultados de los análisis de ANDEVA factorial y test *a posteriori* de Tukey, llevados a cabo para comparar el efecto de los factores Año y Sector, indican que las concentraciones de Ácidos grasos presentes en los tejidos de *Samastacus spinifrons*, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2014 (Tabla 4.2.4.16). Los mismos análisis no detectaron diferencias significativas ($p>0,05$) entre las concentraciones medidas en los camarones de Ciruelos, Rucaco, Punucapa y Calle Calles; tales concentraciones fueron significativamente más altas que las medidas en los camarones de Pichoy (Tabla 4.2.4.16).

Los análisis llevados a cabo con las concentraciones de AOX, muestran que estas fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2014; a su vez, las concentraciones de AOX medidas en los camarones del río Calle Calle fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las de todos los otros camarones (Tabla 4.2.4.16).

Tabla 4.2.4.16. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de Ácidos grasos y Compuestos halogenados adsorbibles (AOX) registrados en *Samastacus spinifrons*. Los factores son Año de muestreo (2014 y 2017) y Sector (Ciruelos (Ci), Rucaco (Ru), Punucapa (Pu), Pichoy (Pi) 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 A x S es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Ácidos grasos (*)(**)	Año (A)	1	0,188	0,188	123,7	**<0,001**	2014 > 2017
	Sector (S)	4	0,101	0,025	16,6	**<0,001**	CI = Ru = Pu = CC > Pi
	A × S	4	0,154	0,038	25,4	**<0,001**	
	Error	10	0,015	0,001			
	Total	19	0,458	0,024			
AOX (*)(**)	Año (A)	1	0,0331	0,0331	19,2	**0,001**	2014 > 2017
	Sector (S)	4	0,0372	0,0093	5,4	**0,014**	CC > Ci = Ru = Pu = Pi
	A × S	4	0,0326	0,0081	4,7	**0,021**	
	Error	10	0,0172	0,0017			
	Total	19	0,120	0,0063			

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 y 2017 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 y 2017.

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 y 2017. 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)
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)
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)

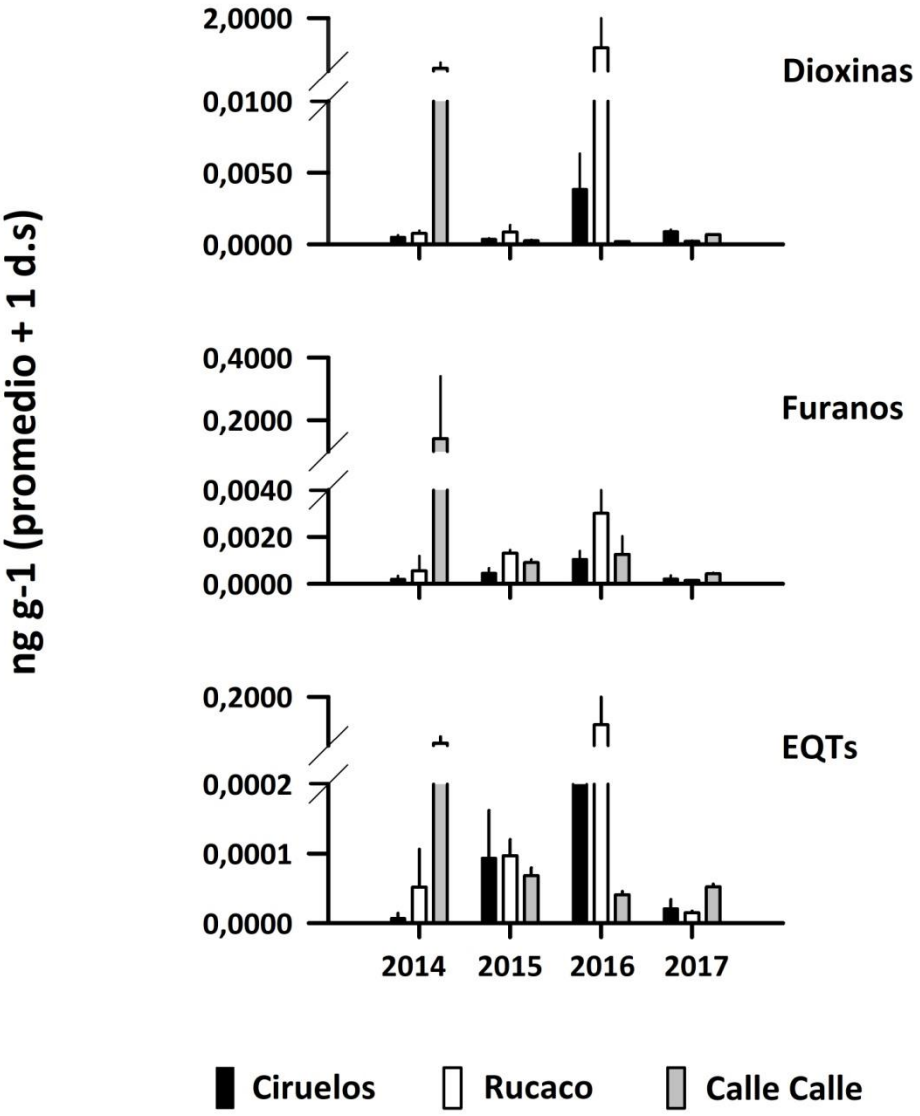


Figura 4.2.4.15. Concentración de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos (ETQs) en especímnes de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016 y 2017. Los valores son promedios con una desviación estándar.

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 camarones del área de estudio. Los factores son Año de muestreo (2014, 2015, 2016 y 2017) y Lugar (Ciruelos, Rucaco y Calle Calle). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P
Dioxinas (*)(***)	Año (A)	3	0,0228	0,0076	0,8505	0,4927
	Lugar (L)	2	0,0135	0,0007	0,7456	0,4912
	A × L	6	0,0558	0,0096	1,0736	0,295
	Error	12	0,1070	0,79917		
Furanos (*)(***)	Año (A)	3	1,5749e-03	5,2497e-04	0,9726	0,4377
	Lugar (L)	2	1,0706e-03	5,3532e-04	0,9917	0,3994
	A × L	6	3,2433e-03	5,4055e-04	1,0015	0,4674
	Error	12	6,4772e-03	5,3977e´04		
EQTs (***)	Año (A)	3	0,00371	0,00124	0,872	0,483
	Lugar (L)	2	0,00226	0,00113	0,798	0,473
	A x L	6	0,00904	0,00151	1,063	0,435
	Error	12	0,0170	0,00142		

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.

Comparaciones en base a muestreos otoñales de los años 2014 y 2017 en los sectores Ciruelos, Rucaco, Punucapa (río Cruces), río Pichoy y Chumpullo (río Calle Calle)

La Tabla 4.2.4.19 y la Figura 4.2.4.16, muestran las concentraciones de Dioxinas, Furanos y equivalentes tóxicos (EQTs) en los especímenes de *S. spinifrons* recolectados durante las campañas otoñales de los años 2014 (Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC) y 2017 (3º Año Programa de Monitoreo Ambiental del HRC).

Tabla 4.2.4.19. Concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs en tejidos de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy y Calle Calle durante las campañas otoñales de los años 2014 y 2017. 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 río Cruces (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	0,00050 (0,0001)	0,00020 (0,00014)	0,000007 (0,00007)
	otoño 2017	0,00089 (0,0001)	0,00021 (0,00015)	0,000021 (0,00001)
sector Rucaco	otoño 2014	0,00075 (0,0002)	0,00055 (0,00064)	0,000052 (0,000055)
	otoño 2017	0,00021 (0,0001)	0,00014 (0,00002)	0,000015 (0,000023)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Punucapa	otoño 2014	0,00015 (0,0002)	0,00055 (0,00035)	0,000063 (0,000018)
	otoño 2017	0,00030 (0,0000)	0,00009 (0,00001)	0,000021 (0,000095)
Ríos tributarios del río Cruces				
sector río Pichoy	otoño 2014	0,00075 (0,0001)	0,00025 (0,00007)	0,000014 (0,000018)
	otoño 2017	0,00255 (0,0000)	0,00013 (0,00001)	0,000011 (0,000000)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector	otoño 2014	0,15015 (0,2119)	0,14115 (0,19919)	0,018786 (0,026546)
Chumpullo	otoño 2017	0,00067 (0,0000)	0,00043 (0,00004)	0,000052 (0,000003)

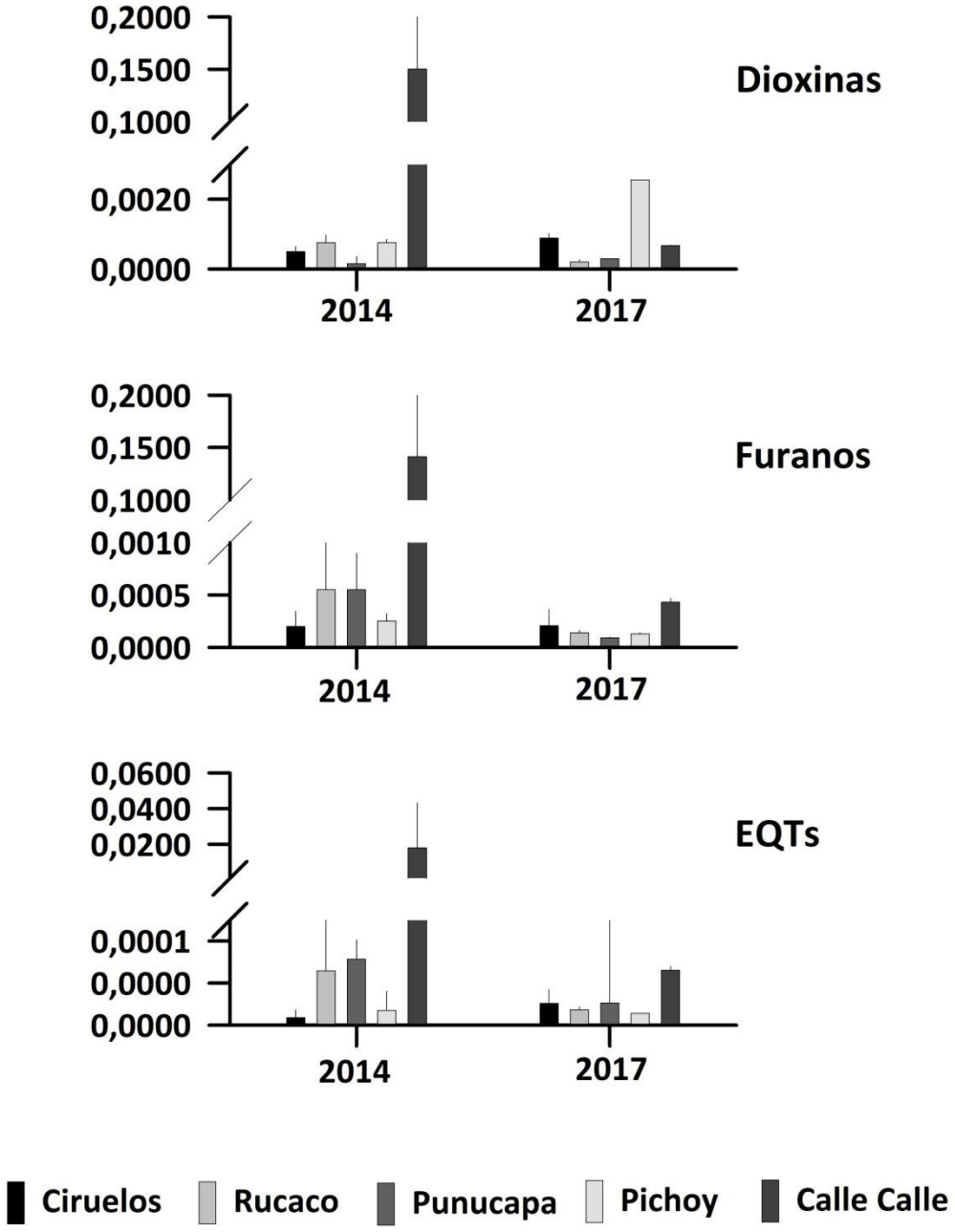


Figura 4.2.4.16. Concentración de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos (ETQs) en especímenes de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014 y 2017. Los valores son promedios con una desviación estándar.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.2.4.20 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 4.2.4.20).

Tabla 4.2.4.20. Resumen de ANDEVA Factorial para evaluar diferencias en las concentraciones de Ácidos grasos y Compuestos halogenados adsorbibles (AOX) registrados en tejidos de *Samastacus spinifrons*. Los factores son Año de muestreo (2014 y 2017) y Sector (Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy y Calle Calle). Los valores de P en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P
Dioxinas	Año (A)	1	1,437	1,437	1,335	0,275
(*)(***)	Sector (S)	4	4,511	1,128	1,048	0,430
	A × S	4	1,115	0,279	0,259	0,898
	Error	10	10,764	1,076		
	Total	19	17,827	0,938		
Furanos	Año (A)	1	1,426	1,426	2,701	0,131
(*)(***)	Sector (S)	4	3,338	0,847	1,605	0,248
	A × S	4	0,970	0,242	0,459	0,764
	Error	10	5,279	0,528		
	Total	19	11,063	0,582		
EQTs	Año (A)	1	0,388	0,388	0,571	0,467
(*)(***)	Sector (S)	4	3,976	0,994	1,464	0,284
	A × S	4	1,954	0,488	0,719	0,598
	Error	10	6,790	0,679		
	Total	19	13,108	0,690		

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 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PCDD

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 4.2.4.21 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.* Interesa destacar que ambas dioxinas solo se detectaron en Ciruelos y Rucaco y no en los camarones del 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 y 2017 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	*	*
sector Rucaco	otoño 2014	*	*
	otoño 2015	*	*
	otoño 2016	0,00005 (0,0)	0,00010 (0,0)
	otoño 2017	*	*
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	*	*

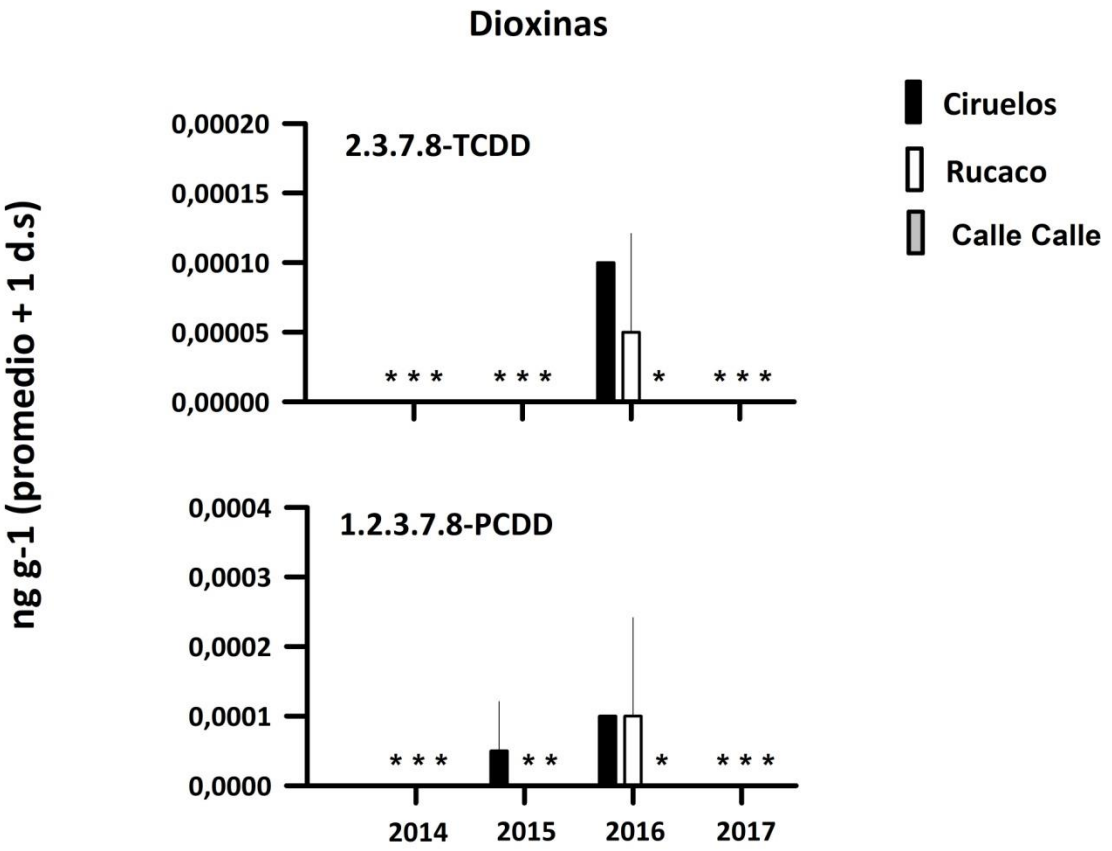


Figura 4.2.4.17. Concentración de Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PCDD en especímenes de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016 y 2017. Los valores son promedios con una desviación estándar. ***** = No detectado,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

Comparaciones en base a muestreos otoñales de los años 2014 y 2017 en los sectores Ciruelos, Rucaco, Punucapa (río Cruces), río Pichoy y Chumpullo (río Calle Calle)

La Tabla 4.2.4.22 muestra que en este tipo de comparaciones solo se detectó la Dioxina 1.2.3.7.8-PCDD en los tejidos de *Samastacus spinifrons* recolectados en el sector Punucapa durante el otoño del año 2017.

Tabla 4.2.4.22. Concentraciones de Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y Dioxinas 1.2.3.7.8-PCDD en tejidos de *Samastacus spinifrons* recolectados en Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy y Calle Calle durante las campañas otoñales de los años 2014 y 2017. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	campañas	2.3.7.8-TCDD (ng g^{-1})	1.2.3.7.8-PCDD (ng g^{-1})
Eje central río Cruces (sector límnico)			
sector Ciruelos	otoño 2014	*	*
	otoño 2017	*	*
sector Rucaco	otoño 2014	*	*
	otoño 2017	*	*
Eje central del río Cruces (sector estuarial)			
sector Punucapa	otoño 2014	*	*
	otoño 2017	*	0,00002
Ríos tributarios del río Cruces			
sector río Pichoy	otoño 2014	*	*
	otoño 2017	*	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios			
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	*	*
	otoño 2017	*	*

4.2.4.5. Conclusiones

- La comparación de los datos interanuales (2014-2017), 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. Por el contrario, los sectores de Punucapa y Calle Calle muestran abundancias variables pero sin tendencias a la disminución a lo largo del período de estudio (2014-2017).
- La abundancia de *Parastacus nicoleti* no muestra mayor variabilidad interanual en los sitios de estudio.
- La proporción machos / hembras en *Samastacus spinifrons* ha sido bastante variable a través de los años y sin mayores tendencias espaciales.
- La proporción machos / hembras en *Samastacus spinifrons* ha sido bastante variable a través de los años y sin mayores tendencias espaciales.
- Los metales pesados 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.
- Los análisis llevados a cabo con las concentraciones de AOX en camarones de Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, muestran que estas fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2014; aquellas de los años 2015, 2016 y 2017 no difirieron significativamente entre sí ($p>0,05$). A su vez, las concentraciones de AOX en camarones del río Calle Calle fueron significativamente más altas que las de los camarones recolectados en Ciruelos y Rucaco, cuyas concentraciones no difirieron significativamente entre sí ($p>0,05$).
- 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 ($p>0,05$), ni

entre años (2014-2017) ni entre sectores de muestreo (Ciruelos, Rucaco y Calle Calle).

- Durante el año 2017 no se detectaron las Dioxina 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PCDD en camarones, situación que sí había ocurrido para el primero de estos compuestos en especímenes de Ciruelos y Rucaco recolectados durante otoño del año 2016. La segunda de esas dioxinas había sido detectada en camarones de Ciruelos durante el otoño de los años 2015 y 2016, y especímenes de Rucaco durante el otoño del año 2016.

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 2017; este Informe corresponde al Tercer año del Programa de Monitoreo Ambiental (abril 2017 - marzo 2018). Los resultados de estos muestreos se comparan con los resultados de estudios realizados durante el Primer y Segundo año de

ese programa (abril 2015 - marzo 2016 y abril 2016 – marzo 2017) y durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (abril 2014 - marzo 2015). Se analizaron además las concentraciones de elementos y 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.
- Evaluar las concentraciones de compuestos orgánicos persistentes, incluyendo Ácidos grasos, Ácidos resínicos, AOX, Dioxinas y Furanos en tejidos corporales de Puye.
- 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 tres primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (otoño y primavera de los años 2015, 2016 y 2017), 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 mayo y junio (campaña de otoño) y octubre (campaña de primavera) del año 2017 se procedió a realizar muestreos, 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.

La captura de peces se realizó con un equipo de pesca eléctrica 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 la posterior 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).

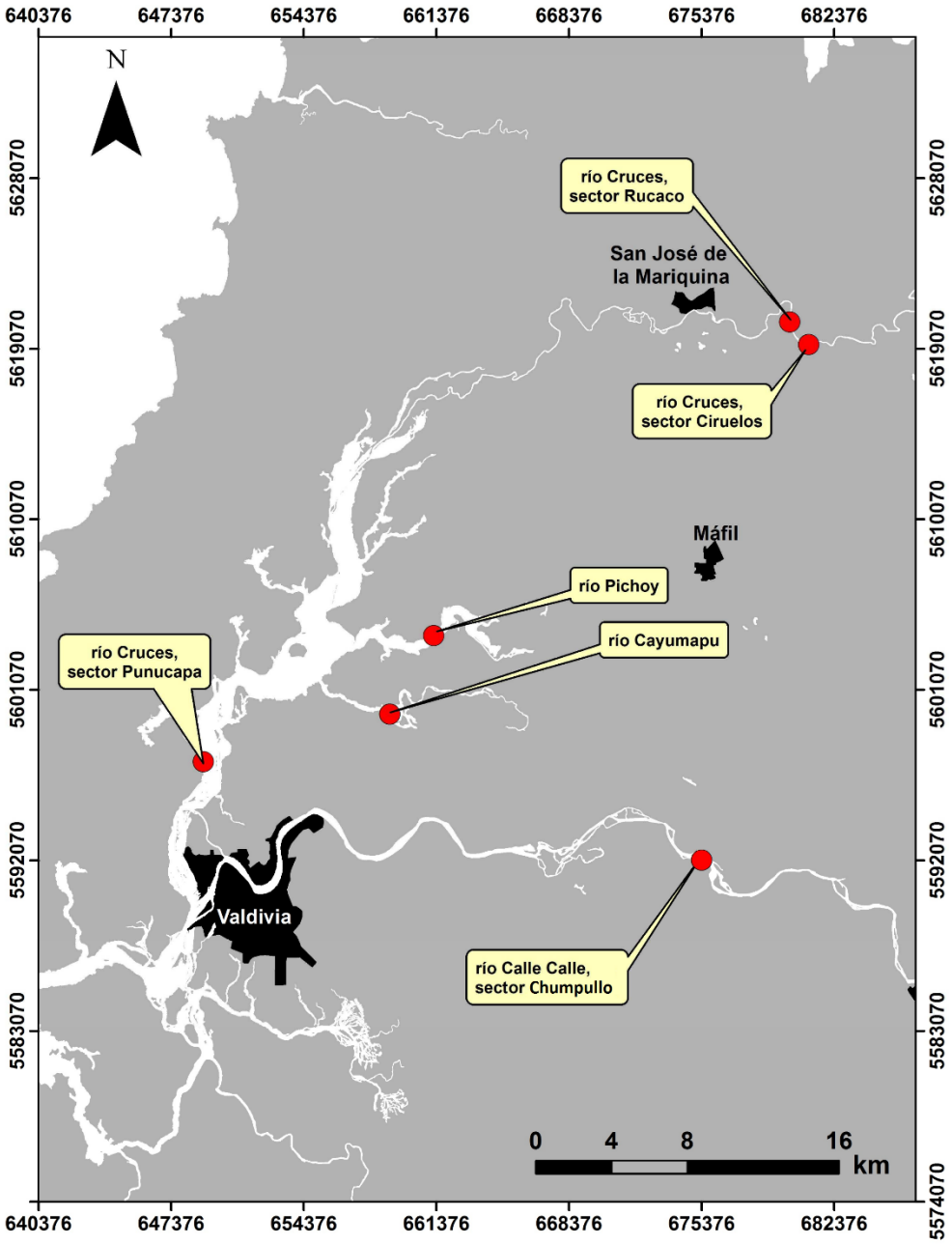


Figura 4.2.5.1. Ubicación de los sitios de muestreo seleccionados para los estudios de la ictiofauna ribereña del área de estudio.

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.

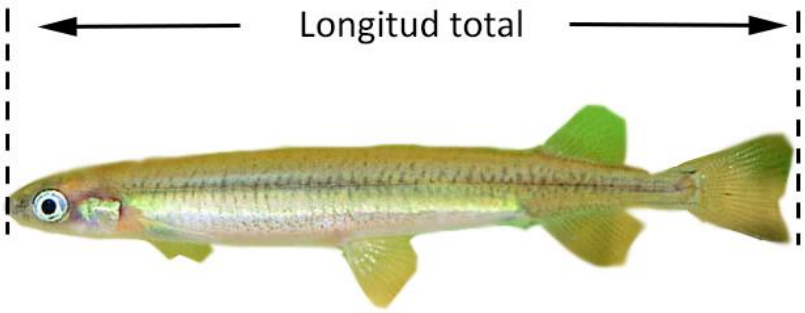


Figura 4.2.5.2. Mediciones de longitud realizadas en los especímenes de peces recolectados en este estudio. Estas se indican sobre el esquema del Puye (*Galaxias maculatus*).

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 de los años 2016 y 2017, las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Oceanografia Quimica (LOQ) de la Universidad de Concepción.

Evaluación del estado sanitario

Los puyes capturados 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 y 9 especies durante los años 2014, 2015, 2016 y 2017, respectivamente) y primavera de cada año (5, 7, 8 y 10 especies durante los años 2014, 2015, 2016 y 2017, 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 y 2017, la fauna de peces de las riberas del área de estudio ha estado primariamente representada por especies nativas (*ca*. 71, 80, 70, 71, 70, 75, 77 y 70 % de las abundancias totales durante el otoño 2014, primavera 2014, otoño 2015, primavera 2015, otoño 2016, primavera 2016, otoño 2017 y primavera 2017, respectivamente).

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). X = presencia.

nombre científico	**nombre común**	**origen**	**campañas**							
			O14	**P14**	**O15**	**P15**	**O16**	**P16**	**O17**	**P17**
Galaxias maculatus (Jenyns, 1842)	Puye, Puye chico	**N**	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
Percichthys trucha (Valenciennes, 1833)	Perca trucha	**N**		X	X		X	X	X	X
Percilia gillissi (Girard, 1855)	Carmelita, Carmelia común, Coloradita	**N**		X	X	X	X	X	X	X
Cheirodon sp.	Pocha, Pocha del sur	**N**	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
Trichomycterus areolatus (Valenciennes, 1833)	Bagre de agua dulce	**N**	X		X	X	X	X	X	X
Oncorhynchus mykiss (Walbaum, 1792)	Trucha arcoíris	**I**	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
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 y 2017. 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)**.**

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 y 2017.

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), y las menores 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), y las menores se evidenciaron 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), y las menores se presentaron en los ríos Cayumapu y Calle Calle (promedios = 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 los sectores de Rucaco y Cayumapu (promedios= 13,3 y 15,0, respectivamente), y las menores 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).

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 (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 y 2017. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

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 (12,4)	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)
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)
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)

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	13,8 (9,8)	2,5 (5,0)	4,0 (4,6)
	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)
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)
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)

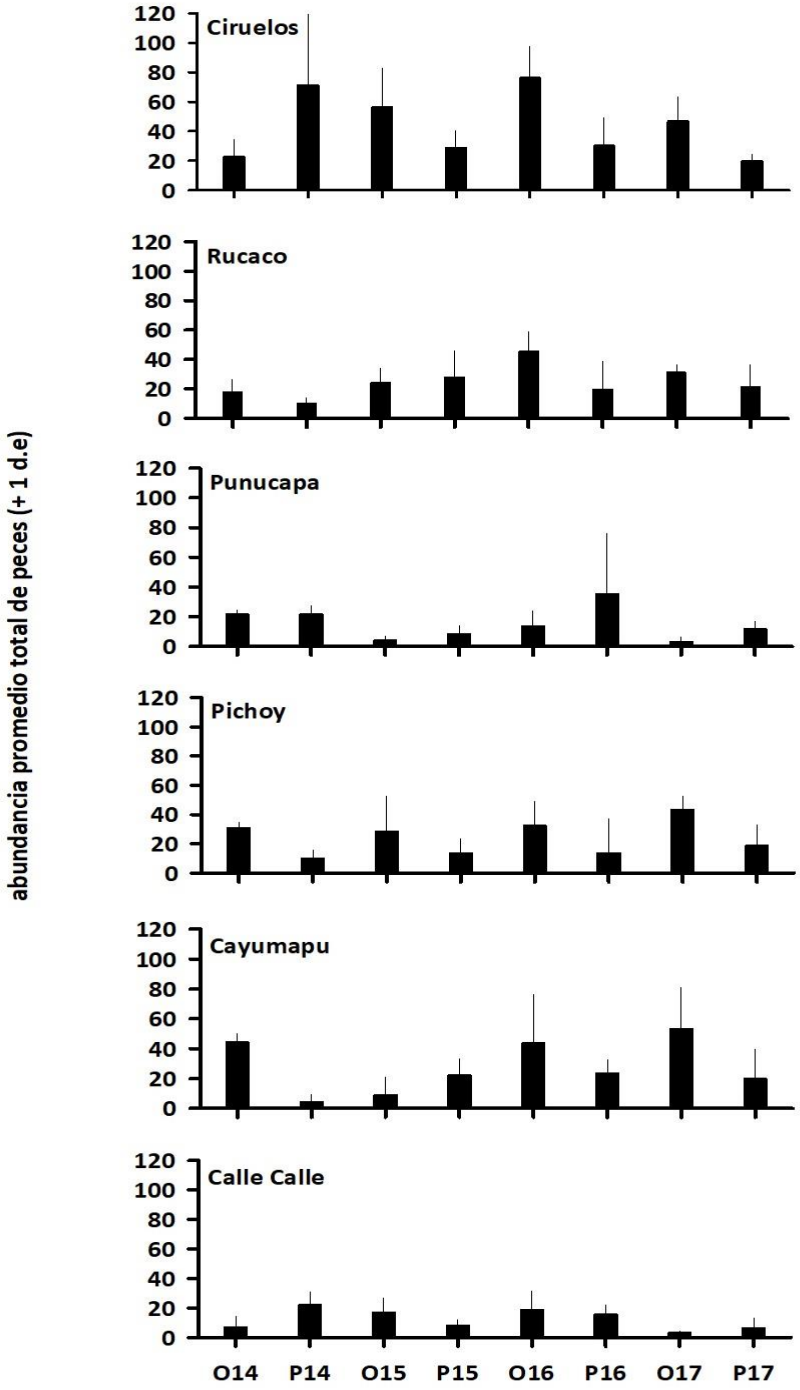


Figura 4.2.5.3. Abundancia promedio total de la ictiofauna en cada sitio durante las campañas de otoño (O) y primavera (P) de los años 2014, 2015, 2016 y 2017. Las barras que acompañan al promedio corresponden a una desviación estándar.

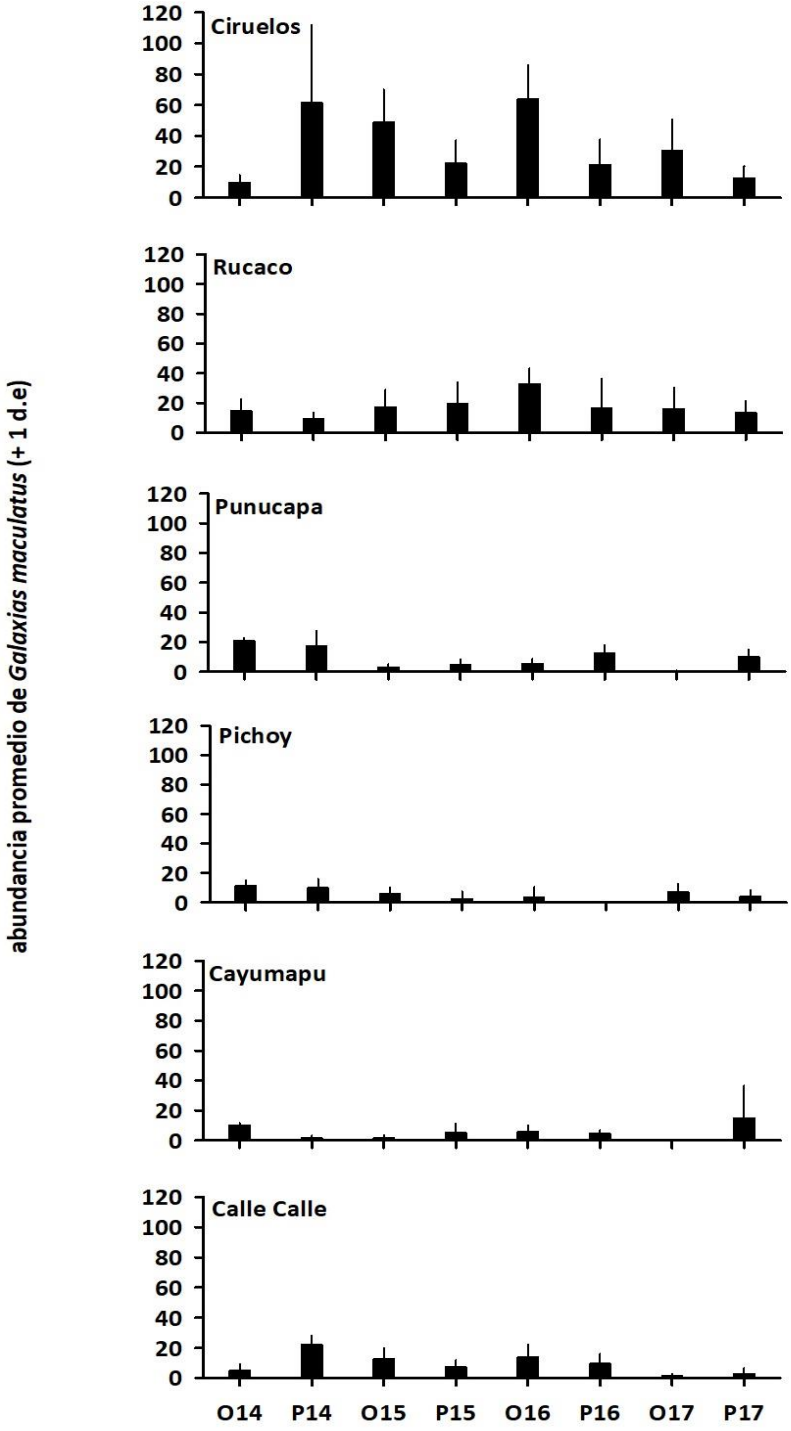


Figura 4.2.5.4. Abundancia promedio total del Puye en cada sitio durante las campañas de otoño (O) y primavera (P) de los años 2014, 2015, 2016 y 2017. Las barras que acompañan al promedio corresponden a una desviación estándar.

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 y 2017.

Año 2014

Durante la campaña otoñal, los valores promedio más alto 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, el número promedio de especie más alto 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 promedio más alto 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, el número promedio de especie más alto se evidenció en los sectores Ciruelos, Punucapa (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 promedio más alto 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, el número promedio de especie más alto 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) (Fig. 4.2.5.5)

Año 2017

Durante la campaña otoñal, los valores promedio más alto 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, el número promedio de especie más alto 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).

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.

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)
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)
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)
Río tributario del humedal				
(sector estuarial)				
río Pichoy, interior	otoño 2014	3,0 (0,6)	0,32 (0,0)	0,68 (0,2)
sector interior	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)

río Cruces	fecha	N	Shannon & Wiener	uniformidad
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)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector Chumpullo	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)
	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)

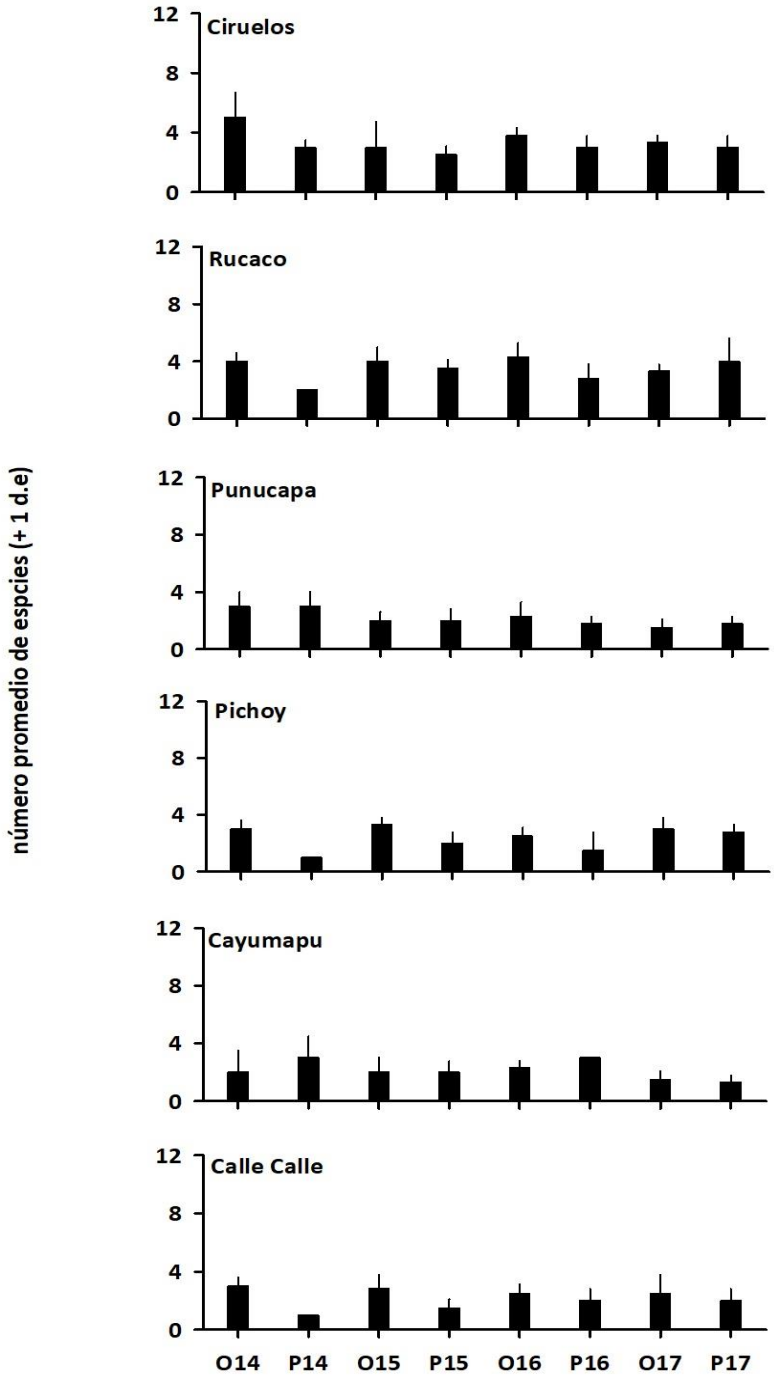


Figura 4.2.5.5. Valores promedio del número de especies en cada sitio durante las campañas de otoño (O) y primavera (P) de los años 2014, 2015, 2016 y 2017. Las barras que acompañan al promedio corresponden a una desviación estándar.

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 y 2017.

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 sector río Calle Calle (media=5,0 cm) (Tabla 4.2.5.4 y Fig.4.2.5.7 y 4.2.5.11).

Durante la campaña primaveral del año 2014, el tamaño corporal del puye, varío 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 y Fig. 4.2.5.9 y 4.2.5.11).

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 & Calle Calle, respectivamente); los especímenes más grandes (considerando la media, moda y rango de tamaños) se recolectaron en el sector Punucapa y Calle Calle (media=6,0 cm) (Tabla 4.2.5.4 y 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 & Calle Calle 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 y 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 sector 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 los ríos Calle Calle (media=7,2, cm) (Tabla 4.2.5.4 y Fig.4.2.5.11).

Los resultados presentados en las Figuras 4.2.5.6 y 4.2.5.7, muestran que en general los tamaños corporales de *Galaxias maculatus*, aumentan desde las campañas de otoño a primavera en los sitios de Ciruelos y Rucaco.

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 los años 2014,2015,2016 y 2017 n= número de especímenes recolectados.

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	4,7	4,6	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
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	66	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
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

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	-	-	-
	otoño 2017	183	5,3	4,8	2,5 - 8,4
	primavera 2017	39	4,1	1,8	1,4 - 7,6
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
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	5,3	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

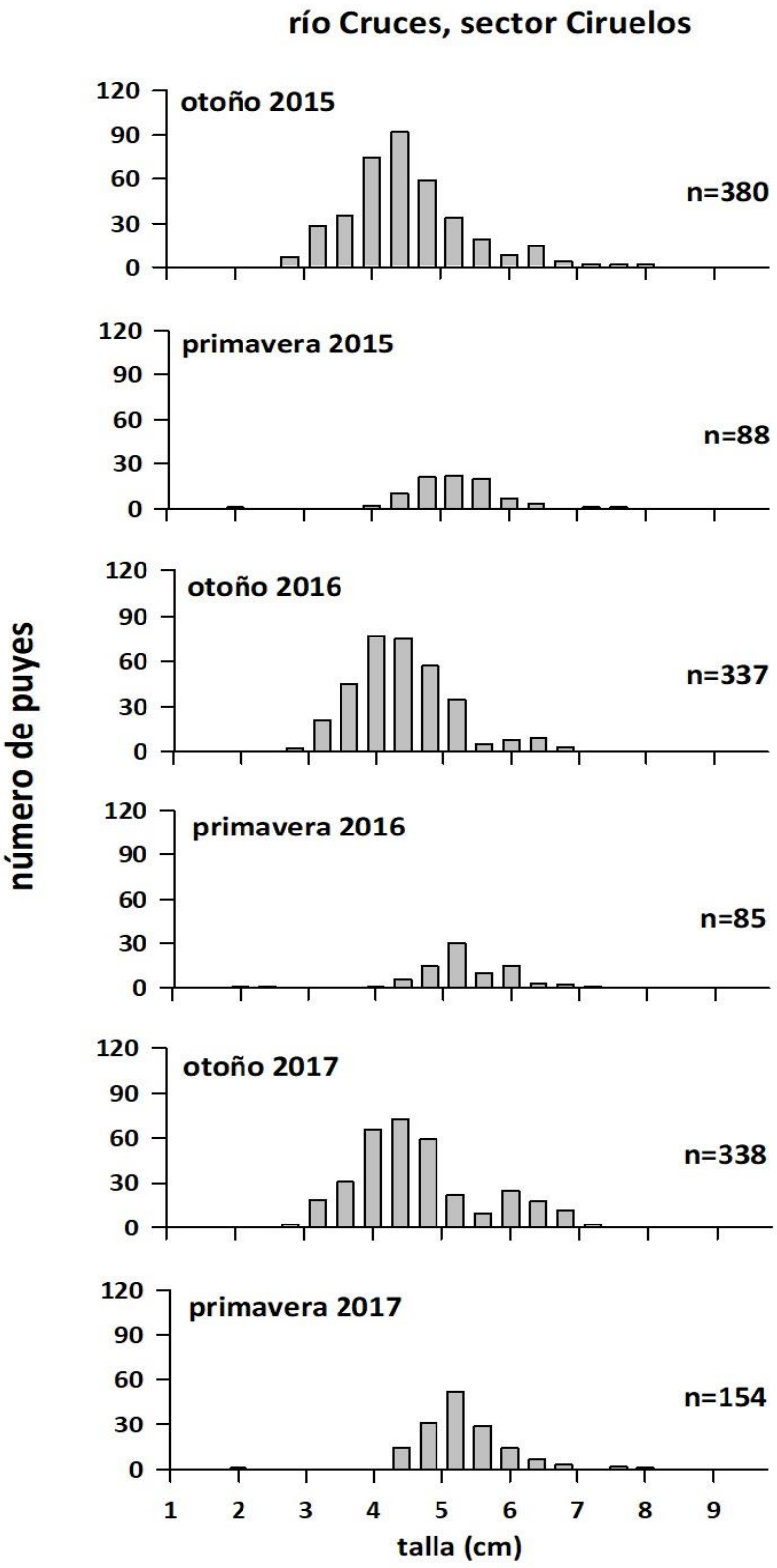


Figura 4.2.5.6. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Cruces, sector Ciruelos, durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016 y 2017.

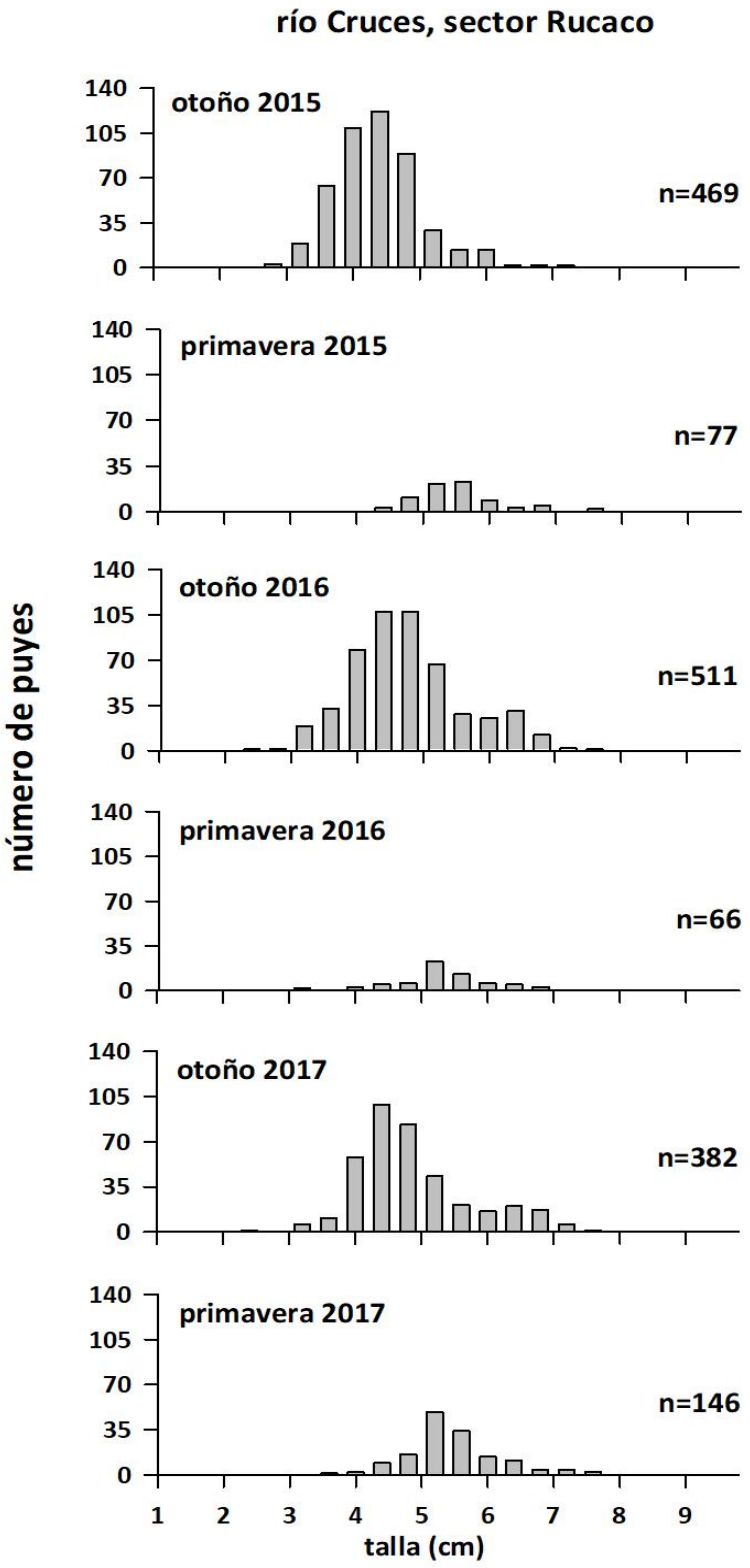


Figura 4.2.5.7. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Cruces, sector Rucaco, durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016 y 2017.

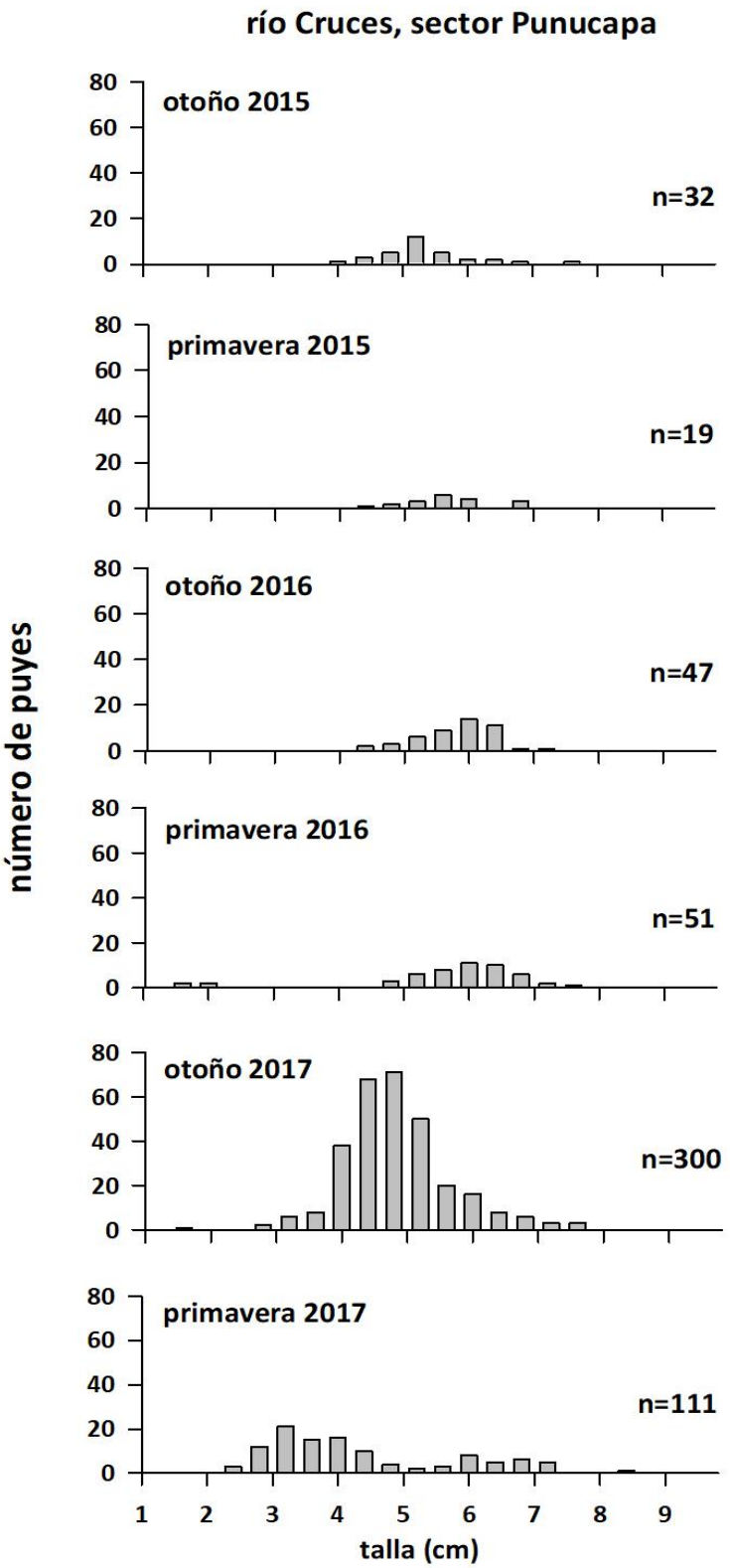


Figura 4.2.5.8. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Cruces, sector Punucapa, durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016 y 2017.

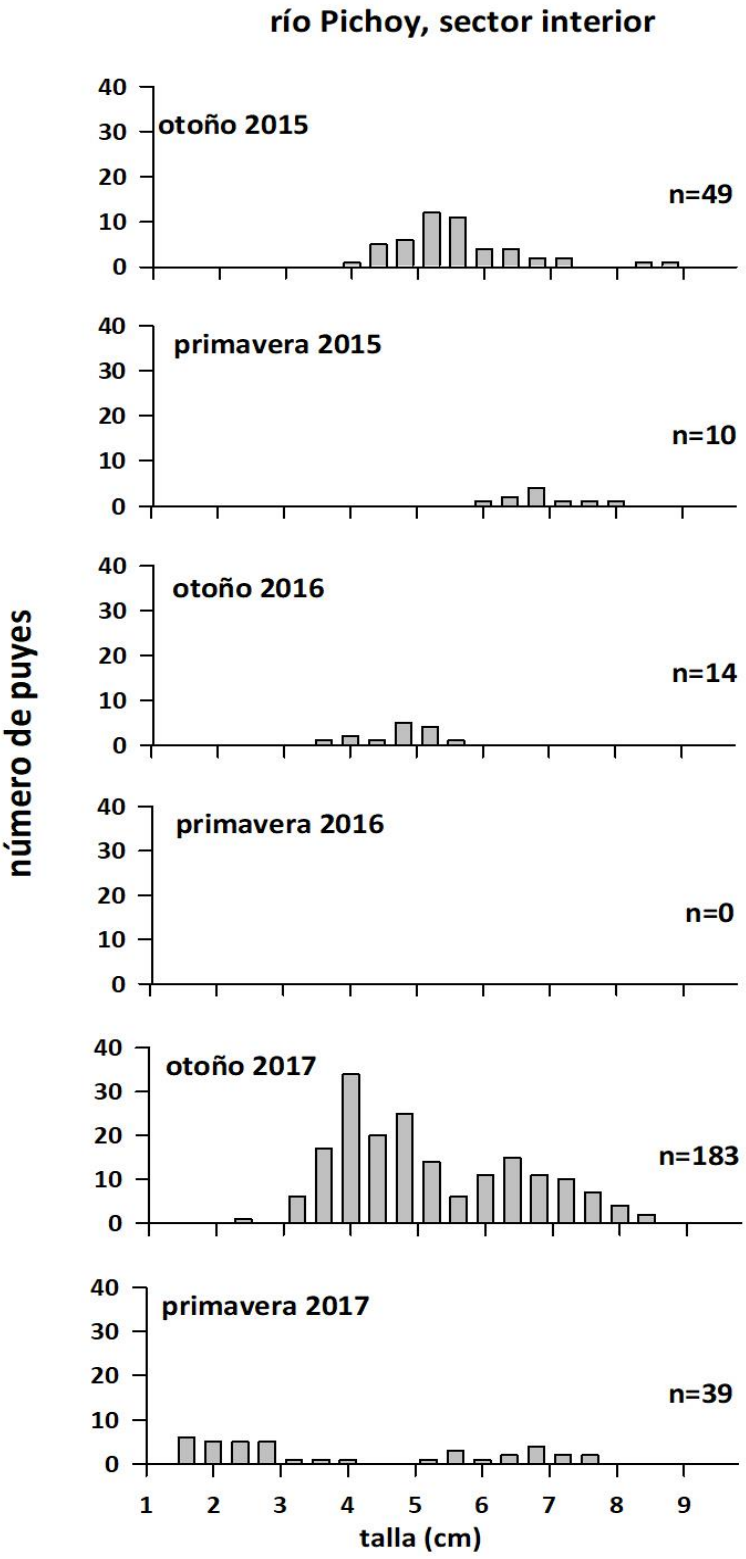


Figura 4.2.5.9. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Pichoy, durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016 y 2017.

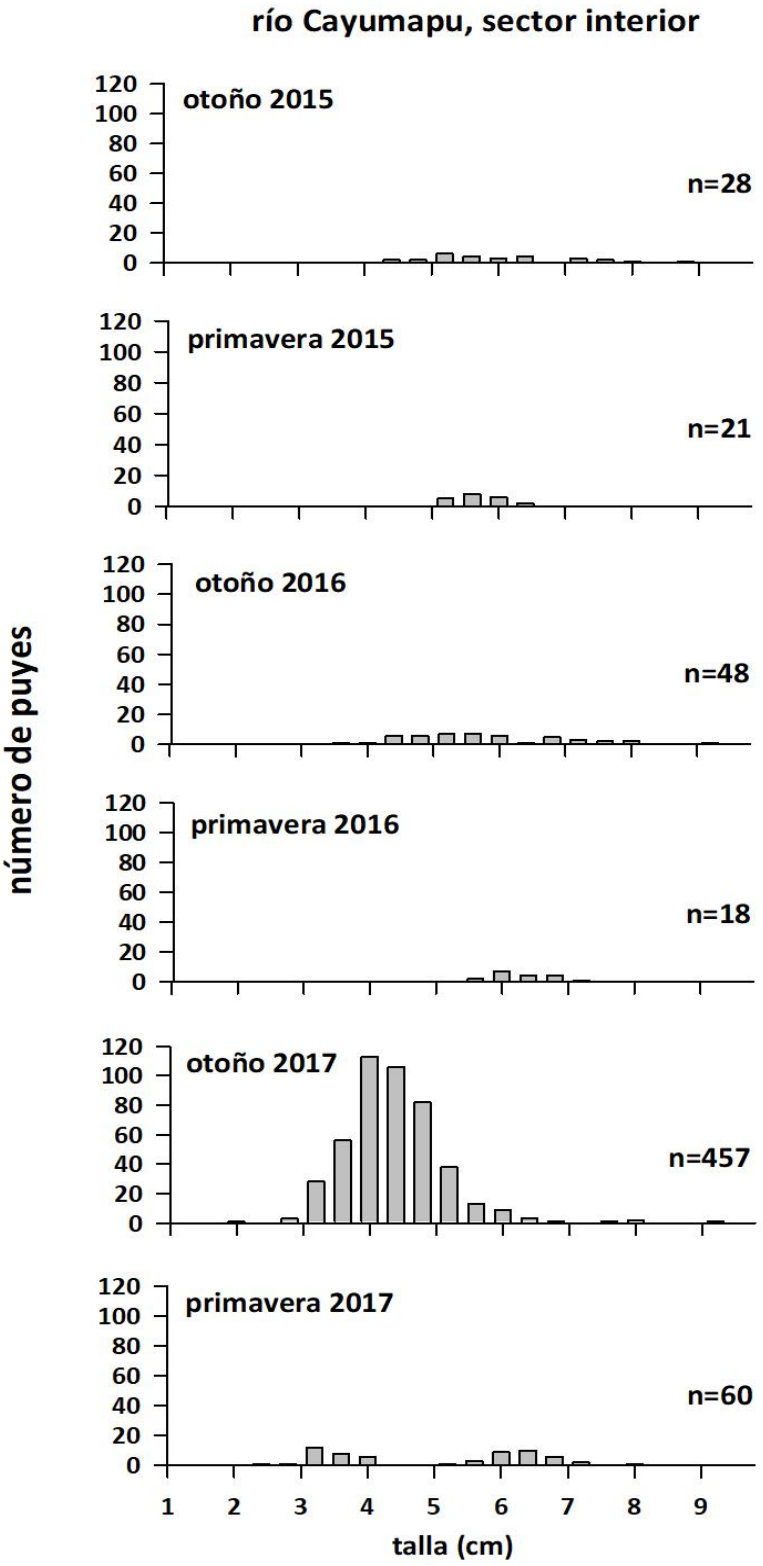


Figura 4.2.5.10. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Cayumapu, durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016 y 2017.

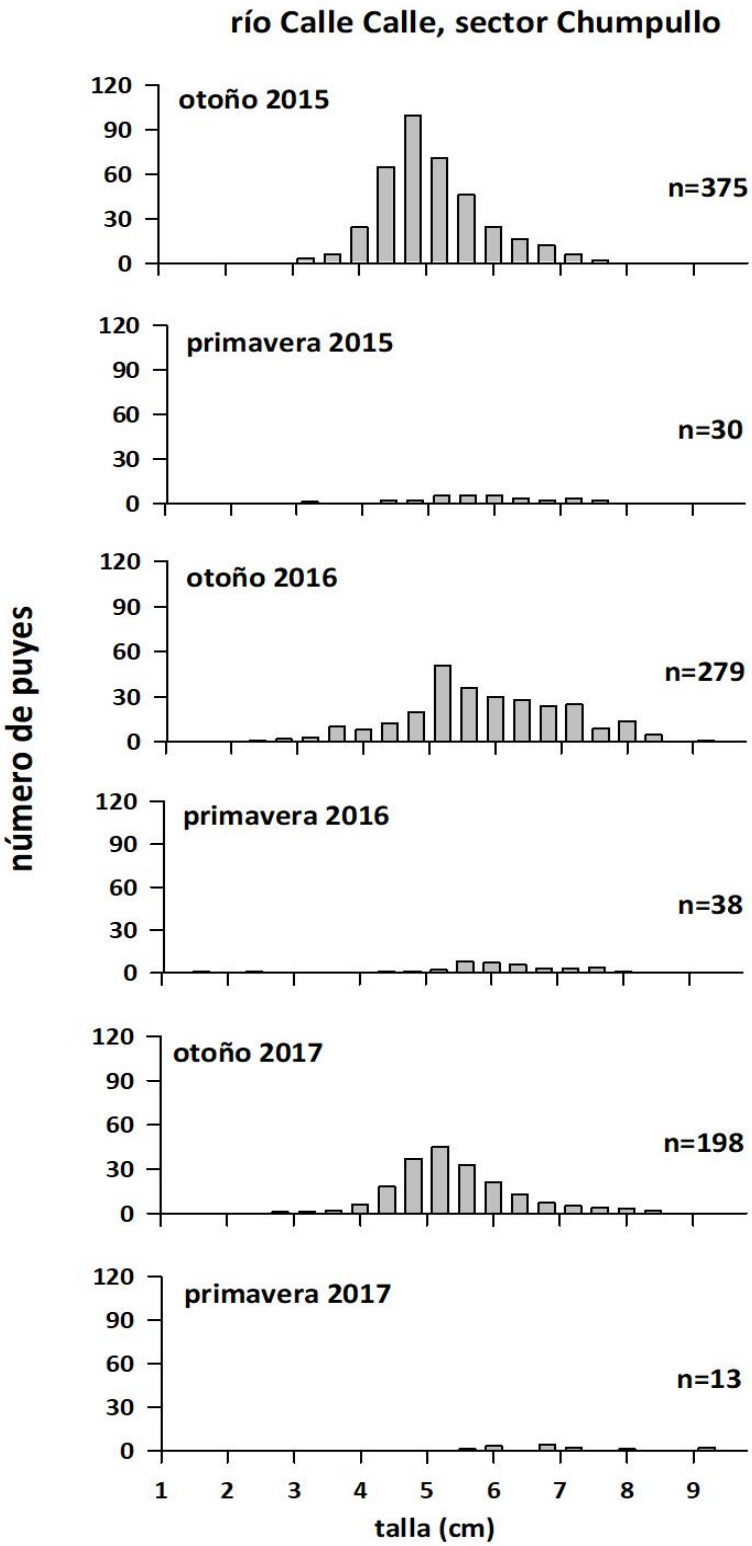


Figura 4.2.5.11. Distribución de tallas corporales del Puye en el río Calle Calle, sector Chumpullo durante las campañas de otoño y primavera de los años 2015, 2016 y 2017.

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 y 2017, en los sectores Ciruelos, Rucaco y Chumpullo (río Calle Calle)

Las Tablas 4.2.5.5 a la 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 y 2017 (Programa de Monitoreo Ambiental de HRC).

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

El Cobre solo fue detectado durante la campaña del año 2016 en Ciruelos y Rucaco; por el contrario, en el sector Chumpullo (río Calle Calle) fue observado durante todas las campañas, menos en otoño del año 2015 (Tabla 4.2.5.6). A la fecha no se ha detectado Cadmio y Arsenico en tejidos de puyes, en ninguno de los tres sectores monitoreados. (Tabla 4.2.5.7, 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 y 2017. 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)
	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)
sector Rucaco	otoño 2014	410,8 (5,8)	383,5 (2,0)	57,2 (1,4)
	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)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector	otoño 2014	254,0 (20,5)	209,9 (6,1)	20,9 (0,5)
	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)

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 y 2017. 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)
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)
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)

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 y 2017. 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)
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)
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)

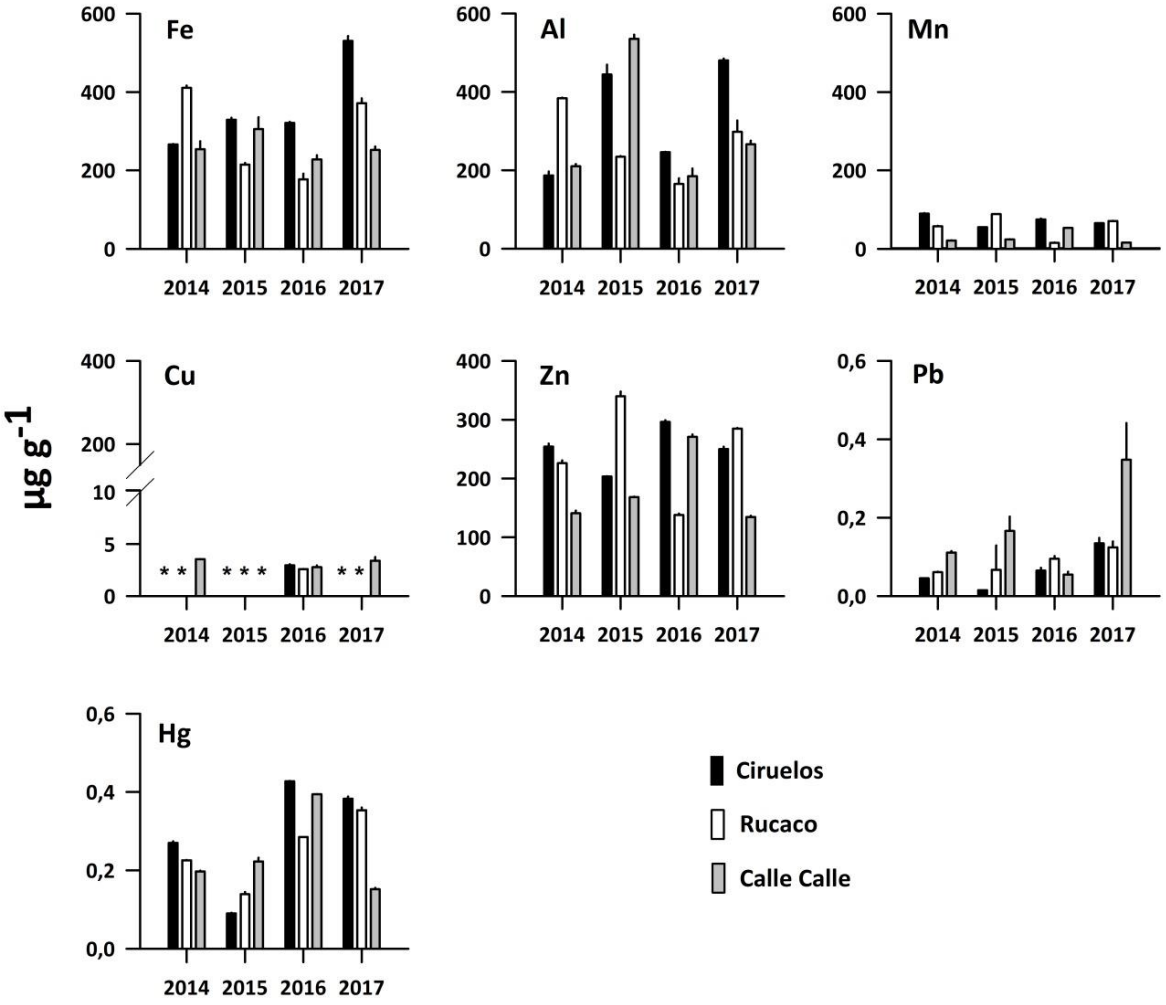


Figura 4.2.5.12. Concentración de metales pesados en especimenes de *Galaxias maculatus*, recolectados durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016 y 2017. Los valores son promedios con una desviación estándar. * = no detectado*, i.e.* bajo el límite de detección del método utilizado.

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 limite de detección del método utilizado) en los tejidos de puyes en ningun sector monitoreado, durante los cuatro años de estudio. Ademas, no se incluyó el Cobre ya que solo 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 2016 (Tabla 4.2.5.8). 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 Rucaco y Calle Calle (Tabla 4.2.5.8).

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; duarnte el año 2016, donde se detectaron las concentraciones más bajas (Tabla 4.2.5.8). Las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes recolectados en Ciruelos que en los capturados en Calle Calle y Rucaco (Tabla 4.2.5.8).

Las concentraciones de Manganeso fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes analizados durante los años 2014 y 2015, que en puyes estudiados durante el 2016 y 2017 (Tabla 4.2.5.8). A su vez las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes recolectados en Ciruelos que en los capturados en Rucaco y Calle Calle (Tabla 4.2.5.8).

Las concentraciones de Zinc fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes analizados durante los años 2015 y 2016 que en los estudiados durante el año 2017 y

2014 (Tabla 4.2.5.8). Las concentraciones de este metal fueron significativamente mas altas ($p<0,05$) en puyes recolectados en Ciruelos y Rucaco que en puyes capturados en Calle Calle (Tabla 4.2.5.8).

Las concentraciones de Plomo fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes analizados durante el año 2017 y 2014 (Tabla 4.2.5.8); a su vez, este metal mostró concentraciones más altas en puyes recoelctados en el río Calle Calle (Tabla 4.2.5.8).

Las concentraciones de Mercurio fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes analizados durante el año 2016, que en puyes estudiados durante los otros años, siendo el año 2015, cuando se detectaron las concentraciones más bajas ($p<0,05$) (Tabla 4.2.5.8). Las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes capturados en Ciruelos, que en puyes capturados en Rucaco y Calle Calle (Tabla 4.2.5.8).

Tabla 4.2.5.8. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de metales pesados registrados en ejemplares completos de *Galaxias maculatus*. Los factores son Año de muestreo (2014, 2015, 2016 y 2017) 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
Fe (**)	Año (A)	3	64894,0	21631,3	119,6	**< 0,001**	2017 >2014 >2015 >2016
	Sector (S)	2	43152,8	21576,4	119,2	**< 0,001**	Ci > Ru > CC
	A × S	6	101236,1	16872,6	93,2	**< 0,001**	
	Error	12	2170,3	180,8			
	Total	23	211453,4	9193,6			
Al (**)	Año (A)	3	150568,8	50189,6	247,2	**< 0,001**	2015 >2017 >2014 >2016
	Sector (S)	2	19286,5	9643,2	47,5	**< 0,001**	Ci > CC > Ru
	A × S	6	182877,8	30479,6	150,1	**< 0,001**	
	Error	12	2436,1	203,01			
	Total	23	355169,4	15442,1			
Mn (**)	Año (A)	3	297,6	99,2	102,5	**< 0,001**	2014 =2015 >2017 >2016
	Sector (S)	2	7718,3	3859,1	3989,8	**< 0,001**	Ci > Ru > CC
	A × S	6	8549,8	1424,9	1473,2	**< 0,001**	
	Error	12	11,6	0,9			
	Total	23	16577,5	720,7			
Zn (**)	Año (A)	3	3472,4	1157,4	73,1	**< 0,001**	2015 =2016 >2017 >2014
	Sector (S)	2	26517,3	13258,6	837,9	**< 0,001**	Ru = Ci > CC
	A × S	6	73855,3	12309,2	777,9	**< 0,001**	
	Error	15	189,8	15,8			
	Total	23	104035,1	4523,2			
Pb (*)(***)	Año (A)	3	0,072	0,024	19,7	**< 0,001**	2017 >2014 =2015 =2016
	Sector (S)	2	0,048	0,024	19,9	**< 0,001**	CC > Ru = Ci
	A × S	6	0,044	0,007	6,1	**0,004**	
	Error	12	0,014	0,001			
	Total	23	0,180	0,007			
Hg (**)	Año (A)	3	0,15	0,051	2541,7	**< 0,001**	2016 >2017 >2014 >2015
	Sector (S)	2	0,01	0,005	289,9	**< 0,001**	Ci > Ru > CC
	A × S	6	0,09	0,016	790,6	**< 0,001**	
	Error	12	0,00	0,000			
	Total	23	0,26	0,011			

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.

Comparaciones en base a muestreos otoñales de los años 2014 y 2017 en los sectores Ciruelos, Rucaco, Punucapa (río Cruces), Pichoy, Cayumapu (ríos tributarios) y Chumpullo (río Calle Calle)

Las Tablas 4.2.5.9 a 4.2.5.11 y la Figura 4.2.5.13, muestran las concentraciones de metales pesados en ejemplares completos de *Galaxias maculatus* recolectados en los sectores de Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014 (Programa de Diagnostico Ambiental del HRC) y 2017 (3º año del Programa de monitoreo ambiental del HRC).

Durante ambas campañas, los metales pesados más representados (i.e., mayores concentraciones) fueron el Hierro, Aluminio y Zinc (Tabla 4.2.5.9 y 4.2.5.10, Figura 4.2.5.13). No se ha detectado Cobre en tejidos de puyes, capturados en Ciruelos y Rucaco durante ambas campañas (Tabla 4.2.5.10 y Figura 4.2.5.13). A su vez, no se detectó Cadmio y Arsénico en puyes capturados en los seis sitios monitoreados, durante ambos años de estudio (Tabla 4.2.5.11 y Figura 4.2.5.13).

Tabla 4.2.5.9. Concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso en tejidos de *Galaxias maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy, Cayumapu y Calle Calle durante las campañas otoñales de los años 2014 y 2017. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis.

estaciones	campañas	Hierro (µg g^{1})	Aluminio (µg g^{1})	Manganeso (µg g^{1})
Eje central río Cruces (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	266,1 (1,5)	186,8 (10,3)	89,9 (1,3)
	otoño 2017	530,7 (12,2)	480,4 (4,8)	65,3 (0,4)
sector Rucaco	otoño 2014	410,8 (5,8)	383,5 (2,0)	57,2 (1,4)
	otoño 2017	371,4 (12,6)	298,2 (28,2)	70,7 (0,8)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Punucapa	otoño 2014	237,6 (9,4)	322,4 (33,6)	24,8 (0,3)
	otoño 2017	416,8 (86,0)	551,1 (8,1)	36,3 (1,3)
Ríos tributarios del río Cruces				
sector río Pichoy	otoño 2014	293,3 (23,7)	313,0 (0,7)	77,9 (4,2)
	otoño 2017	261,2 (2,6)	170,6 (3,4)	83,8 (2,1)
Sector río Cayumapu	otoño 2014	217,2 (10,3)	213,4 (7,7)	44,4 (0,5)
	otoño 2017	177,4 (2,1)	122,0 (17,8)	23,9 (0,2)
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)	21,0 (0,5)
	otoño 2017	252,1 (8,8)	266,4 (9,1)	15,8 (0,1)

Tabla 4.2.5.10. Concentraciones de Cobre, Zinc y Plomo en tejidos de *Galaxias maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy, Cayumapu y Calle Calle durante las campañas otoñales de los años 2014 y 2017. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. *= No detectado, *i.e*., bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	campañas	Cobre (µg g^{1})	Zinc (µg g^{1})	Plomo (µg g^{1})
Eje central río Cruces (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	*	254,2 (5,4)	0,05 (0,0)
	otoño 2017	*	250,1 (4,0)	0,13 (0,0)
sector Rucaco	otoño 2014	*	226,0 (4,7)	0,06 (0,0)
	otoño 2017	*	248,8 (1,2)	0,12 (0,0)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Punucapa	otoño 2014	3,5 (0,4)	161,9 (4,1)	0,06 (0,0)
	otoño 2017	4,0 (0,2)	164,7 (15,1)	0,25 (0,0)
Ríos tributarios del río Cruces				
sector río Pichoy	otoño 2014	3,4 (0,2)	184,9 (3,4)	0,04 (0,0)
	otoño 2017	3,8 (0,4)	183,0 (9,2)	0,08 (0,0)
sector río Cayumapu	otoño 2014	3,1 (0,0)	193,7 (1,0)	0,06 (0,0)
	otoño 2017	3,1 (0,1)	163,5 (21,2)	0,05 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	3,5 (0,0)	140,7 (4,8)	0,11 (0,0)
	otoño 2017	3,4 (0,4)	134,6 (2,1)	0,35 (0,0)

Tabla 4.2.5.11. Concentraciones de Cadmio, Arsénico y Mercurio en tejidos de *Galaxias maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy, Cayumapu y Calle Calle durante las campañas otoñales de los años 2014 y 2017. 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 río Cruces (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	*	*	0,27 (0,0)
	otoño 2017	*	*	0,38 (0,0)
sector Rucaco	otoño 2014	*	*	0,23 (0,0)
	otoño 2017	*	*	0,35 (0,0)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Punucapa	otoño 2014	*	*	0,11 (0,0)
	otoño 2017	*	*	0,11 (0,0)
Ríos tributarios del río Cruces				
sector río Pichoy	otoño 2014	*	*	0,08 (0,0)
	otoño 2017	*	*	0,16 (0,0)
sector río Cayumapu	otoño 2014	*	*	0,12 (0,0)
	otoño 2017	*	*	0,08 (0,0)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	*	*	0,20 (0,0)
	otoño 2017	*	*	0,15 (0,0)

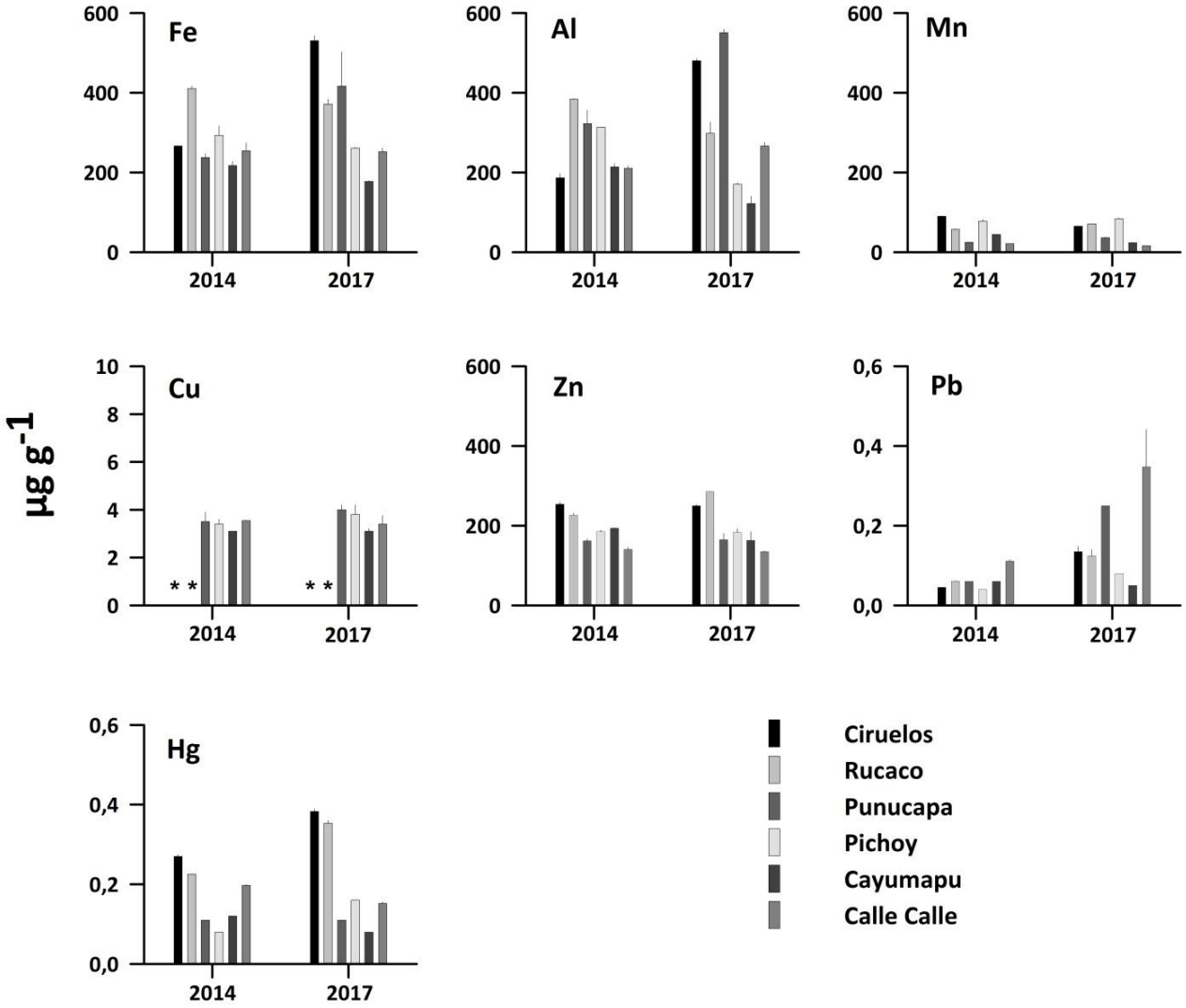


Figura 4.2.5.13. Concentración de metales pesados en especímenes de *Galaxias maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014 y 2017. Los valores son promedios con una desviación estándar. * = No detectado, *i.e*, bajo el limite de detección del método utilizado.

Analisis estadísticos

Los resultados de los análisis de ANDEVA factorial y test *a posteriori* de Tukey, efectuados para comparar el efecto de los factores Año y Sector, en las concentraciones de metales pesados presentes en los tejidos de especímenes de *Galaxias maculatus,* se presentan en la Tabla 4.2.5.12. No se incluyeron Cadmio y Arsénico en estos análisis ya que no fueron detectados en ninguno de los sitios muestreados en ambos años. Para el análisis factorial de Cobre, se excluyeron los sitios Ciruelos y Rucaco, ya que en los mismos no se detectó este metal, en tejidos de puyes analizados durante ambas campañas.

Las concentraciones de Hierro fueron significativamente mas altas ($p<0,05$) en los puyes analizados durante el año 2017 (Tabla 4.2.5.12). A su vez, las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes recolectados en Ciruelos y Rucaco y mas bajas en Cayumapu (Tabla 4.2.5.12).

No se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de Alumnio entre años, pero si entre sectores, donde los puyes capturados en Punucapa, presentaron concentraciones siginicativamente más altas ($p<0,05$) (Tabla 4.2.5.12).

Las concentraciones de Manganeso fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2014 (Tabla 4.2.5.12). Por otra parte, las concentraciones de este metal fueron significativamente mas altas ($p<0,05$) en puyes capturados en Ciruelo y Pichoy (Tabla 4.2.5.12).

Las concentraciones de Cobre no presentaron diferencias significativas entre campañas, a la vez, que los puyes recolectados en Punucapa, Pichoy y Calle Calle presentaron concentraciones significativamente más altas ($p<0,05$) (Tabla 4.2.5.12).

Las concentraciones de Zinc no difieren significativamente entre campañas, pero si por sector, donde las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes capturados en Ciruelos y Rucaco (Tabla 4.2.5.12).

Las concentraciones de Plomo fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2017. A su vez, las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes capturados en Calle Calle (Tabla 4.2.5.12).

Por último, las concentraciones de Mercurio fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2017. Por otro lado, las concentraciones de este metal fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes capturados en Ciruelos y Rucaco (Tabla 4.2.5.12).

Tabla 4.2.5.12. 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 - 2017) y Sector (Ciruelos o Ci, Rucaco o Ru, Punucapa o Pu, Pichoy o Pi, Cayumapu o Ca 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)	1	0,021	0,0211	21,1	**<0,001**	2017 > 2014
	Sector (S)	5	0,252	0,0505	50,6	**<0,001**	Ci = Ru > Pu > Pi = CC > Ca
	A × S	5	0,138	0,0277	27,7	**<0,001**	
	Error	12	0,012	0,0009			
	Total	23	0,424	0,0184			
Al (*)(***)	Año (A)	1	0,002	0,0027	3,6	0,082	
	Sector (S)	5	0,428	0,0857	111,6	**>0,001**	Pu > Ci = Ru > Pi = CC > Ca
	A × S	5	0,373	0,0746	97,1	**>0,001**	
	Error	12	0,009	0,0007			
	Total	23	0,813	0,0354			
Mn (*)(**)	Año (A)	1	0,009	0,0096	90,8	**>0,001**	2014 > 2017
	Sector (S)	5	1,378	0,276	2595,2	**>0,001**	Pi = Ci > Ru > Ca > Pu > CC
	A × S	5	0,134	0,0268	252,5	**>0,001**	
	Error	12	0,001	0,0001			
	Total	23	1,523	0,0662			
Cu(*)(**)(1)	Año (A)	1	0,0018	0,0018	1,9	0,203	
	Sector (S)	3	0,0121	0,0040	4,2	**0,046**	Pu = Pi = CC > Ca
	A × S	3	0,0044	0,0014	1,5	0,278	
	Error	8	0,0076	0,0009			
	Total	15	0,0260	0,0017			
Zn (*)(***)	Año (A)	1	0,0000	0,0000	0,0002	0,987	
	Sector (S)	5	0,224	0,0448	90,5	**>0,001**	Ci = Ru > Pi = Ca > Pu > CC
	A × S	5	0,0163	0,0032	6,5	**0,004**	
	Error	12	0,0059	0,0004			
	Total	23	0,246	0,0107			
Pb(*)(**)	Año (A)	1	0,750	0,750	245,5	**<0,001**	2017 > 2014
	Sector (S)	5	0,846	0,169	55,3	**<0,001**	CC > Ru = Pu; Ci > Ca = Pi
	A × S	5	0,305	0,060	19,9	**<0,001**	
	Error	12	0,036	0,003			
	Total	23	1,938	0,084			

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Hg (*)(**)	Año (A)	1	0,0207	0,0207	237,8	**<0,001**	2017 > 2014
	Sector (S)	5	1,033	0,2070	2379,4	**<0,001**	Ci > Ru > CC > Pi = Pu > Ca
	A × S	5	0,194	0,0387	446,0	**<0,001**	
	Error	12	0,001	0,00008			
	Total	23	1,248	0,0543			

GL = grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar Ho; (*) = Datos transformados a $\log_{10}$. (**) = Cumple al menos uno de los supuestos de ANDEVA; (***) No cumple supuestos de ANDEVA. (1) No se incluyeron los sectores Ciruelos y Rucaco en el análisis, ya que no se detectó Cobre durante estos periodos.

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 4.2.5.13 y la Figura 4.2.5.14 muestran las concentraciones de Ácidos Grasos y AOX, en los especímenes de *G. maculatus recolectados* en el área de estudio, durante las campañas otoñales de los años 2014 (Programa de Diagnostico Ambiental del HRC), 2015, 2016 y 2017 (Programa de Monitoreo Ambiental del HRC).

No se detectaron concentraciones de 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 y 2017. Los valores son promedios con una desviación estándar. * = no detectado, *i.e.,* bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	campañas	Ác. grasos ($\mu g\ g^{-1}$)	Ác. Resínicos ($\mu g\ g^{-1}$)	AOX ($\mu g\ g^{-1}$)
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)
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)
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)

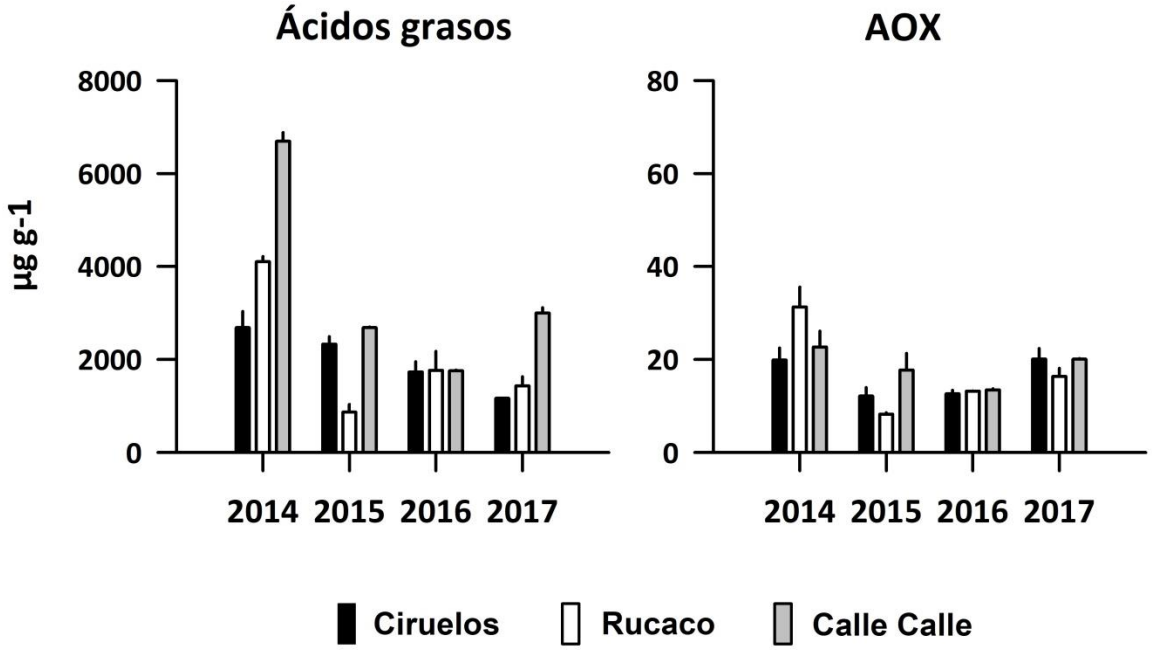


Figura 4.2.5.14. Concentración de Ácidos grasos y compuestos halogenados adsorbibles (AOX) en especímenes de *Galaxias maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016 y 2017. Los valores son promedios con una desviación estándar.

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, que durante las otras campañas realizadas posteriormente (Tabla 4.2.5.14). A su vez estas concentraciones fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes capturados en el río Calle Calle que en los capturados en Ciruelos y Rucaco, cuyas concentraciones no presentaron diferencias significativas entre sí (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 2014 y más bajas durante el año 2016 (Tabla 4.2.5.14). Los mismos análisis no detectaron diferencias significativas entre sectores (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 y 2017) 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)	3	0,644	0,215	82,59	**<0,001**	2014>2015=2016=2017
(*)(**)	Sector (S)	2	0,304	0,152	58,58	**<0,001**	CC > Ci = Ru
	A x S	6	0,309	0,051	19,85	**<0,001**	
	Error	12	0,028	0,002			
AOX	Año (A)	3	563,8	187,9	36,44	**<0,001**	2014>2017>2015=2016
(**)	Sector (S)	2	23,83	11,91	2,311	0,142	
	A x S	6	229,7	38,28	7,424	**0,002**	
	Error	12	61,88	5,157			

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

Comparaciones en base a muestreos otoñales de los años 2014 y 2017 en los sectores Ciruelos, Rucaco, Punucapa (río Cruces), Pichoy, Cayumapu (ríos tributarios) y Chumpullo (río Calle Calle)

La Tabla 4.2.5.15 y la Figura 4.2.5.15, muestran las concentraciones de Ácidos grasos y compuestos halogenados adsorbibles (AOX) en los especímenes de *G. maculatus* recolectados durante las campañas otoñales de los años 2014 (Programa de Diagnostico Ambiental del HRC) y 2017 (3º Año Programa de Monitoreo ambiental del HRC).

No se detectaron concentraciones de Ácidos resinicos en los puyes recolectados en todos los sectores y ambas fechas de muestreo (Tabla 4.2.5.15).

Tabla 4.2.5.15. Concentraciones de Ácidos grasos, Ácidos resínicos y AOX en tejidos de *Galaxias maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014 y 2017. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. *= No detectado, i.e., bajo el límite de detección del método utilizado.

estaciones	campañas	Ac. grasos (µg g^{-1})	Ac. Resínicos (µg g^{-1})	AOX (µg g^{-1})
Eje central río Cruces (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	2685,6 (347,3)	*	19,9 (2,6)
	otoño 2017	1165,5	*	19,7 (2,3)
sector Rucaco	otoño 2014	4101,9 (115,1)	*	31,3 (4,2)
	otoño 2017	1431,7 (197,6)	*	16,4 (1,8)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Punucapa	otoño 2014	5965,2 (151,8)	*	27,9 (0,1)
	otoño 2017	2422,6 (156,4)	*	25,2 (2,3)
Ríos tributarios del río Cruces				
sector río Pichoy	otoño 2014	2710,1 (256,9)	*	42,2 (4,7)
	otoño 2017	1752,5 (376,1)	*	19,8 (2,5)
Sector río Cayumapu	otoño 2014	3191,6 (242,2)	*	27,6 (4,7)
	otoño 2017	1093,1 (53,1)	*	29,0 (0,7)
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 2017	2999,4 (113,7)	*	20,1 (0,1)

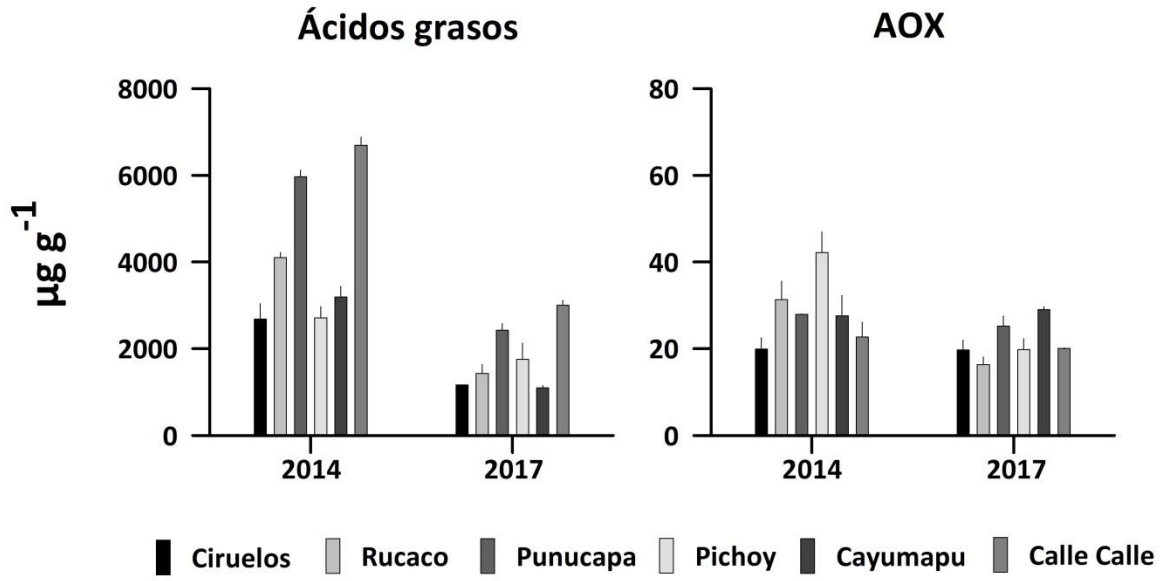


Figura 4.2.5.15. Concentración de Ácidos grasos y compuestos halogenados adsorbibles (AOX) en especímenes de *Galaxias maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Cayumapu y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014 y 2017. Los valores son promedios con una desviación estándar.

Analisis estadisticos

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 tejidos de *G. maculatus* fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2014 (Tabla 4.2.5.16). Por otra parte, los puyes capturados en el río Calle Calle presentaron concentraciones significativamente más altas ($p<0,05$) que los puyes capturados en todos los otros sectores (Tabla 4.2.5.16).

Las concentraciones de AOX fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante el año 2014, siendo los puyes capturados en Punucapa, Pichoy y Cayumapu, los que presentaron concentraciones significativamente mas altas ($p<0,05$) de estos compuestos (Tabla 4.2.5.16).

Tabla 4.2.5.16. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de Ácidos grasos y Compuestos halogenados adsorbibles (AOX) registrados en ejemplares completos de *Galaxias maculatus*. Los factores son Año de muestreo (2014 y 2017) y Sector (Ciruelos o Ci, Rucaco o Ru, Punucapa o Pu, Pichoy o Pi, Cayumapu o Ca 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 A x S es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Ácidos grasos	Año (A)	1	0,757	0,757	409,8	**<0,001**	2014 > 2017
(*)(**)	Sector (S)	5	0,519	0,104	56,1	**<0,001**	CC > Pu > Ru > Ci = Pi = Ca
	A × S	5	0,049	0,009	5,3	**0,010**	
	Error	11	0,020	0,001			
	Total	22	1,323	0,060			
AOX	Año (A)	1	0,0771	0,0771	32,7	**<0,001**	2014 > 2017
(*)(**)	Sector (S)	5	0,0956	0,0191	8,1	**0,002**	Pu = Pi = Ca > Ci = Ru = CC
	A × S	5	0,115	0,0230	9,7	**<0,001**	
	Error	12	0,0283	0,0023			
	Total	23	0,316	0,0137			

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 y 2017, 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 y 2017.

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 y 2017. 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)
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)
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)

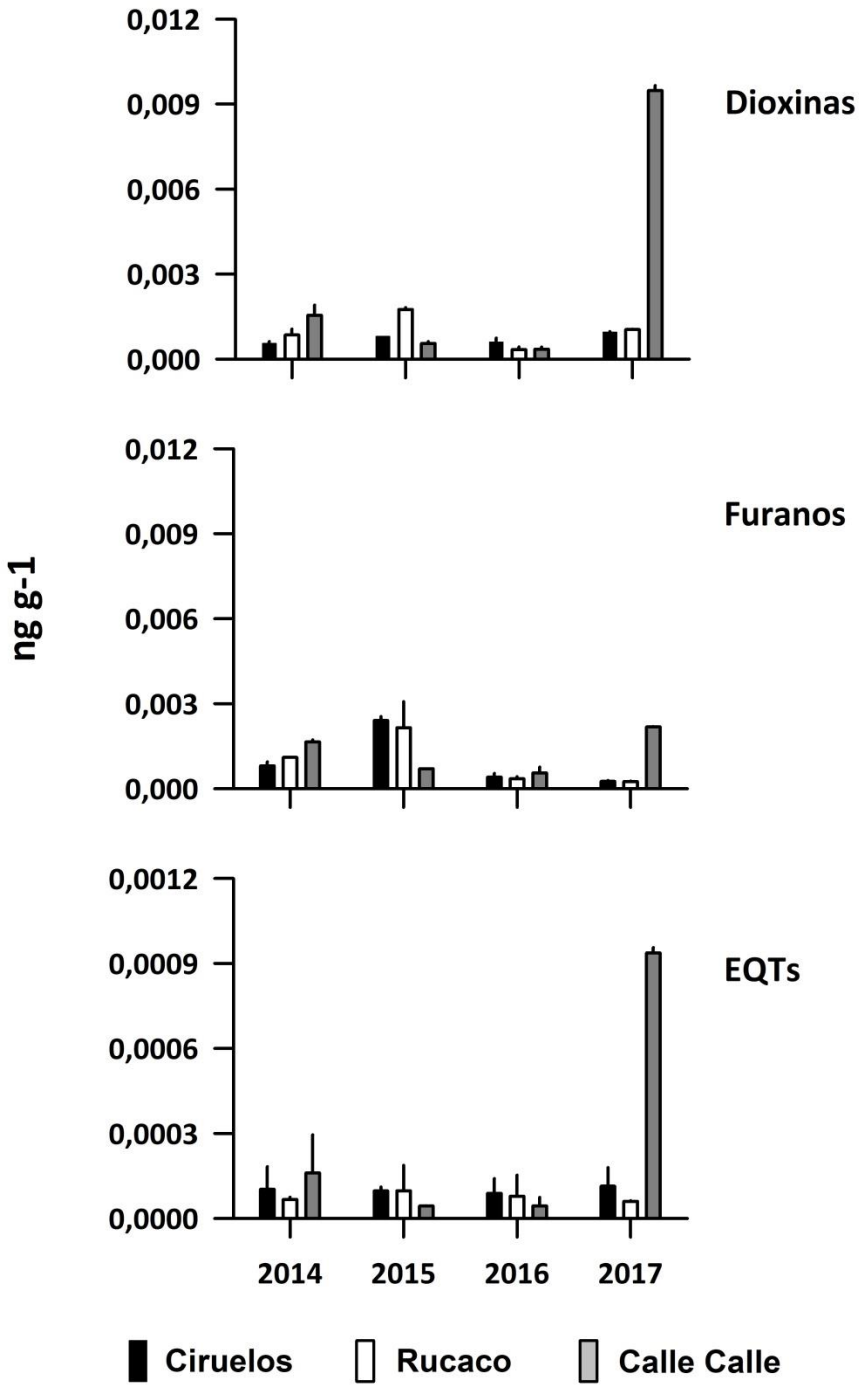


Figura 4.2.5.16. Concentración de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos (ETQs) en especímenes de *G. maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016 y 2017. Los valores son promedios con una desviación estándar.

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, indican que las concentraciones de Dioxinas presentes en los tejidos de *Galaxias maculatus* fueron significativamente mas altas ($p<0,05$) durante la campaña realizada el año 2017 y más bajas durante el año 2016 (Tabla 4.2.5.18). A su vez, las concentraciones de Dioxinas fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en puyes recolectados en el río Calle Calle, que en los especímenes recolectados en Ciruelos y Rucaco, los cuales no presentaron diferencias entre sí (Tabla 4.2.5.18).

Las concentraciones de Furanos presentes en puyes, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante las campañas realizadas durante los años 2014 y 2015 (Tabla 4.2.5.18). Por otra parte, los Furanos tuvieron concentraciones significativamente más altas ($p<0,05$) en especímenes recolectados en Calle Calle y más bajas en los especímenes recolectados en Rucaco (Tabla 4.2.5.18).

Las concentraciones de equivalentes toxicos (EQTs) presentes en tejidos de puyes, fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en ejemplares capturados durante la campaña del año 2017, particularmente en los especímenes capturados en 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 y 2017) 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)	3	1,534	0,511	99,31	**<0,001**	2017 >2014 =2015 >2016
(*)(**)	Sector (S)	2	0,290	0,145	28,14	**<0,001**	CC > Ci =Ru
	A × S	6	1,534	0,256	49,65	**<0,001**	
	Error	12	0,061	0,005			
Furanos	Año (A)	3	1,299	0,433	46,699	**< 0,001**	2015 =2014 >2016 =2017
(*)(**)	Sector (S)	2	0,239	0,120	12,904	**0,001**	CC > Ci > Ru
	A × S	6	1,419	0,236	25,507	**< 0,001**	
	Error	12	0,111	0,009			
EQTs	Año (A)	3	0,000263	0,0000876	8,987	**0,002**	2017 >2104 =2015 =2016
(*)(**)	Sector (S)	2	0,000133	0,0000664	6,815	**0,011**	CC > Ci = Ru
	A × S	6	0,000526	0,0000877	9,000	**< 0,001**	
	Error	12	0,000117	0,0000097			

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.

Comparaciones en base a muestreos otoñales de los años 2014 y 2017 en los sectores Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy, Cayumapu y Chumpullo (río Calle Calle)

La Tabla 4.2.5.19 y la Figura 4.2.5.17, muestran las concentraciones de Dioxinas, Furanos y Equivalentes toxicos (EQTs) encontrados en los especímenes de *Galaxias maculatus* recolectados durante las campañas otoñales de los años 2014 (Programa de Diagnostico Ambiental del HRC) y 2017 (3º Año Programa de Monitoreo Ambiental del HRC).).

Tabla 4.2.5.19. Concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs en tejidos de *Galaxias maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014 y 2017. 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 río Cruces (sector límnico)				
sector Ciruelos	otoño 2014	0,0005 (0,00007)	0,0008 (0,00014)	0,00010 (0,00008)
	otoño 2017	0,0009 (0,00002)	0,0003 (0,00004)	0,00011 (0,00007)
sector Rucaco	otoño 2014	0,0008 (0,00021)	0,0011 (0,00000)	0,00007 (0,00001)
	otoño 2017	0,0010 (0,00001)	0,0002 (0,00003)	0,00006 (0,00000)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Punucapa	otoño 2014	0,0006 (0,00021)	0,0014 (0,00014)	0,00024 (0,00000)
	otoño 2017	0,0013 (0,00010)	0,0015 (0,00018)	0,00037 (0,00002)
Ríos tributarios del río Cruces				
sector río Pichoy	otoño 2014	0,0132 (0,01754)	0,0184 (0,02404)	0,00216 (0,00292)
	otoño 2017	0,0025 (0,00005)	0,0013 (0,00001)	0,00020 (0,00007)
sector río Cayumapu	otoño 2014	0,0014 (0,00028)	0,0012 (0,00007)	0,00013 (0,00014)
	otoño 2017	0,0017 (0,00062)	0,0004 (0,00014)	0,00006 (0,00002)
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	0,0015 (0,00035)	0,0017 (0,00001)	0,00016 (0,00013)
	otoño 2017	0,0094 (0,00018)	0,0022 (0,00001)	0,00094 (0,00002)

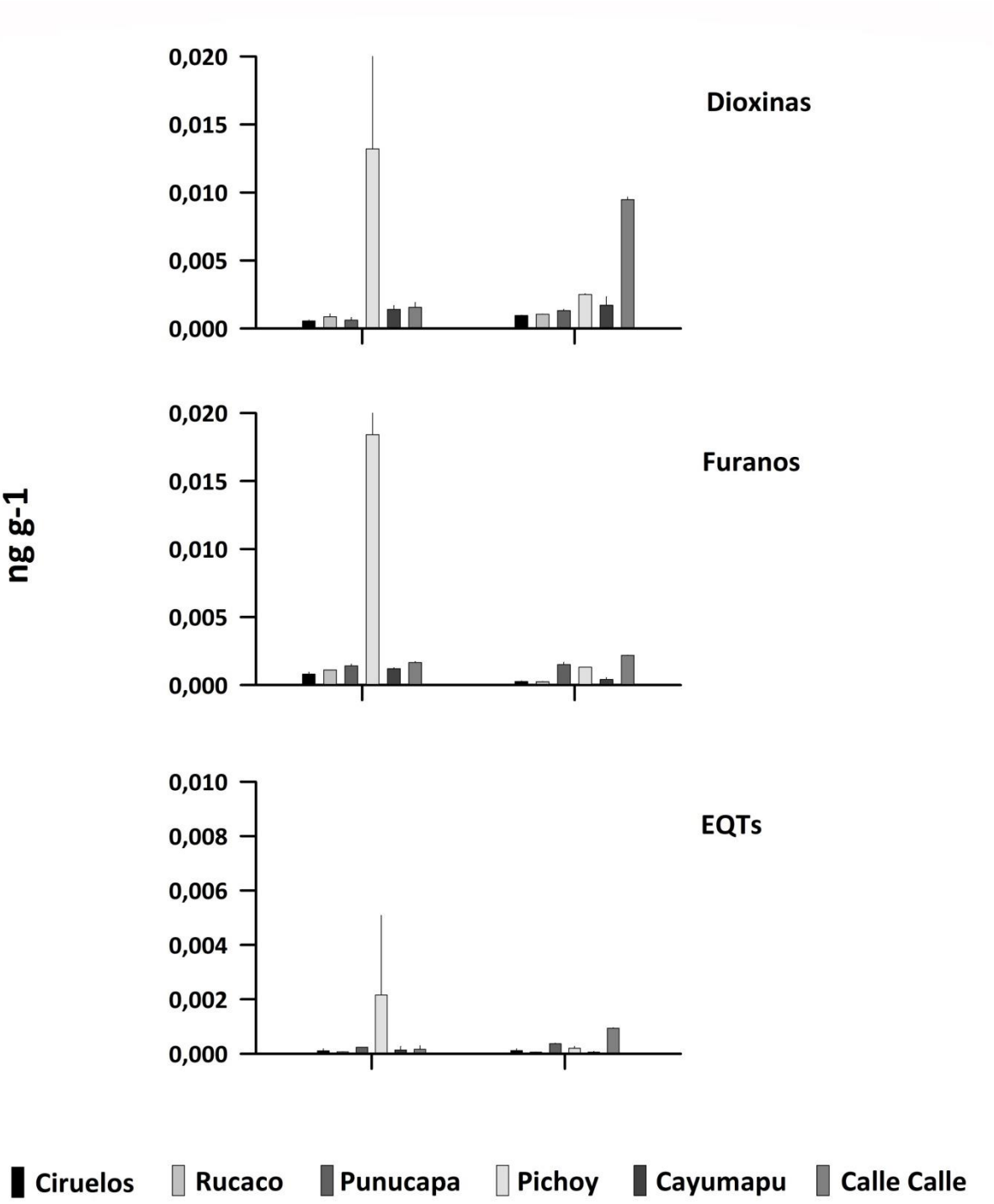


Figura 4.2.5.17. Concentración de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos (ETQs) en especímenes de *G. maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014 y 2017. Los valores son promedios con una desviación estándar.

Análisis estadísticos

La Tabla 4.2.5.20 muestra los resultados del ANDEVA factorial y prueba *a posteriori* de Tukey, utilizados para evaluar el efecto de los factores Año y Sector en las concentraciones de Dioxinas, Furanos y Equivalentes toxicos (EQTs) en puyes recolectados durante los otoños de los años 2014 y 2017. No se encontraron diferencias significativas ($p>0,05$) en las concentraciones de Dioxinas y EQTs; ni entre años ni entre sectores. A su vez, las concentraciones de Furanos presentes en los tejidos de *Galaxias maculatus* fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante la campaña del año 2017 y especialmente en los peces capturados en el río Pichoy (Tabla 4.2.5.20).

Tabla 4.2.5.20. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de Dioxinas, Furanos y EQTs registrados en ejemplares completos de *Galaxias maculatus*. Los factores son Año de muestreo (2014 y 2017) y Sector (Ciruelos, Rucaco Punucapa, Pichoy, Cayumapu 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 A x S es significativa.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
Dioxinas	Año (A)	1	1,99 e 7	1,99 e 7	0,007	0,931	
(*)(***)	Sector (S)	5	1,82 e 4	3,64 e 5	1,418	0,286	
	A × S	5	1,76 e 4	3,53 e 5	1,374	0,301	
	Error	12	3,08 e 4	2,57 e 5			
	Total	23	6,67 e 4	2,90 e 5			
Furanos	Año (A)	1	0,818	0,818	9,5	**0,009**	2014 > 2017
(*)(***)	Sector (S)	5	2,277	0,455	5,3	**0,008**	Pi > Ci = Ru = Pu = Ca = CC
	A × S	5	0,622	0,124	1,4	0,274	
	Error	12	1,025	0,085			
	Total	23	4,742	0,206			
EQTs	Año (A)	1	0,026	0,026	0,1	0,710	
(*)(***)	Sector (S)	5	2,623	0,525	2,8	0,064	
	A × S	5	1,068	0,214	1,1	0,383	
	Error	12	2,209	0,184			
	Total	23	5,926	0,258			

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 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PCDD).

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 4.2.5.21 y la Figura 4.2.5.18, muestran las concentraciones de Dioxinas, 2.3.7.8-TCDD y Dioxinas 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 y 2017 (3º Año Programa de Monitoreo Ambiental del HRC).).

Se destaca que solo en la campaña del año 2017 se detectó la Dioxina 2.3.7.8-TCDD en los tres sectores; a su vez, la Dioxina 1.2.3.7.8-PCDD fue detectada en los tres sectores de muestreo y primariamente en peces del sector Ciruelos (en tres de cuatro campañas) (Tabla 4.2.5.21 y Fig. 4.2.5.18).).

Debido a que la Dioxina 2.3.7.8-TCDD solo se detectó durante el año 2017 y que la Dioxina 1.2.3.7.8-PCDD no se detectó en todas las campañas, no se realizaron análisis estadísticos.

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 y 2017. 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
sector Rucaco	otoño 2014	*	*
	otoño 2015	*	*
	otoño 2016	*	0,00005 (0,00007)
	otoño 2017	0,00003 (0,00000)	*
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)

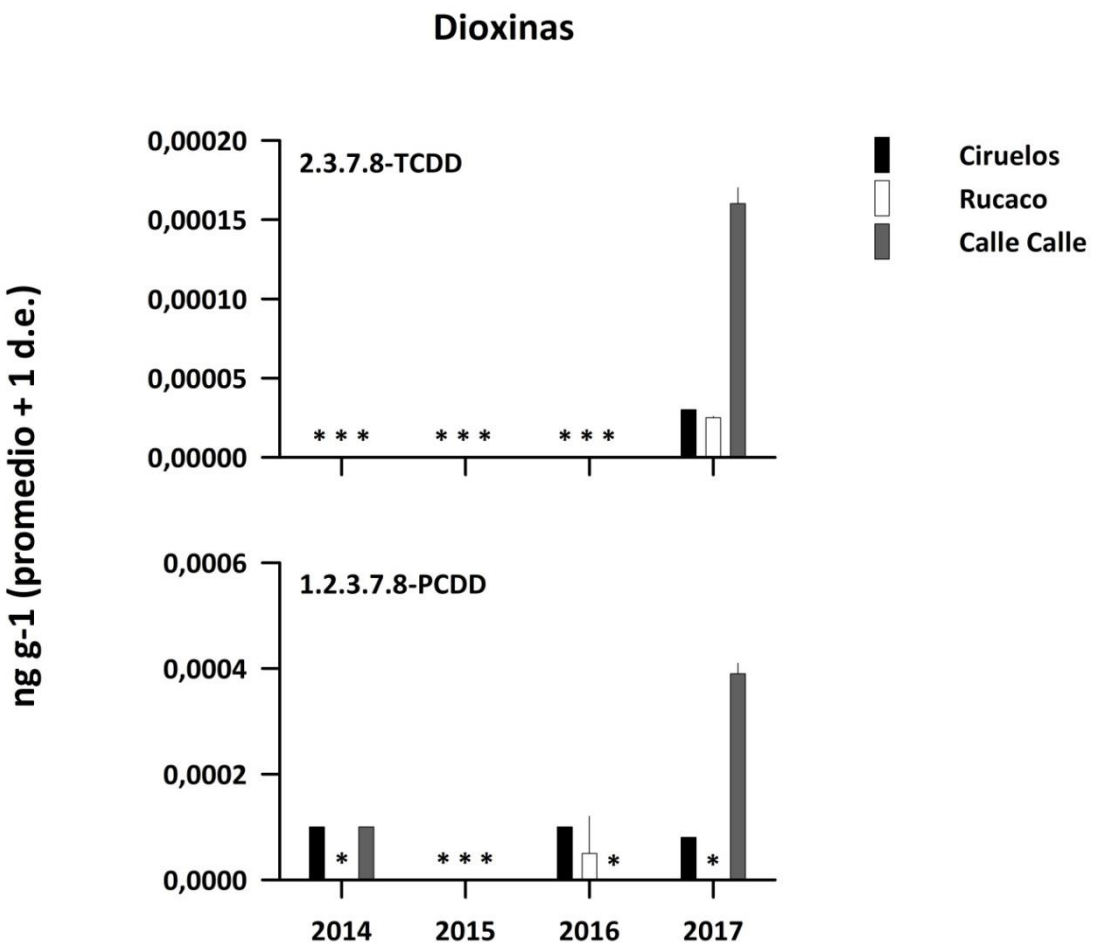


Figura 4.2.5.18. Concentracion de Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PCDD en especímenes de *Galaxias maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016 y 2017. Los valores son promedio con una desviación estándar. * = No detectado, *i.e*., bajo el limite de detección del método utilizado.

Comparaciones en base a muestreos otoñales de los años 2014 y 2017, en los sectores Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy, Cayumapu y Chumpullo (río Calle Calle)).

La Tabla 4.2.5.22 y Figura 4.2.5.19 muestra que durante el año 2014 la Dioxina 2.3.7.8-TCDD fue detectada en puyes del sector Punucapa (río Cruces) y río Pichoy; por el contrario, durante el año 2017 esta dioxina fue encontrada en puyes de todos los

sectores. A su vez, la Dioxina 1.2.3.7.8-PCDD fue en general, detectada en puyes de toda el área de estudio con excepción del sector Rucaco (Tabla 4.2.5.22 y Figura 4.2.5.19).).

Tabla 4.2.5.22. Concentraciones de Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y Dioxinas 1.2.3.7.8-PCDD en tejidos de *Galaxias maculatus* capturados durante las campañas de otoño de los años 2014 y 2017. Los valores son promedios con desviación estándar en paréntesis. *= 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 río Cruces (sector límnico)			
sector Ciruelos	otoño 2014	*	0,00010
	otoño 2017	0,00003 (0,0000)	0,00008
sector Rucaco	otoño 2014	*	*
	otoño 2017	0,00003 (0,0000)	*
Eje central del río Cruces (sector estuarial)			
sector Punucapa	otoño 2014	0,0001	0,00015 (0,00007)
	otoño 2017	0,00008 (0,00001)	0,00012
Ríos tributarios del río Cruces			
sector río Pichoy	otoño 2014	0,0004	0,00110
	otoño 2017	0,00004 (0,00001)	0,00011
sector río Cayumapu	otoño 2014	*	0,0001
	otoño 2017	0,00003 (0,00001)	*
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios			
río Calle Calle, sector Chumpullo	otoño 2014	*	0,0001
	otoño 2017	0,00016 (0,00001)	0,00039 (0,00002)

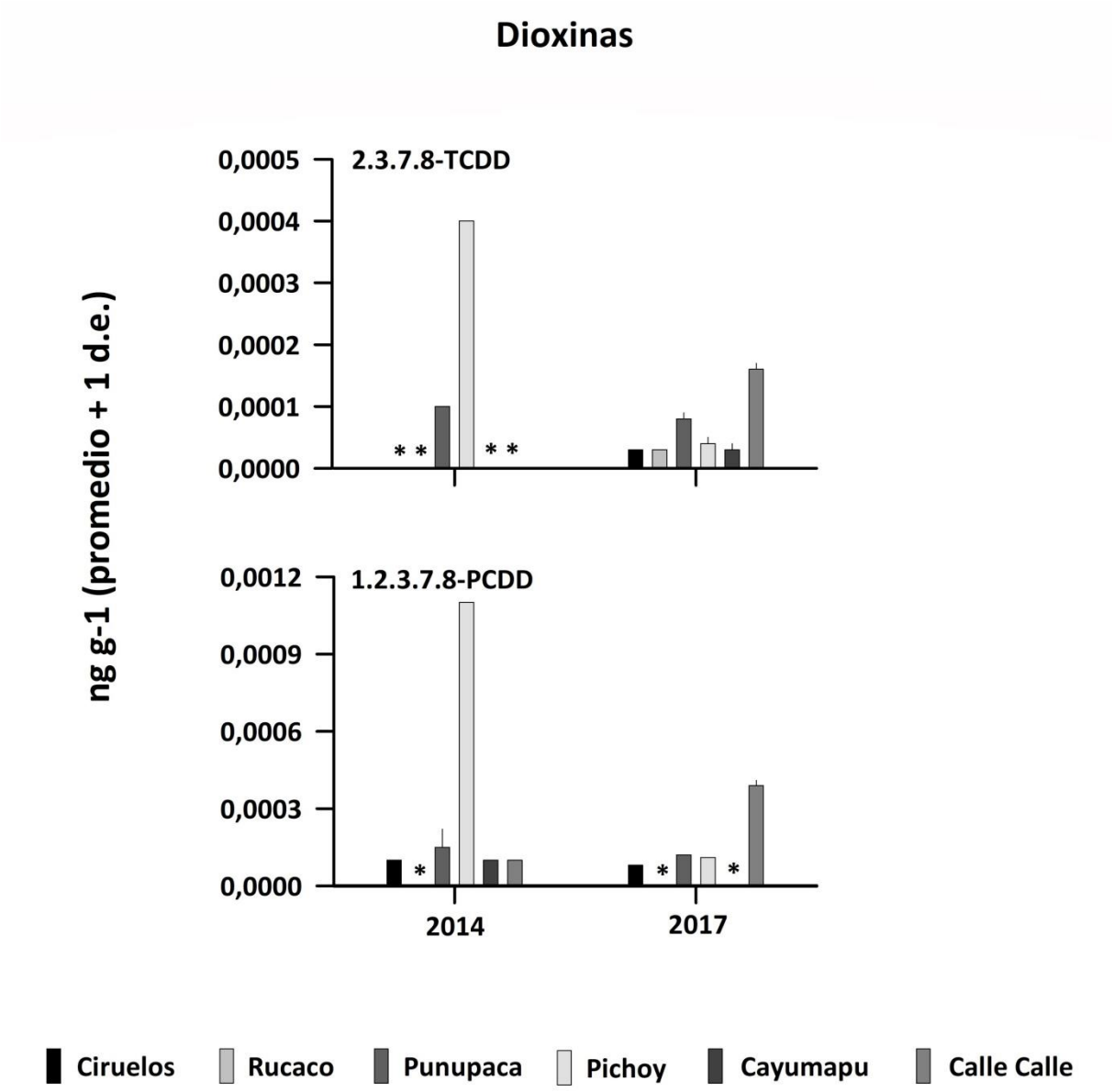


Figura 4.2.5.19. Concentracion de Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PCDD en especímenes de *Galaxias maculatus* recolectados en Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy, Cayumapu y Calle Calle, durante las campañas otoñales de los años 2014 y 2017. Los valores son promedio con una desviación estándar. * = No detectado, *i.e*., bajo el limite de detección del método utilizado.

Analisis estadísticos

La Tabla 4.2.5.23 muestra los resultados del ANDEVA factorial y prueba *a posteriori* de Tukey, utilizados para evaluar el efecto de los factores Año y Sector en las concentraciones de Dioxinas, Furanos y Equivalentes toxicos (EQTs) en puyes recolectados durante los otoños de los años 2014 y 2017. No se incluyó el año 2014 en los análisis estadísticos realizados para la Dioxina 2.3.7.8-TCDD, ya que, durante ese año, solo estuvo presente en los peces de dos de cinco sectores. Para los análisis factoriales de la Dioxina 1.2.3.7.8-PCDD no se incluyeron los sectores Rucaco y Cayumapu, ya que, en estos sectores, esta dioxina o no fue detectada (Rucaco) en los años a comparar (204 y 2017) o solo ocurrió durante uno de esos añ (2014).

Los análisis llevados a cabo para evaluar el efecto del factor Sector, indican que las concentraciones de la Dioxina 2.3.7.8-TCDD presentes en los tejidos de *Galaxias maculatus* fueron significativamente más altas ($p<0,05$) en especímenes capturados en el río Calle Calle y sector Punucapa (río Cruces) que, en los capturados en los otros sectores estudiados, los cuales no presentaron diferencias significativas entre sí ($p>0,05$) (Tabla 4.2.5.23).

Las concentraciones de la Dioxina 1.2.3.7.8-PCDD presentes en tejidos de puyes fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante la campaña del año 2014, particularmente en los puyes capturados en Pichoy; no se encontraron diferencias significativas ($p>0,05$) en las concentraciones de esta dioxina al comparar los puyes de Ciruelos, Rucaco y Punucapa (Tabla 4.2.5.23).

Tabla 4.2.5.23. Resumen de ANDEVA Factorial y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar diferencias en las concentraciones de Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y Dioxinas 1.2.3.7.8-PCDD registradas en ejemplares completos de *Galaxias maculatus*. Los factores son Año de muestreo (2014 y 2017) y Sector (Ciruelos o Ci, Rucaco o Ru, Punucapa o Pu, Pichoy o Pi, Cayumapu o Ca 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	Prueba de Tukey
2.3.7.8-TCDD	Sitio (S)	5	0,981	0,196	17,6	**0,002**	CC = Pu > Ci = Ru = Pi = Ca
(*)(**)(1)	Error	6	0,066	0,0111			
	Total	11	1,048				
1.2.3.7.8-PCDD	Año (A)	1	8,04 e-08	8,04 e-08	29,9	**0,032**	2014 > 2017
(*)(***)(2)	Sector (S)	3	1,12 e-07	1,12 e-07	41,8	**0,023**	Pi > Ci = Ru = CC
	A × S	3	1,66 e-07	1,66 e-07	61,8	**0,016**	
	Error	8	2,68 e-09	2,68 e-09			
	Total	15	9,89 e-08	9,89 e-08			

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. (1) Para el análisis no se consideró el año 2014, ya que, durante ese año, esta dioxina fue detectada solo en dos sitios. (2) No se consideraron en el análisis los sitios Rucaco y Cayumapu, ya que no se detectó esta Dioxina en los periodos de estudio.

4.2.5.4.3. Evaluación del estado sanitario y análisis histopatológicos

Estado sanitario

La Tabla 4.2.5.24 muestra las fechas de recolección de puyes (*Galaxias maculatus*), durante la campaña otoñal del año 2017; en la Tabla 4.2.5.25 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 4.2.5.24. Fechas de recepción de los puyes (*Galaxias maculatus*) analizados durante abril de 2017. A cada fecha de ingreso le fue asignado un 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	05-abril-2017	*G. maculatus*	20
sector Rucaco	05	06-abril-2017	*G. maculatus*	20
Eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Punucapa	09	13-abril-2017	*G. maculatus*	20
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)				
río Pichoy interior	06	10-abril-2017	*G. maculatus*	20
río Cayumapu interior	07	11-abril-2017	*G. maculatus*	25
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios				
río Calle Calle	08	13-abril-2017	*G. maculatus*	21

Tabla 4.2.5.25. Resumen de resultados de análisis sanitarios de *Galaxias maculatus* durante la campaña otoñal del año 2017, 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	05-abril-17	*G. maculatus*	20	TSA: hígado (4) TYES: hígado(4)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: corazón, riñón, bazo (5)	negativo 1/1
Rucaco	05	06-abril-17	*G. maculatus*	20	TSA: hígado (4) TYES: hígado (4)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: corazón, riñón, bazo (5)	negativo 1/1
Punucapa	09	13-abril-17	*G. maculatus*	20	TSA: hígado (4) TYES: hígado (4)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: corazón, riñón, bazo (5)	negativo 1/1
río Pichoy	06	10-abril-17	*G. maculatus*	20	TSA: hígado (4) TYES: hígado (4)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: corazón, riñón, bazo (5)	negativo 1/1
río Cayumapu	07	11-abril-17	*G. maculatus*	25	TSA: hígado (4) TYES: hígado (4)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: corazón, riñón, bazo (5)	negativo 1/1
río Calle Calle	08	13-abril-17	*G.maculatus*	21	TSA: hígado (4) TYES: hígado(4)	desarrollo bacteriano negativo	1 pool: corazón, riñón, bazo (5)	negativo 1/1

De la Tabla 4.2.5.25 se desprende que no se detectó desarrollo bacteriano como tampoco presencia del virus IPN (Necrosis Pancreática Infecciosa), desde las muestras de Puyes analizadas.

La identificación de parásitos en Puyes recolectados durante abril de 2017, desde branquias, según estación y número de caso, se presenta a continuación:

sector Ciruelos Caso 04.17

Branquias (5): presencia de *Trichodina* abundante 3/5 y escasa 2/5.

sector Rucaco Caso 05.17

Branquias (5): escasa presencia de *Dactylogyrus* 4/5, escasa presencia de *Epystilus* 1/5 y *Trichodina* 1/5.

sector Punucapa Caso 09.17

Branquias (5): escasa presencia de *Dactylogyrus* 1/5

sector río Pichoy Caso 06.17

Branquias (5): escasa presencia de *Dactylogyrus* 5/5.

sector río Cayumapu Caso 07.17

Branquias (5): escasa presencia de *Dactylogyrus* 2/5.

sector río Calle Calle Caso 08.17

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

En la Tabla 4.2.5.26 se presenta la identificación parasitológica de las nodulaciones encontradas en hígado y branquias, identificadas en el Laboratorio de Parasitología del Instituto de Patología Animal de la UACh.

Tabla 4.5.2.26. Identificación parasitaria en hígado y branquias de Puyes (*Galaxias maculatus*) de abril de 2017, según estación, número de caso y fecha de muestreo. N = número de animales en la muestra analizada. NA =No aplica.

sectores	n°	fechas	especie	n°	Órgano	identificación
Ciruelos	04	05-abril -17	*G. maculatus*	20	Hígado	Metacercarias del trematodo perteneciente a la familia Echinostomatidae
					Branquias	No se evidenciaron formas parasitas
Rucaco	05	06-abril-17	*G. maculatus*	20	Hígado	Estructura quística compatible con Cistocanto del phylum Acantocephala
					Branquias	No se evidenciaron formas parásitas
Punucapa	09	13-abril-17	*G. maculatus*	20	Branquias	Trematodos monogeneos
Río Pichoy	06	10-abril-17	*G. maculatus*	20	Hígado	Metacercarias del trematodo perteneciente a la familia Echinostomatidae
						Estructura quística compatible con Cistocanto del phylum Acantocephala
						Estadio larvario (L3) de nematodo perteneciente a la familia Anisakidae
					Branquias	Trematodos monogeneos
Río Cayumapu	07	11-abril-17	*G. maculatus*	25	Hígado	Estructura quística compatible con Cistocanto del phylum Acantocephala
					Branquias	No se evidenciaron formas parásitas

No se detectaron peces 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.

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 *Gyrodactylus* sp. y de los protozoos *Ichthyophthirius* sp., *Trichodina* sp., en branquias y piel. En hígado se encontraron nódulos parasitarios con metacercarias de *Echinoparyphium* sp. (Digenea). 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 4.5.2.27 se detallan los hallazgos histopatológicos en los Puyes (*Galaxias maculatus*) recolectados en los seis sectores examinados durante la campaña del otoño 2017. De cada estación se examinaron cinco ejemplares.

Tabla 4.5.2.27. Resumen con el detalle de los hallazgos histopatológicos en los Puyes (*Galaxias maculatus*) recolectados durante la campaña de otoño 2017. 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 observado por no estar disponible en la muestra.

sectores	fecha	SNC	cavidad abdominal	hígado	riñón	páncreas	corazón	branquias	estómago	ciegos pilóricos / intestino	bazo	musculatura	gónadas
Ciruelos	05-abr-17	parásito en meninges (1) parásito en ojo (1) S/A (3)	parásitos (3) S/A (2)	hemorragia (1) congestión (4) parásitos (2)	parásitos (2) S/A (3)	S/A (4) OND (1)	S/A (4) OND (1)	hiperplasia epitelial (5) branquitis con *Trichodina*(1)	S/A (5)	S/A (4) OND (1)	S/A (1) OND (4)	S/A (5)	testículo (3) ovario (2)
Rucaco	06-abr-17	S/A (5)	parásitos (4) S/A (1)	congestión (3) parásito (1) S/A (1)	nefrocalcinosis (1) S/A (4)	congestión (1) S/A (4)	Congestión (1) S/A (1) OND (3)	hiperplasia epitelial (5) *Trichodina* (2)	S/A (5)	parásitos (1) S/A (4)	hiperplasia pulpa roja (3) OND (2)	S/A (5)	testículo (1) ovario (3) OND (1)
Punucapa	13-abr-17	S/A (5)	parásitos (3) S/A (2)	Congestión (5)	S/A (5)	S/A (3) OND (2)	S/A (2) OND (3)	hiperplasia epitelial (5) *Trichodina* (2) Trematodo (1)	S/A (5)	S/A (5)	S/A (1) OND (4)	S/A (5)	testículo (2) OND (3)
Pichoy	10-abr-17	S/A (5)	parásitos (4) S/A (1)	hemorragia (1) S/A (3) OND (1)	S/A (5)	S/A (4) OND (1)	S/A (3) OND (2)	hiperplasia epitelial (5) *Trichodina* (1) Trematodo (3)	parásito (1) S/A (3) OND (1)	Parásito (1) S/A (4)	hiperplasia pulpa roja (1) S/A (1) OND (3)	S/A (5)	testículo (2) ovario (3)
Cayumapu	11-abr-17	S/A (5)	parásitos (4) S/A (1)	necrosis (1) parásito (1) congestión (3)	S/A (5)	S/A (3) OND (2)	congestión (3) S/A (2) OND (1)	hiperplasia epitelial (5)	S/A (5)	S/A (5)	hiperplasia pulpa roja (1) OND (4)	S/A (5)	testículo (2) ovario (1) OND (2)
Calle Calle	13-abr-17	S/A (5)	S/A (5)	Inflamación (1) congestión (3) S/A (1)	S/A (5)	S/A (3) OND (2)	congestión (3) S/A (2)	hiperplasia epitelial (5) *Trichodina* (1)	S/A (5)	S/A (5)	hiperplasia pulpa roja (1) OND (4)	S/A (5)	testículo (2) ovario (1) OND (2)

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.

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 y 2016, llama la atención el marcado parasitismo encontrado (ver Tabla 4.5.2.28), 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 efectúa un análisis de los tejidos analizados en los treinta peces examinados durante la campaña del otoño 2017:

Sistema nervioso central

El único hallazgo de importancia, lo constituyó la presencia de parásitos en las meninges y en un ojo. El sector en el cual los peces presentaron este parasitismo fue Ciruelos. El parasitismo estuvo presente en 2 ejemplares. La identificación parasitológica permitió reconocer en ambos casos a Trematoda de la Familia Diplostomidae. Esta parasitosis también se presenta en peces de cultivo, como truchas y salmones.

Cavidad abdominal

El único hallazgo de importancia, lo constituyó la presencia de parásitos en la cavidad abdominal en peces de los sectores Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy y Cayumapu. Ninguno de los peces del sector Calle Calle presentó parásitos a nivel de cavidad abdominal. El parasitismo estuvo presente en 18 ejemplares. La identificación parasitológica permitió reconocer a Trematoda de la Clase Digenea (sectores Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy y Cayumapu), Nematodo de la Familia Anisakidae (sector Cayumapu) y parásitos compatibles con el Phylum Acantocephala (sector Pichoy).

Hígado

De los 30 peces examinados microscópicamente, 18 ejemplares evidenciaron congestión, en cuatro peces se encontraron parásitos, dos ejemplares presentaron hemorragia aguda focal, un pez presentó necrosis focal y otro evidenció un foco de inflamación mononuclear; en cinco peces no se encontró ninguna alteración. La congestión hepática es un hallazgo inespecífico, pudiendo ser fisiológica o estar asociada a una mayor exigencia del órgano. La presencia de focos de hemorragia aguda en dos peces es un hallazgo individual y su origen estaría probablemente asociado a la captura. La necrosis focal observada en el hígado de un pez, así como la inflamación focal encontrada en otro pez, podría ser la secuela de la migración de parásitos. Al respecto, los parásitos encontrados en el hígado de cuatro peces de los sectores Ciruelos, Rucaco y Cayumapu se identificaron como Cistocantos del phylum Acantocephala. Ninguno de los hígados examinados evidenció hallazgos compatibles con la acción de elementos o compuestos tóxicos.

Riñón

De los 30 peces examinados microscópicamente, 27 no presentaron alteraciones, en dos peces se encontraron parásitos y en un ejemplar se observó leve mineralización dentro de lúmenes tubulares (nefrocalcinosis). En dos peces del sector Ciruelos se identificó un parásito trematodo de la Clase Digenea. La leve nefrocalcinosis encontrada en un pez del sector Rucaco es un hallazgo individual, pero interesante, ya que es la primera vez que se encuentra; dentro de las causas está la exposición a niveles elevados de CO_2 en el agua, siendo frecuente en peces de cultivo. Al igual que en el caso del hígado, ninguna muestra de riñón presentó hallazgos compatibles con la acción de elementos o compuestos tóxicos.

Páncreas

De los 30 peces examinados microscópicamente, 21 no presentaron alteraciones pancreáticas, un pez evidenció congestión y en ocho peces no se obtuvo tejido pancreático en los cortes realizados. La congestión pancreática es un hallazgo inespecífico, pudiendo ser fisiológica o estar asociada a una mayor exigencia del órgano.

Corazón

De los 30 peces examinados microscópicamente, 14 no presentaron alteraciones cardíacas, en siete peces se encontró congestión. Por otra parte, en 10 peces no salió incluido tejido cardíaco en los cortes realizados. La congestión cardíaca es un hallazgo inespecífico, pudiendo ser fisiológica o estar asociada a una mayor exigencia del órgano.

Branquias

De los 30 peces examinados microscópicamente, todos presentaron hiperplasia de lamelas secundarias. En 10 peces se encontró presencia de parásitos. Los parásitos identificados fueron el protozoo *Trichodina* sp. y un Trematodo de la Clase Monogenea, Familia Ancyrocephalidea. El protozoo *Trichodina* sp. fue encontrado en siete peces de los sectores Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy y Calle Calle. El Trematodo de la Clase Monogenea fue observado en los sectores Punucapa (un pez) y Pichoy (tres peces, uno de ellos también con *Trichodina* sp.).

Estómago

De los 30 peces examinados microscópicamente, 28 no presentaron alteraciones gástricas. En el estómago de un pez se encontró una estructura compatible con un parásito, la que sin embargo no fue identificable en el Laboratorio de Parasitología. En un pez no salió incluido tejido gástrico en los cortes realizados.

Ciegos pilóricos/intestino

En 27 de los 30 peces examinados microscópicamente, no se encontraron lesiones histopatológicas; dos ejemplares presentaron parásitos, los que correspondieron a Trematoda de la Clase Digenea. En un pez no salió incluido tejido intestinal en los cortes.

Bazo

De los 30 peces examinados microscópicamente, tres ejemplares no evidenciaron lesiones, seis peces presentaron hiperplasia de la pulpa roja y en 21 puyes no se encontró tejido esplénico en los cortes histológicos realizados. La hiperplasia de la pulpa roja esplénica, puede estar dada por una mayor congestión o una reacción de este órgano frente a un estímulo infeccioso agudo. Al respecto, en ninguno de los peces con esta reacción se encontraron signos de una infección.

Musculatura

De los 30 peces examinados microscópicamente, ninguno evidenció lesiones musculares.

Gónadas

En 22 de los 30 peces examinados microscópicamente, se logró observar gónadas, encontrándose 12 testículos y 10 ovarios; en ocho peces no se encontró tejido gonadal en las láminas histológicas. A diferencia de lo observado en el muestreo del año 2016, no se encontraron testículos activos (con espermatozoides), esto puede deberse a los muestreos de ese año se iniciaron el 24 de mayo en el sector Calle Calle y siguieron en junio en los demás sectores.

Tabla 4.5.2.28. Identificación parasitaria histopatológica en Puyes durante la campaña del otoño 2017, según sector y tejido afectado. SNC = Sistema Nervioso Central. (*cf*. Fig. 4.2.5.1 para ubicación de los sectores).

Sectores	Tejido	identificación
Ciruelos	meninges	Trematodo, Clase Digenea, familia Diplostomidae
Ciruelos	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea, familia Diplostomidae
Ciruelos	branquia	Protozoo ciliado Trichodina sp.
Ciruelos	ojo	Trematodo, Clase Digenea, familia Diplostomidae
Ciruelos	riñón	Trematodo, Clase Digenea
Ciruelos	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea
Rucaco	hígado	Cistocantos del phylum Acantocephala
Rucaco	intestino	Trematodo, Clase Digenea
Rucaco	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea
Rucaco	branquia	Protozoo ciliado Trichodina sp.
Punucapa	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea
Punucapa	branquia	Trematodo, Clase Monogenea, Familia Ancyrocephalidae
Punucapa	branquia	Protozoo ciliado Trichodina sp.
Pichoy	cavidad abdominal	Trematodo, Clase Digenea
Pichoy		Cistocanto del phylum Acantocephala
Pichoy	estómago	Estructura no identificable
Pichoy	intestino	Trematodo, Clase Digenea
Pichoy	branquia	Trematodo, Clase Monogenea, Familia Ancyrocephalidae
		Protozoo ciliado Trichodina sp.
Cayumapu	cavidad abdominal	Nematodo, Familia Anisakidae
		Trematodo, Clase Digenea
Cayumapu	hígado	Cistocantos del phylum Acantocephala
Calle Calle	branquia	Protozoo ciliado Trichodina sp.

Comparaciones interanuales

La Tabla 4.5.2.29 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 cuatro campañas otoñales hasta ahora realizadas. 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 4.5.2.30 muestra que en las cuatro 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 y 2017. Respecto de alteraciones histopatológicas en las cuatro campañas otoñales no se detectó lesiones indicativas de cuadro infeccioso o tóxico en los tejidos analizados. El desarrollo gonadal observado durante el otoño 2017 corresponde al de testículos inactivos, lo que se contrapone a lo observado en campañas anteriores, en que se apreciaron testículos activos. 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 factores ambientales, 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 4.5.2.29. Comparación de la presencia parasitaria en Puyes (*Galaxias maculatus*) durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016 y 2017, 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**				**riñón**			
	2014	**2015**	**2016**	**2017**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**
Ciruelos	Si	Si	No	Si	No	Si	Si	Si	No	No	No	Si	Si	Si	No	Si
Rucaco	No	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	No	No	Si	Si	No	No	Si	No
Punucapa	No	No	Si	No	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	No	No	No	No
Pichoy	Si	Si	No	No	No	Si	Si	Si	Si	No	No	No	Si	No	No	No
Cayumapu	Si	Si	Si	No	No	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	No
Calle Calle	No	Si	Si	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	No	No	No	No	No

sectores	**páncreas**				**corazón**				**branquias**				**estómago**			
	2014	**2015**	**2016**	**2017**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**
Ciruelos	Si	No	No	No	No	No	Si	No	No	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Rucaco	No	No	No	No	No	No	No	No	Si	Si	Si	Si	No	No	No	No
Punucapa	No	Si	Si	No	No	Si	No	No	Si	Si	Si	Si	No	Si	No	No
Pichoy	No	Si	No	No	No	Si	No	No	No	Si	Si	Si	No	No	No	Si
Cayumapu	No	Si	Si	No	No	No	Si	No	Si	Si	Si	No	Si	No	No	No
Calle Calle	No	Si	No	No	No	Si	No	No	No	Si	Si	Si	No	No	No	No

sectores	ciegos pilóricos intestino				musculatura			
	2014	**2015**	**2016**	**2017**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**
Ciruelos	Si	Si	No	No	No	No	No	No
Rucaco	Si	No	Si	Si	No	No	No	No
Punucapa	Si	Si	No	No	No	No	No	No
Pichoy	Si	Si	No	Si	No	No	No	No
Cayumapu	Si	No	No	No	No	Si	Si	No
Calle Calle	No	Si	No	No	No	No	No	No

Tabla 4.5.2.30. 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 y 2017.

hallazgo de:	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**
virus IPN	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
Hongos (micosis)	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
alteraciones histopatológicos	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

4.2.5.5. Conclusiones

- La fauna de peces de las riberas del área de estudio ha estado principalmente representada por especies nativas (*ca*. 71, 80, 70, 71, 70, 75, 77 y 70 % de las abundancias totales, durante las campañas otoñales y primaverales de los años 2014, 2015, 2016 y 2017, respectivamente.
- Los valores más altos de abundancia total de la ictiofauna ocurrieron en el sector Ciruelos durante las campañas de primavera del año 2014 y otoño del 2016. Por otro lado, 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, 2015, 2016 y 2017.
- 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 y Rucaco, mientras que las más bajas ocurrieron en los ríos Pichoy y Cayumapu.
- La talla corporal más alta de Galaxias maculatus se observó en el río Calle Calle (campaña primaveral) y la menor en el sector Punuca (campaña otoñal) durante el año 2017. En general, los tamaños corporales de los puyes de Ciruelos y Ruycaco aumentaron desde el otoño a la primavera.
- Las abundancias más altas de Gambusia affinis (la segunda especie de mayor abundancia en el área), se evidenciaron en los ríos Pichoy y Cayumapu y las más bajas en los sectores Ciruelos y Rucaco.
- Durante las campañas del año 2017, se mantuvo la tendencia de ser el Hierro, Aluminio y Zinc, los metales mas representativos en los tejidos de Galaxias maculatus, aun cuando durante ese año las concentraciones de estos metales fueron más altas que durante los otros años.

- No se ha detectado Cadmio y Arsenico en los tejidos de los puyes examinados, durante todo el período de estudio.
- No se han detectado Acidos resínicos en puyes durante todo el período de estudio.
- Las concentraciones de AOX en los puyes recolectados durante el año 2017 fueron más bajas que en años anteriores. En algunas comparaciones, los puyes del Calle Calle tuvieron más AOX que los de Ciruelos y Rucaco las que no difirieron significativamente entre sí, a la vez que, en otras, las concentraciones de AOX no difirieron significativamente entre peces de Ciruelos, Rucaco y Calle Calle.
- Las concentraciones de Dioxinas presentes en los tejidos de Galaxias maculatus fueron significativamente mas altas, durante la campaña realizada el año 2017; estos compuestos han mostrado una tendencia general de concentraciones más altas en peces del río Calle Calle versus los recolectados en Ciruelos y Rucaco, los cuales no presentaron diferencias entre sí. Los Furanos y EQTs tuvieron concentraciones significativamente más altas ($p<0,05$) en especímenes recolectados en Calle Calle y más bajas en los especímenes recolectados en Rucaco.
- Durante la campaña otoñal del año 2017 se detectó por primera vez la Dioxina 2.3.7.8-TCDD en los puyes de Ciruelos, Rucaco y Calle Calle. La Dioxina 1.2.3.7.8 también fue detectada durante esa campaña y durante la del año 2014 en espacímenes de Ciruelos y Calle Calle y durante la del año 2016 en puyes de Ciruelos.
- Los datos de concentraciones de las dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PCDD, medidas en peces de un número más amplio de sectores (i.e., Ciruelos, Rucaco, Punucapa, Pichoy, Cayumapu y Calle Calle (año 2017 vs. año 2014), permitió evaluar estadísticamente solo el factor sector para la primera de estas dioxinas; las concentraciones de la misma fueron significativamente más altas en especímenes capturados en el río Calle Calle y sector Punucapa (río Cruces). A su vez, las concentraciones de la Dioxina 1.2.3.7.8-PCDD fueron significativamente más altas durante la campaña del año 2014, particularmente en los puyes capturados en

Pichoy; no se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de esta dioxina al comparar los puyes de Ciruelos, Rucaco y Punucapa.

- Las comparaciones de los puyes recolectados durante las campañas otoñales de los años 2014, 2015, 2016 y 2017, muestran leves variaciones en la presencia de parásitos en especímenes aparentemente sanos.
- En las cuatro campañas otoñales hasta ahora realizadas, las parasitosis evidenciadas a nivel branquial por *Gyrodactylus s*p. (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. Sin embargo, en la campaña del año 2017, predominaron el protozoo ciliado Trichodina sp. y un trematodo de la clase Monogenea, Familia Ancyrocephalidea.
- Es interesante destacar que al igual que en la campaña del año 2016, en el sector Cayumapu se encontraron ejemplares de nematodo de la Familia Anisakidae, parásitos capaces de producir enfermedades en humanos, 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 detectó micosis en los peces examinados.
- No se observaron lesiones microscópicas indicativas de un cuadro tóxico o carencial en los peces examinados.
- Los puyes examinados se encuentran en un estado sanitario en equilibrio.

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.

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, 2017). De los 14 géneros reconocidos, seis son endémicos, 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*.

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, una de ellas (la tortuga de orejas rojas, *Trachemys scripta*, presente en la Región de Los Ríos). 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 (*e.g., Liolaemus atacamensis* y *Microlophus quadrivittatus*) o el sur (*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 la tortuga de orejas rojas mencionada anteriormente, dulceacuícola y proveniente de Estados Unidos.

Desde el punto de vista ecosistémico, los anfibios y reptiles son de especial interés debido a su gran sensibilidad a pequeños cambios ambientales (Beebee et al., 1996; Prohl et al., 2010). 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). 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.

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 Tercer Año del Programa de Monitoreo Ambiental de este humedal, considerando campañas otoñales y primaverales llevadas a cabo durante el año 2017.

4.2.6.2. Objetivos

- Determinar, sobre la base de dos campañas de terreno, una realizada durante el otoño y otra durante la primavera del 2017, 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 de otoño y primavera del año 2017, con aquellos obtenidos durante el Programa de Diagnóstico Ambiental (año 2014) y durante el Primer y Segundo Año (2015 y 2016, 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. 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.

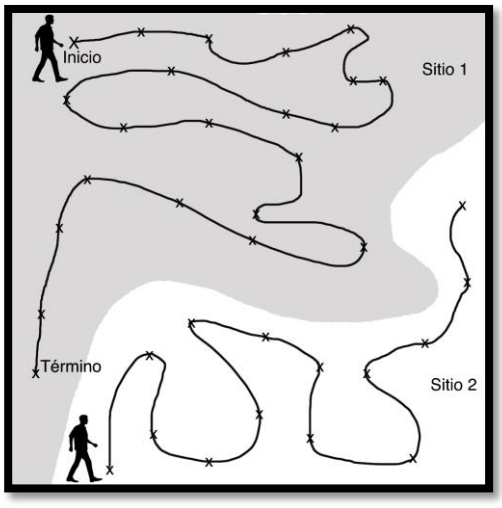


Figura 4.2.6.1. Esquema del método de búsqueda aleatoria para recolección de anfibios y reptiles, mediante transectos al azar en un área determinada (modificado de Heyer *et al.,* 2001).

Las campañas de terreno realizadas durante el Tercer Año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, se llevaron a cabo entre los días 8 y 12 de mayo (otoño) y entre el 18 y 24 de octubre del año 2017 (primavera). 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 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 a lo descrito en el Informe Final del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC, 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, referida a cómo la abundancia (el número de individuos) se distribuye entre las especies de tal 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 otoño y primavera del año 2017. La riqueza fue de cuatro especies en otoño, mientras que en primavera fue de siete especies, correspondiente al 44,4% y 77,8% respectivamente del total esperado para la zona de estudio (nueve especies).

La especie más abundante de anfibios fue *Batrachyla taeniata* (82,1% y 44,0% del total por cada estación), a la vez que las especies menos abundantes fueron *Eupsophus altor* y *Pleurodema thaul*. Con respecto a los reptiles; en otoño no se encontraron especies de reptil, mientras que en primavera se determinaron dos de las tres especies de reptiles conocidas para el área, siendo *L. pictus* la especie más abundante (12,0%) y *L. cyanogaster* la de menor abundancia (Tabla 4.2.6.1).

Tabla 4.2.6.1. Número total de especímenes de anfibios y reptiles en el área de estudio durante el otoño y primavera del año 2017. Se señala además la abundancia relativa para otoño y primavera (ARo y ARp, respectivamente).

Taxón	otoño 2017	primavera 2017	ARo (%)	ARp (%)
Anfibios				
Batrachyla leptopus	2	8	7,2	10,6
Batrachyla taeniata	23	33	82,1	44,0
Eupsophus altor	1	0	3,5	0
Eupsophus roseus	2	4	7,2	5,3
Calyptocephalella gayi	0	19	0	25,3
Pleurodema thaul	0	1	0	1,3
Reptiles				
Liolaemus pictus	0	9	0	12,0
Liolaemus cyanogaster	0	1	0	1,3

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 y durante el otoño 2017 se muestra en la Tabla 4.2.6.2, mientras que la distribución de anfibios y reptiles durante la campaña de primavera 2017 se muestra en las Tablas 4.2.6.3 y 4.2.6.4.

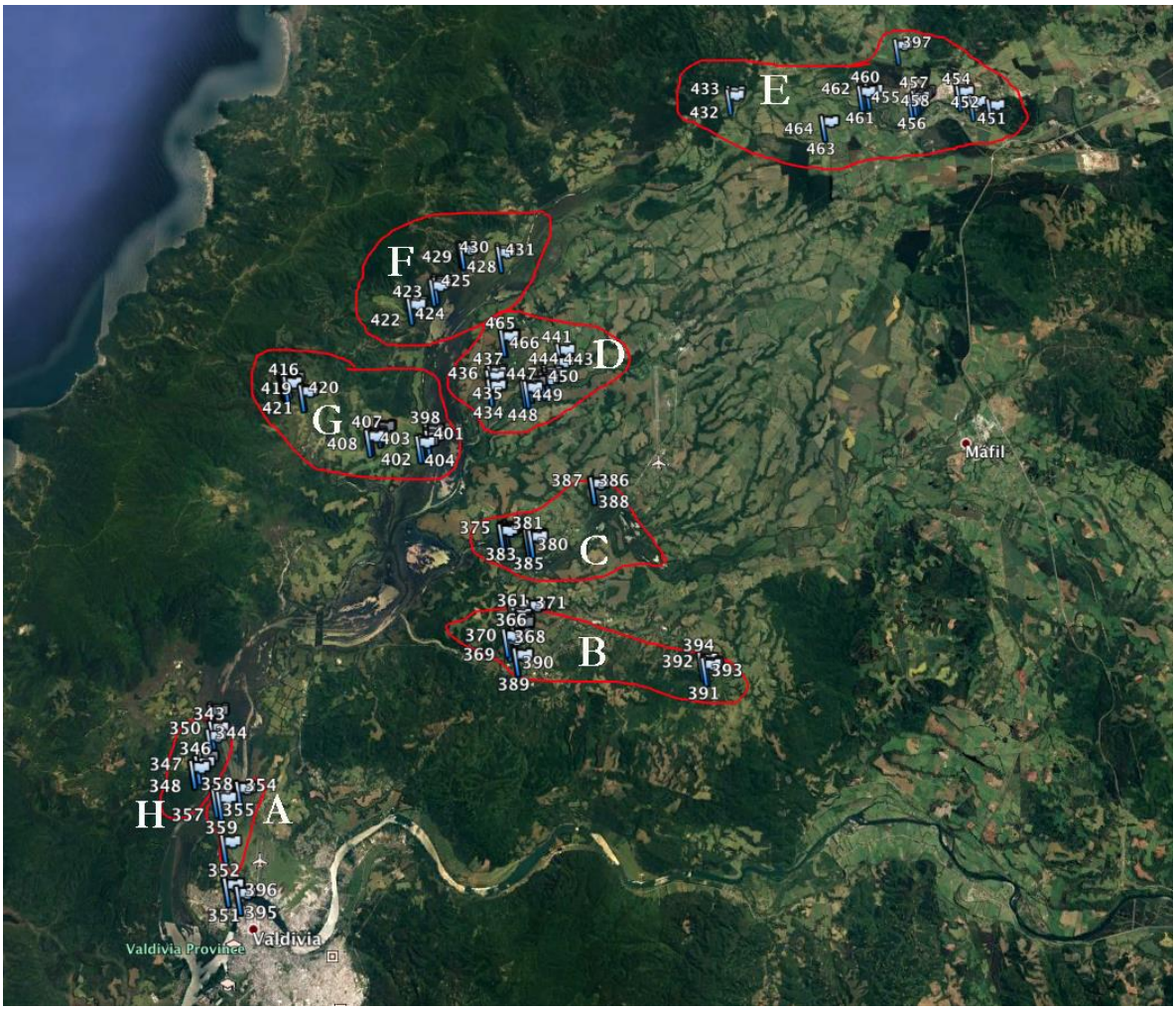


Figura 4.2.6.2. Ubicación de las ocho áreas de muestro (A-H) de anfibios y reptiles en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios. **A**: sector Las Marías **B**: sector río Cayumapu, **C**: sector río Pichoy, **D**: sector ríos Cudico - Nanihue, **E**: sector San José de la Mariquina, **F**: sector río San José, **G**: sector río Santa María, **H**: sector Punucapa.

Tabla 4.2.6.2. Riqueza y abundancia de especies de anfibios registradas en el otoño del año 2017 en la zona de estudio.

Especie	A	B	C	D	E	F	G	H	Total
Batrachyla leptopus	1	0	0	0	0	0	1	0	**2**
Batrachyla taeniata	16	1	3	0	2	0	1	0	**23**
Eupsophus altor	0	0	0	0	0	0	0	1	**1**
Eupsophus roseus	0	1	2	0	0	0	1	0	**4**
Pleurodema thaul	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Total	**17**	**1**	**5**	**0**	**2**	**0**	**3**	**1**	**29**

En el otoño del año 2017, la zona con mayor presencia de anfibios fue la zona A (sector Las Marías), con 17 individuos contabilizados, mientras que la zona de menor abundancia fue la zona D (sector ríos Cudico - Nanihue) y F (sector río San José), con ausencia de individuos (Tabla 4.2.6.2). No se encontraron reptiles durante esta campaña.

En la primavera del año 2017, la zona con mayor abundancia de anfibios fue la zona G (sector, río Santa María) con 22 especímenes, mientras que la zona con menor abundancia fue la zona H (sector Punucapa) con ningún individuo (Tabla 4.2.6.3). Durante esta campaña la zona de mayor avistamiento de reptiles fue la G, a la vez que no se detectó este tipo de fauna en las zonas C (sector río Pichoy), D (sector río Cudico-Ninahue) y H (sector Punucapa) (Tabla 4.2.6.4).

Tabla 4.2.6.3. Riqueza y abundancia de especies de anfibios registradas en la primavera de 2017 en la zona de estudio.

Especie	A	B	C	D	E	F	G	H	Total
Batrachyla taeniata	8	0	4	2	1	5	13	0	**33**
Batrachyla leptopus	2	0	0	0	0	0	6	0	**8**
Eupsophus roseus	0	1	0	1	0	0	2	0	**4**
Pleurodema thaul	0	0	0	0	0	0	1	0	**1**
Calyptocephalella gayi	0	0	16	0	0	3	0	0	**19**
Total	**10**	**1**	**20**	**3**	**1**	**8**	**22**	**0**	**65**

Tabla 4.2.6.4. Riqueza y abundancia de especies de reptiles registradas en la primavera del año 2017 en la zona de estudio.

Especie	A	B	C	D	E	F	G	H	Total
Liolaemus pictus	0	1	0	0	3	1	4	0	**9**
Liolaemus cyanogaster	1	0	0	0	0	0	0	0	**1**
Total	**1**	**1**	**0**	**0**	**3**	**1**	**4**	**0**	**10**

Las Tablas 4.2.6.5 a 4.2.6.8, muestran los valores de los índices de diversidad estimados para el área de estudio. Al respecto, el índice de diversidad de Shannon para la campaña de otoño de 2017 fue de H' = 0,719, mientras que el de la campaña de primavera fue de H' = 1,662. 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 otoño muestran claramente que la comunidad de anfibios y reptiles tiende a ser homogénea, dominado por la rana *Batrachyla taeniata* (Tabla 4.2.6.5.). En la campaña de primavera, se evidencia también un dominio de esta especie (Tabla 4.2.6.7.), aunque con presencia significativa de otras especies como *Batrachyla leptopus*, *Calyptocephalella gayi* y *Liolaemus pictus.*

Con respecto al índice de Simpson, en la campaña de otoño el valor fue de D' = 0,686, mientras que en primavera fue de D' = 0,537. En este sentido, un valor mayor en otoño (Tabla 4.2.6.6.), está claramente relacionado con la mayor abundancia relativa de *B. taeniata*, es decir, en un muestreo al azar durante esta campaña, hubo una alta probabilidad de encontrar esta especie. El valor más bajo en primavera (Tabla 4.2.6.8.), está correlacionado a que las abundancias relativas de otras especies fue mayor.

Tabla 4.2.6.5. Índice de diversidad específica de Shannon- Wiener (H') para la campaña otoñal del año 2017. N = número total de individuos, Pi = proporción de individuos de una determinada especie, ni = número de individuos de una determinada especie, Ln = logaritmo natural.

Especie	ni	Pi (ni/N)	LnPi	PiLnPi
Batrachyla leptopus	2	0,0714	-2,6394	-0,2196
Batrachyla taeniata	23	0,8214	-0,1967	-0,1615
Eupsophus altor	1	0,0357	-3,3326	-0,1189
Eupsophus roseus	2	0,0714	-2,6394	-0,2196
				H' = 0,719

Tabla 4.2.6.6. Parámetros utilizados en la estimación del Índice de diversidad específica de Simpson (D'), para la campaña otoñal de 2017.

Especie	ni	Pi (ni/N)	Pi^2
Batrachyla leptopus	2	0,0714	0,0051
Batrachyla taeniata	23	0,8214	0,6746
Eupsophus altor	1	0,0357	0,0012
Eupsophus roseus	2	0,0714	0,0051
			D' = 0,686

Tabla 4.2.6.7. Índice de diversidad específica de Shannon- Wiener (H'), para la campaña de muestreo de la primavera de 2017.

Especie	ni	Pi (ni/N)	LnPi	PiLnPi
Batrachyla taeniata	33	0,4400	-0,8209	-0,3611
Batrachyla leptopus	8	0,1066	-2,2386	-0,2386
Eupsophus roseus	4	0,5033	-0,6865	-0,3455
Calyptocephalella gayi	19	0,2533	-1,3731	-0,3478
Pleurodema thaul	1	0,0133	-4,3199	-0,0574
Liolaemus pictus	9	0,1200	-2,1202	-0,2544
Liolaemus cyanogaster	1	0,0133	-4,3199	-0,0574
				H' = 1,662

Tabla 4.2.6.8. Parámetros utilizados en la estimación del Índice de diversidad específica de Simpson (D'), para la campaña de muestreo de primavera de 2017.

Especie	ni	Pi (ni/N)	Pi^2
Batrachyla taeniata	33	0,4400	0,1936
Batrachyla leptopus	8	0,1066	0,0113
Eupsophus roseus	4	0,5033	0,2533
Calyptocephalella gayi	19	0,2533	0,0641
Pleurodema thaul	1	0,0133	0,0002
Liolaemus pictus	9	0,1200	0,0144
Liolaemus cyanogaster	1	0,0133	0,0002
			D' = 0,537

De este modo, el índice J' para la fauna de anfibios y reptiles recolectada durante la campaña otoñal del año 2017 fue de: **0,719/1,386= 0,518,** mientras que la primavera del mismo año fue de **1,662/1,945= 0,854**. El valor de 0,5187 obtenido en otoño, indica que el valor de H' fue menor al esperado de acuerdo a las especies presentes en el área de estudio. De manera similar, el valor de 0,854 estimado durante la campaña primaveral fue menor a lo esperado, probablemente relativo a dos especies no encontradas (*Tachymenis chilensis* y *Eupsophus vertebralis*).

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 las campañas del año 2017 con las campañas del Programa de Diagnóstico Ambiental (otoño y primavera del año 2014) y aquellos resultados del Primer y Segundo Año del Programa de Monitoreo del HRC (primavera del año 2015 y otoño y primavera del año 2016). Los resultados se muestran en las Tablas 4.2.6.9 y 4.2.6.10.

De la Tabla 4.2.6.9., puede inferirse que las especies más abundantes en el HRC, son hasta ahora *Batrachyla taeniata* con 342 individuos y *Calyptocephalella gayi* con 167 individuos. Ambas especies representan cerca del 71,3% 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 64 individuos (64,6% 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 (Tabla 4.2.6.9). En el caso de los reptiles, estas diferencias están claramente relacionadas con la menor o nula actividad de estos animales en otoño. 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.

Con respecto a los índices de diversidad, hay una notoria diferencia en el índice de diversidad de Shannon-Weaver entre las campañas de primavera y otoño. Sin duda que esto justifica la realización de campañas en ambas estaciones dado que la campaña de primavera por sí sola, está dando la impresión de una comunidad más o menos diversa de anfibios y reptiles, pero no nos permite saber su variación estacional, la que resulta evidente al comparar los índices de ambas estaciones tanto en las campañas de diagnóstico como en las de monitoreo realizadas hasta ahora.

Tabla 4.2.6.9. Comparaciones de la riqueza y abundancia de anfibios y reptiles entre las campañas de 2017 y las del Programa de Diagnóstico Ambiental (otoño y primavera del año 2014) y Primer y Segundo Año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (primavera del año 2015, otoño y primavera del año 2016, respectivamente). ot = otoño; pr = primavera.

Taxón	ot2014	pr2014	pr2015	ot2016	pr2016	ot2017	pr2017
Anfibios							
Batrachyla leptopus	2	10	1	1	0	2	8
Batrachyla taeniata	20	120	72	35	39	23	33
Calyptocephalella gayi	0	30	106	0	12	0	19
Eupsophus altor	0	5	1	1	0	1	0
Eupsophus roseus	7	7	2	3	16	2	4
Eupsophus vertebralis	0	1	0	0	2	0	0
Pleurodema thaul	3	5	0	2	16	0	1
Reptiles							
Liolaemus cyanogaster	3	31	18	0	11	0	1
Liolaemus pictus	7	2	12	0	1	0	9
Tachymenis chilensis	0	1	1	1	1	0	0
Total	**42**	**212**	**213**	**43**	**98**	**28**	**75**
Índice H'	**0,999**	**1,361**	**1,133**	**0,731**	**1,634**	**0,719**	**1,662**

En la Tabla 4.2.6.10, se muestran los resultados de las comparaciones por sector de todas las campañas realizadas hasta ahora. De esta tabla se observa que los sectores con mayor abundancia de anfibios y reptiles fueron el sector G (río Santa María) con 190 especímenes y el sector B (sector río Cayumapu) con 109 especímenes. El sector con

menor diversidad hasta ahora corresponde al sector H (sector Punucapa). El sector de río Santa María, aunque altamente intervenido por la ganadería tiene varios parches de bosque nativo donde fue posible observar la mayoría de los especímenes de *Eupsophus roseus* y *Pleurodema thaul*. El sector de Punucapa representa el sector con menor riqueza y abundancia de anfibios y reptiles, debido probablemente a que es una zona altamente urbanizada a orillas del Río Cruces

Tabla 4.2.6.10. Riqueza y abundancia de especies de anfibios registradas en la zona 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**
Total	**87**	**109**	**87**	**48**	**67**	**97**	**190**	**28**	**713**

Herpetofauna y alteración del hábitat

Con respecto al estado de la herpetofauna y sus hábitat, ha sido cada vez más frecuente la presencia de microbasurales (ver dos últimas imágenes de Anexos). Aunque cuantitativamente no se ha determinado la relación directa entre disminución de la herpetofauna y la presencia de estos microbasurales en el HRC, observaciones personales permiten señalar que la presencia de botellas por ejemplo, pueden ser usadas por las ranas como refugio, pero ante la imposibilidad de salir posteriormente, ocurre la muerte del animal ya sea por sofocación, inanición o ahogamiento si la botella contiene líquido. Otro aspecto del estado de la herpetofauna - particularmente anfibios - es la presencia de quistes intradérmicos correspondientes a estados larvales del ácaro *Hannemania*, que si bien parecen ser parásitos comunes en algunas especies anfibios expuestos a zonas donde hay ganado vacuno (Attademo *et al.*, 2012), se advierte un aumento de ellos, en particular en *E. roseus*.

4.2.6.5. Conclusiones

- La comunidad de anfibios del HRC, está dominada por *B. taeniata* y *C. 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. Esta especie, fue posible encontrarla en sectores de extracción y procesamiento de áridos y bajo neumáticos abandonados. La abundancia de *C. gayi* está relacionada con la época reproductiva de esta especie.
- Las especies *Eupsophus altor* y *Eupsophus vertebralis* (esta última encontrada en la prospección de la primavera del año 2014 y primavera del año 2016), fueron las especies menos abundantes seguidas de *Pleurodema thaul*. En el caso de las especies del género *Eupsophus* esto es esperable, dado que estas especies son típicas de zonas boscosas o ecotonales, con baja intervención antrópica y ausencia de ganado.
- Al igual que en casos anteriores, se observaron especímenes con quistes intradérmicos correspondientes a estados larvales del ácaro *Hannemania* sp., común en anfibios expuestos a zonas donde hay ganado vacuno.

  • En reptiles, la abundancia de *L. pictus* fue mayor que en las prospecciones anteriores, aunque *L. cyanogaster* sigue representando la especie más abundante.

  • No se determinó presencia de tortuga de orejas rojas (*Trachemys scripta*) en el HRC.
- Desde el punto de vista ecosistémico, se advierte el aumento de microbasurales y cambio de uso de suelo para agricultura y urbanización.

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.

Beebee, T. 1996. Ecology and Conservation of Amphibians, 1st ed. Netherlands: Springer.

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. 2017. 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 dic 2017.

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.

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).

Prohl, H., S.R. Ron, M.J. Ryan 2010. Ecological and genetic divergence between two lineages of Middle American túngara frogs Physalaemus (=Engystomops) pustulosus. BMC Evolutionary Biology 10:146.

Universidad Austral de Chile. 2015. Informe de Diagnóstico del Estado del Humedal del Río Cruces y sus Ríos Tributarios. Herpetofauna.

Universidad Austral de Chile.2016. Informe Primer y Segundo Año del Programa de Monitoreo del Humedal del Río Cruces y sus Ríos Tributarios (primavera del año 2015 y otoño y primavera del año 2016). Herpetofauna.

ANEXOS

ANEXO 1

Listado de los especímenes encontrados durante la campaña de primavera 2017 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	Er	Cg	Pt	Lp	Lc
18/10/17	343	-73.26078	-39.763261	-	-	-	-	-	-	-
18/10/17	344	-73.261577	-39.765811	-	-	-	-	-	-	-
18/10/17	345	-73.264215	-39.772261	-	-	-	-	-	-	-
18/10/17	346	-73.265508	-39.773916	-	-	-	-	-	-	-
18/10/17	347	-73.2673	-39.775382	-	-	-	-	-	-	-
18/10/17	348	-73.267529	-39.775229	-	-	-	-	-	-	-
18/10/17	349	-73.261436	-39.758122	-	-	-	-	-	-	-
18/10/17	350	-73.261266	-39.757549	-	-	-	-	-	-	-
18/10/17	351	-73.250976	-39.810616	-	-	-	-	-	-	-
18/10/17	352	-73.250981	-39.810541	-	-	-	-	-	-	-
18/10/17	353	-73.248916	-39.781486	-	4	-	-	-	-	-
18/10/17	354	-73.24858	-39.781754	-	4	-	1	-	-	-
18/10/17	355	-73.257359	-39.782474	-	-	-	-	-	-	1
18/10/17	356	-73.257806	-39.782753	-	1	-	-	-	-	-
18/10/17	357	-73.257793	-39.78396	-	-	-	-	-	-	-
18/10/17	358	-73.255914	-39.784722	-	-	-	-	-	-	-
18/10/17	359	-73.253108	-39.797798	-	-	-	-	-	-	-
19/10/17	360	-73.142209	-39.726768	-	-	-	-	-	-	-
19/10/17	361	-73.140889	-39.727702	-	-	-	-	-	-	-
19/10/17	362	-73.140307	-39.728999	-	-	1	-	-	-	-
19/10/17	363	-73.13964	-39.729544	-	-	-	-	-	1	-
19/10/17	364	-73.139926	-39.730424	-	-	-	-	-	-	-
19/10/17	365	-73.14109	-39.729798	-	-	-	-	-	-	-
19/10/17	366	-73.14118	-39.733864	-	-	-	-	-	-	-
19/10/17	367	-73.140824	-39.73395	-	-	-	-	-	-	-
19/10/17	368	-73.143316	-39.73587	-	-	-	-	-	1	-
19/10/17	369	-73.144412	-39.734537	-	-	-	-	-	-	-
19/10/17	370	-73.143671	-39.735342	-	-	-	-	-	-	-
19/10/17	371	-73.135194	-39.725026	-	-	-	-	-	-	-
19/10/17	372	-73.134956	-39.724957	-	-	-	-	-	-	-
19/10/17	373	-73.146964	-39.700055	-	1	-	-	-	-	-

19/10/17	374	-73.147298	-39.70071	-	-	-	-	-	-	-
19/10/17	375	-73.147309	-39.700716	-	-	-	-	-	-	-
19/10/17	376	-73.146527	-39.700428	-	-	-	1	-	-	-
19/10/17	377	-73.146529	-39.700431	-	-	-	1	-	-	-
19/10/17	378	-73.145542	-39.69979	-	-	-	-	-	-	-
19/10/17	379	-73.145141	-39.699399	-	-	-	-	-	-	-
19/10/17	380	-73.134964	-39.702716	-	1	-	4	-	-	-
19/10/17	381	-73.135428	-39.70264	-	1	-	-	-	-	-
19/10/17	382	-73.136687	-39.7024	-	-	-	-	-	-	-
19/10/17	383	-73.136677	-39.702405	-	-	-	-	-	-	-
19/10/17	384	-73.135787	-39.702227	-	-	-	-	-	-	-
19/10/17	385	-73.135102	-39.702041	-	-	-	-	-	-	-
19/10/17	386	-73.110011	-39.685162	-	-	-	2	-	-	-
19/10/17	387	-73.109995	-39.685151	-	-	-	3	-	-	-
19/10/17	388	-73.110033	-39.68518	-	-	-	3	-	-	-
19/10/17	389	-73.139972	-39.740583	-	-	-	1	-	-	-
19/10/17	390	-73.139955	-39.740553	-	-	-	1	-	-	-
19/10/17	391	-73.063358	-39.743359	-	-	-	-	-	-	-
19/10/17	392	-73.064038	-39.743623	-	-	-	-	-	-	-
19/10/17	393	-73.063684	-39.742935	-	-	-	-	-	1	-
19/10/17	394	-73.065394	-39.741862	-	-	-	-	-	-	-
19/10/17	395	-73.246062	-39.813048	-	-	-	-	-	-	-
23/10/17	396	-73.246062	-39.813048	-	-	-	-	-	-	-
23/10/17	397	-72.977967	-39.528905	-	-	-	-	-	-	-
23/10/17	398	-73.179201	-39.667577	-	2	-	-	-	-	-
23/10/17	399	-73.179382	-39.666992	-	-	-	-	-	-	-
23/10/17	400	-73.179073	-39.668696	-	-	-	-	-	-	-
23/10/17	401	-73.179001	-39.669505	-	-	-	-	-	-	-
23/10/17	402	-73.181235	-39.671056	-	-	-	-	-	-	-
23/10/17	403	-73.181629	-39.671128	-	1	-	-	-	-	-
23/10/17	404	-73.182668	-39.671397	-	-	-	-	-	-	-
23/10/17	405	-73.203086	-39.667926	-	1	-	-	-	-	-
23/10/17	406	-73.2028	-39.668707	4	2	-	-	-	-	-
23/10/17	407	-73.203467	-39.668959	-	-	-	-	-	-	-
23/10/17	408	-73.203817	-39.669374	-	-	-	-	-	-	-
23/10/17	409	-73.199799	-39.666235	-	-	-	-	-	-	-
23/10/17	410	-73.199416	-39.665916	-	-	1	-	-	-	-
23/10/17	411	-73.199199	-39.665747	-	1	-	-	-	-	-
23/10/17	412	-73.241642	-39.649391	-	-	-	-	-	-	-

23/10/17	413	-73.241119	-39.65044	-	-	-	-	-	-	-
23/10/17	414	-73.240596	-39.650573	1	-	-	-	-	-	-
23/10/17	415	-73.239974	-39.650799	-	-	-	-	-	-	-
23/10/17	416	-73.239436	-39.651094	-	1	-	-	-	-	-
23/10/17	417	-73.240149	-39.650717	-	-	-	-	-	-	-
23/10/17	418	-73.238619	-39.649378	-	-	-	-	-	-	-
23/10/17	419	-73.232579	-39.654084	-	-	-	-	-	-	-
23/10/17	420	-73.232245	-39.653794	-	1	-	-	-	-	-
23/10/17	421	-73.232001	-39.653638	-	2	-	-	1	-	-
23/10/17	422	-73.188324	-39.623247	-	-	-	-	-	-	-
23/10/17	423	-73.188717	-39.62409	2	2	-	-	-	1	-
23/10/17	424	-73.179523	-39.61747	-	1	-	-	-	-	-
23/10/17	425	-73.178225	-39.616692	-	-	-	-	-	-	-
23/10/17	426	-73.178037	-39.61576	-	-	-	-	-	-	-
23/10/17	427	-73.168386	-39.603971	-	-	-	1	-	-	-
23/10/17	428	-73.167737	-39.604431	-	-	-	1	-	-	-
23/10/17	429	-73.167382	-39.604515	-	-	-	-	-	-	-
23/10/17	430	-73.151408	-39.604757	-	-	-	-	-	-	-
23/10/17	431	-73.151282	-39.605676	-	-	-	-	-	-	-
23/10/17	432	-73.052528	-39.548061	-	4	-	-	-	-	-
23/10/17	433	-73.052141	-39.546657	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	434	-73.153425	-39.65176	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	435	-73.153696	-39.652244	1	-	-	-	-	-	-
24/10/17	436	-73.154373	-39.649012	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	437	-73.153727	-39.647535	-	1	-	-	-	-	-
24/10/17	438	-73.154004	-39.64691	-	-	-	-	-	1	-
24/10/17	439	-73.136969	-39.650917	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	440	-73.136632	-39.650713	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	441	-73.124958	-39.639952	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	442	-73.125465	-39.643848	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	443	-73.125422	-39.644119	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	444	-73.130297	-39.647478	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	445	-73.130181	-39.648494	-	1	-	-	-	-	-
24/10/17	446	-73.131988	-39.64927	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	447	-73.139472	-39.652679	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	448	-73.138893	-39.652579	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	449	-73.138314	-39.652812	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	450	-73.131691	-39.649982	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	451	-72.946036	-39.550074	-	-	-	-	-	-	-

24/10/17	452	-72.938223	-39.551488	-	-	-	-	-	1	-
24/10/17	453	-72.951941	-39.545528	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	454	-72.95154	-39.546426	-	-	-	-	-	1	-
24/10/17	455	-72.97298	-39.549669	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	456	-72.971178	-39.548415	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	457	-72.970342	-39.547841	-	1	-	-	-	-	-
24/10/17	458	-72.96973	-39.547231	-	-	-	-	-	1	-
24/10/17	459	-72.968559	-39.54624	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	460	-72.991559	-39.545842	-	-	-	-	-	1	-
24/10/17	461	-72.993918	-39.546419	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	462	-72.994708	-39.546564	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	463	-73.011303	-39.557834	-	-	1	-	-	-	-
24/10/17	464	-73.011252	-39.557775	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	465	-73.148915	-39.635136	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	466	-73.148465	-39.634817	-	-	-	-	-	-	-
24/10/17	467	-73.148622	-39.635109	-	-	1	-	-	-	-

ANEXO 2

Fotografías representativas de anfibios y reptiles encontrados durante los muestreos del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC año 2017.



Batrachyla taeniata (rana de antifaz)



Batrachyla leptopus (rana moteada)



Eupsophus roseus (rana rosácea de hojarasca)



Pleurodema thaul (rana de cuatro ojos)



Liolaemus cyanogaster (lagartija de vientre azul)



Presencia de microbasurales a orillas del HRC (arriba, sector D; abajo, sector G)

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 tercer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2017 - marzo 2018). Esta información se comparó con resultados de análisis similares, realizados como parte del primer y segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental y del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC.

4.2.7.1.2. Objetivos

- Analizar la riqueza de especies y abundancia de la avifauna acuática del HRC durante el año 2017
- 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 2017.
- Comparar los resultados de los análisis arriba mencionados, con aquellos obtenidos durante el primer y segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC que abarca los periodos: abril 2015 - marzo 2016 y abril 2016 - marzo 2017, respectivamente) y, durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (abril 2014 - marzo 2015).

4.2.7.1.3. 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), el 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).

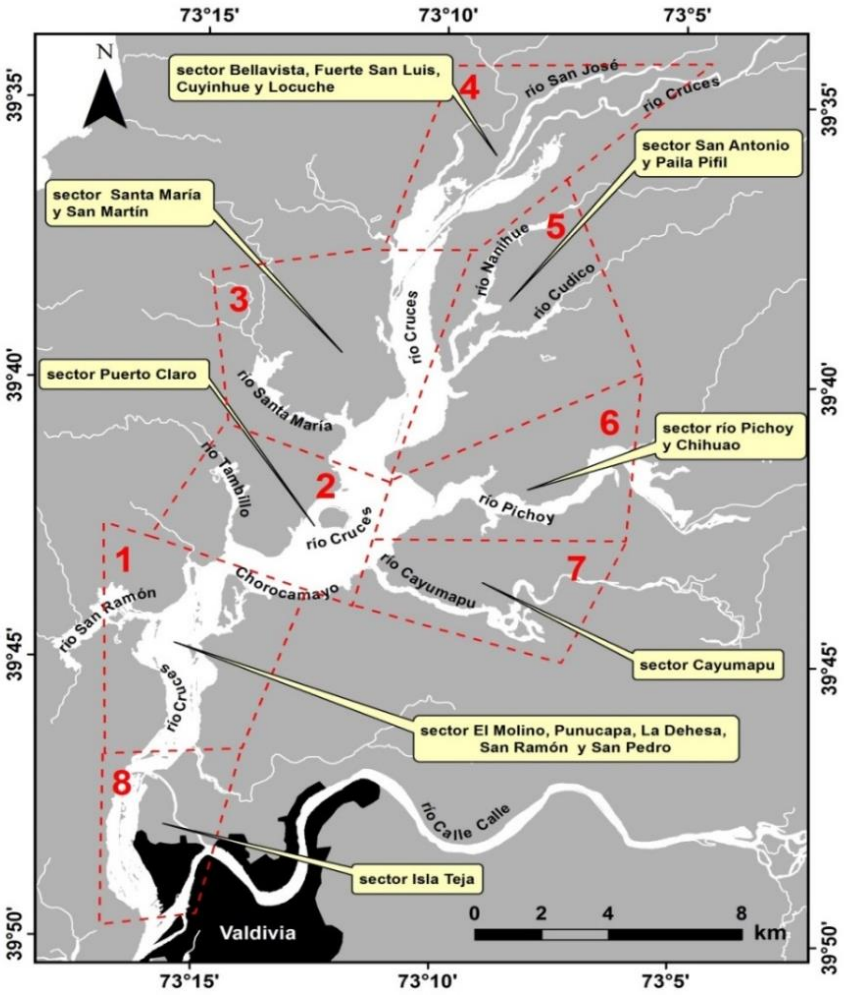


Figura 4.2.7.1.1. Ubicación de los ocho sectores delimitados en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC), para análisis de la variabilidad espacio temporal de la avifauna acuática del área de estudio (ver Material y métodos).

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 y no de toda la avifauna(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 2017 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 2012-2017 en las abundancias de estas aves, además de 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 HRC 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 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 y tercer año) y Diagnóstico Ambiental del HRC.

programa	**periodo**	**avistamientos**
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 secciones lineales o transectos 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 sección linear 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.

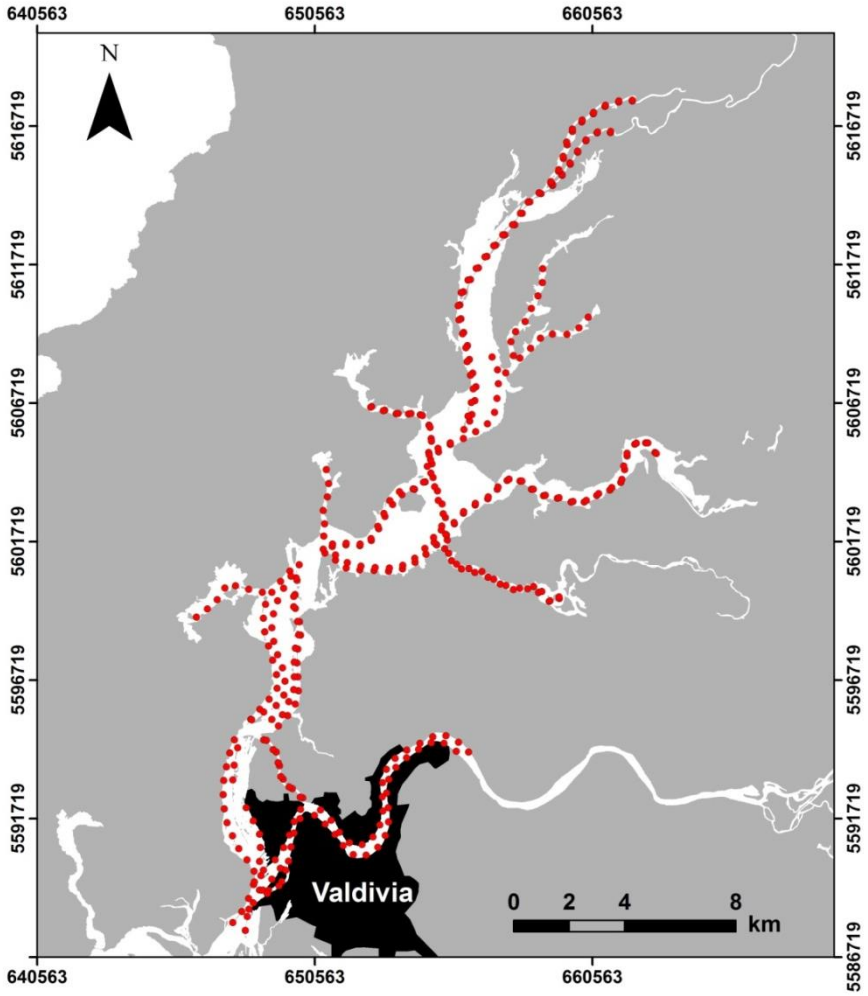


Figura 4.2.7.1.2. Distribución de puntos límites de secciones lineares de 500 m destinadas a evaluar la presencia y distribución espacial de avifauna acuática en las riberas del área de estudio (ver Material y métodos).

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 (15-20 especies) sin experimentar notorias fluctuaciones temporales (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 2017 (Fig. 4.2.7.1.4). Este aumento en las abundancias de la avifauna acuática, se explica en gran parte al notorio incremento en el número de ejemplares de Cisne de cuello negro en el área de estudio (ver más adelante).

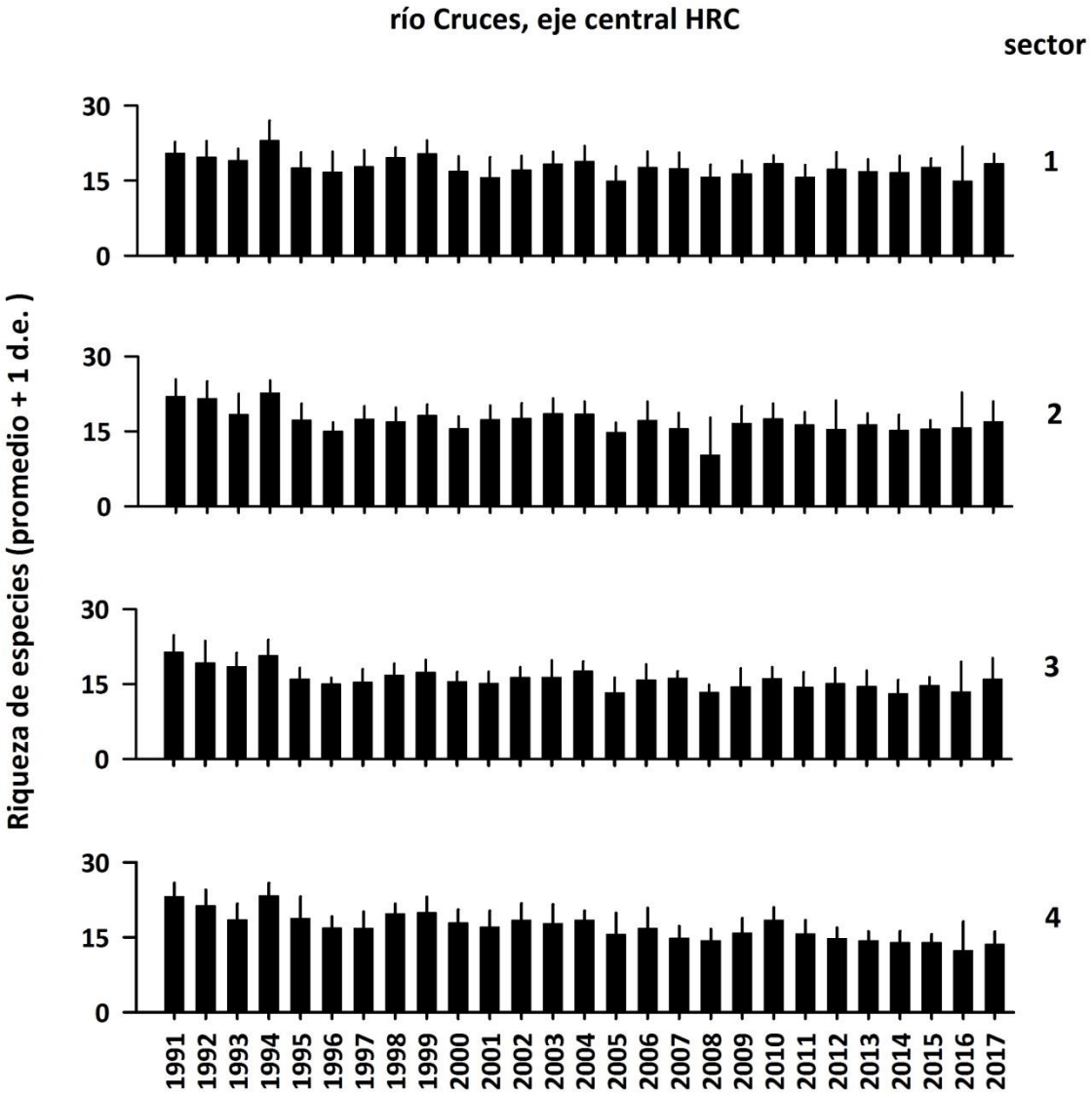


Figura 4.2.7.1.3. Variabilidad interanual de la riqueza de especies de la avifauna acuática en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2017. Se excluyen los sectores 5 a 8, debido que para estos solo existen datos de abundancia de cisnes de cuello negro. Fuente de datos: CONAF.

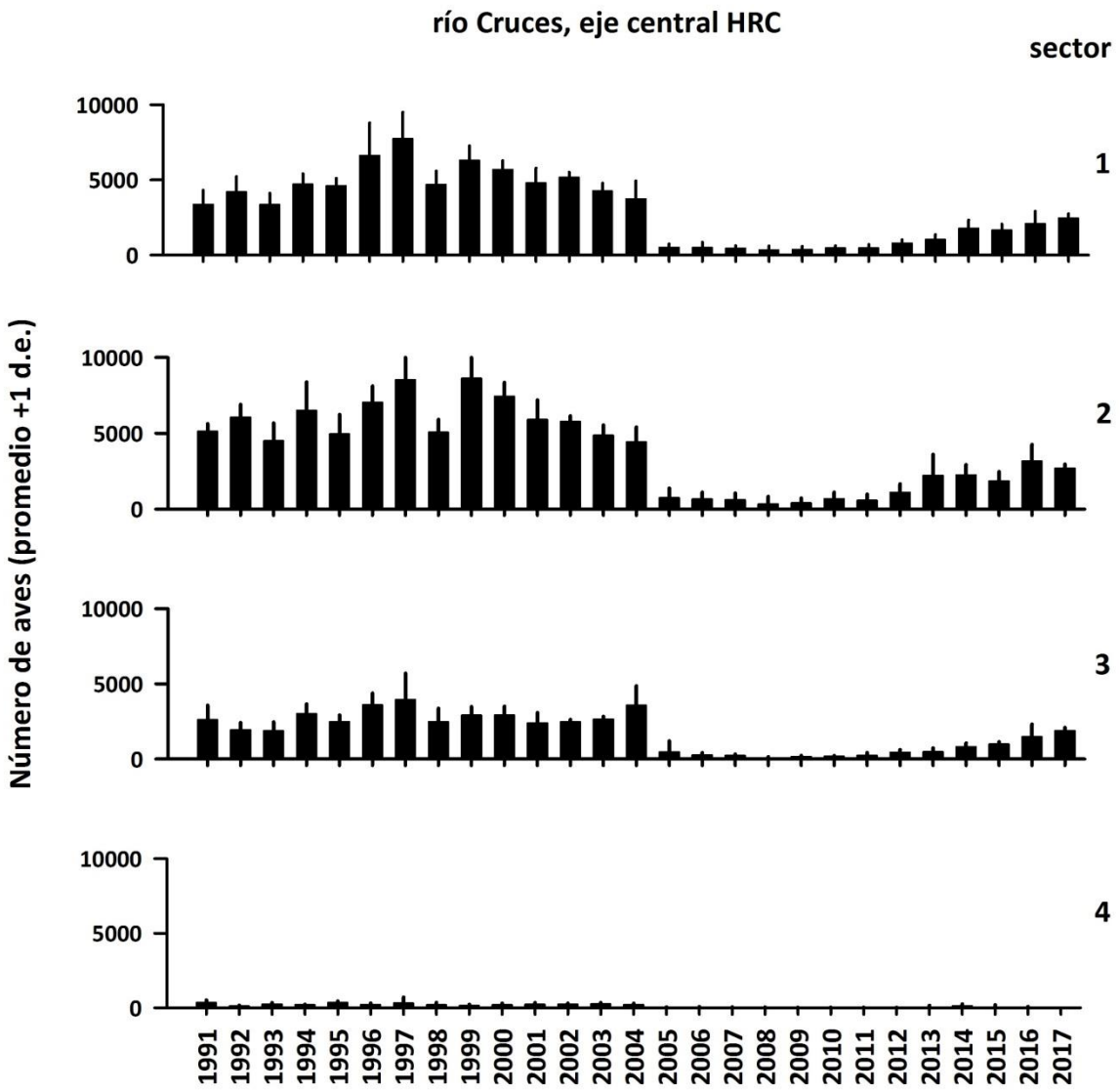


Figura 4.2.7.1.4. Variabilidad interanual de la abundancia total de la avifauna acuática en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2017. Se excluyen los sectores 5 a 8, debido que para estos sectores solo existen datos de abundancia de cisnes de cuello negro. Fuente de datos: CONAF.

Abundancia de aves acuáticas herbívoras (fuente de datos: CONAF)

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 2012-2017 se observó un notorio incremento en la abundancia poblacional del Cisne de cuello negro en el HRC (Fig. 4.2.7.1.5): durante los años 2016 y 2017, las abundancias de esta especie fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que las observadas durante el período 2012-2015 (Kruskal-Wallis: 53,72; gl=5; $p<0,05$; Fig. 4.2.7.1.6).

Por el contrario, la abundancia poblacional de las taguas no varió significativamente ($p>0,05$) durante el período 2012-2017 (Kruskal-Wallis: 16,49; gl=5; $p>0,05$), aun cuando las abundancias de esta ave han experimentado incrementos y disminuciones abruptas (Fig. 4.2.7.1.6).

Después de tres años de ausencia de avistamientos de Taguitas en el HRC (2014 al 2016), estas aves fueron observadas durante el año 2017 pero en abundancias muy bajas (Fig. 4.2.7.1.5).

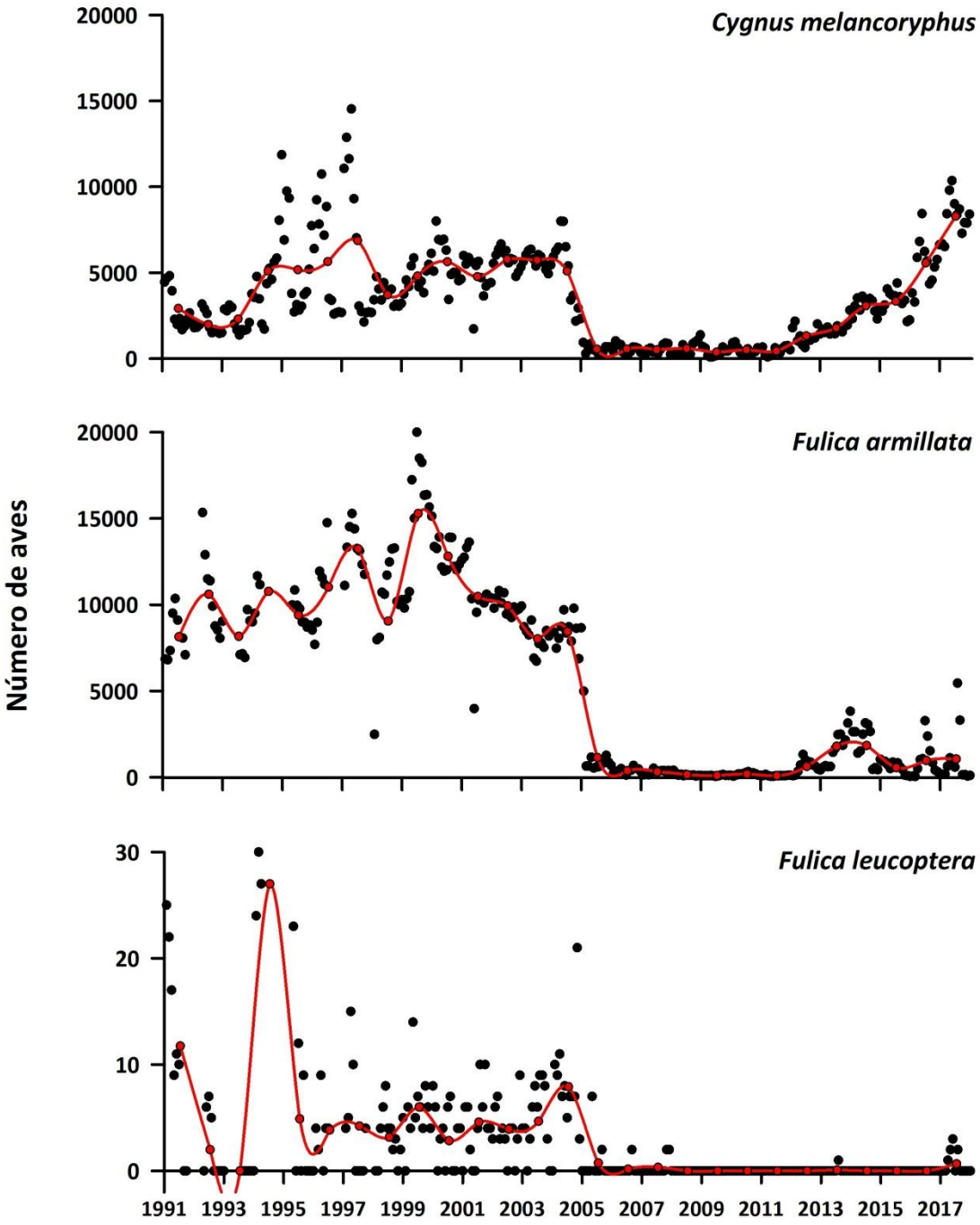


Figura 4.2.7.1.5. Variabilidad intra e inter anual (puntos negros y línea roja, respectivamente) en el número de ejemplares de *C. melancoryphus*, *F. armillata* y *F. leucoptera* (Taguita) entre enero del año 1991 y diciembre del año 2017. Fuente de datos: CONAF

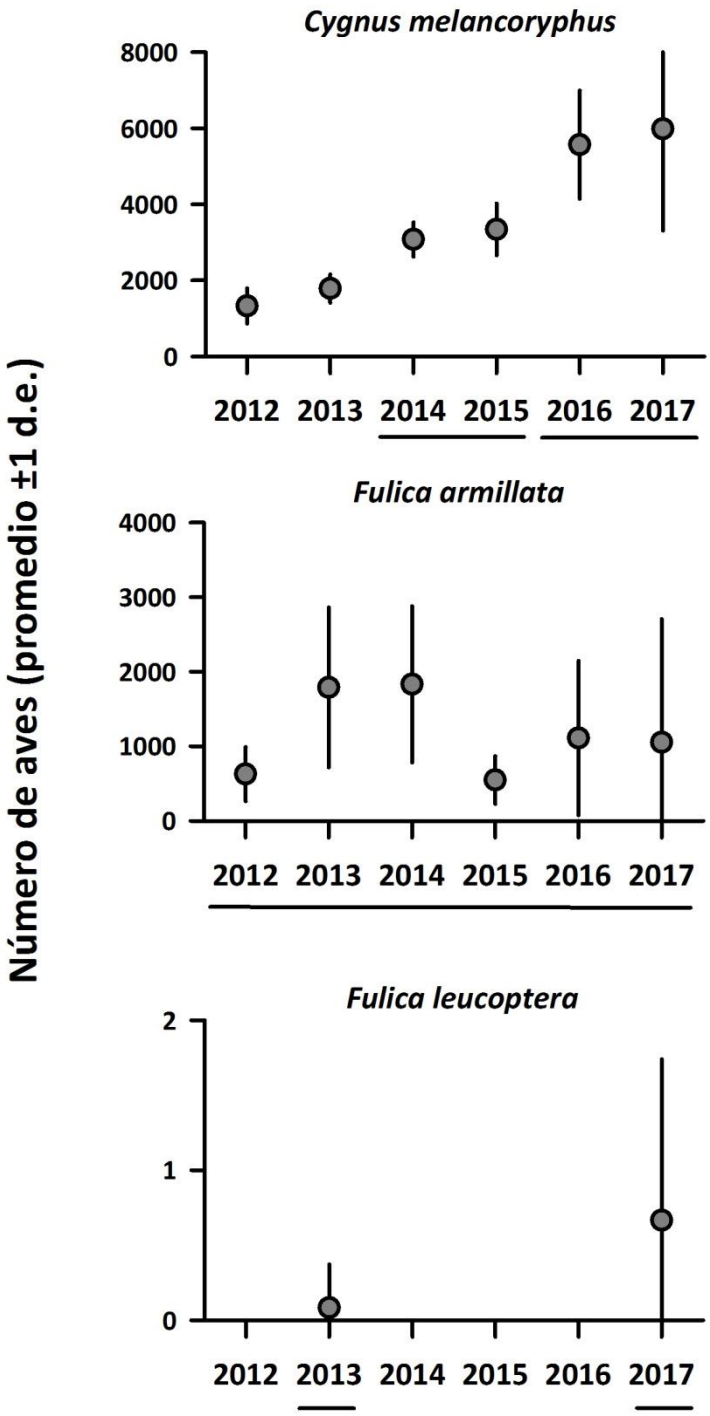


Figura 4.2.7.1.6. Variabilidad interanual en el número de ejemplares de *C. melancoryphus*, *F. armillata* y *F. leucoptera*. Las barras negras inferiores indican promedios anuales que no difieren significativamente entre sí (p>0,05). Fuente de datos: CONAF.

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 blanca chica (*Egretta thula*), Garza blanca grande (*Ardea alba*) y Garza cuca (*Ardea cocoi*), respectivamente.

La Garza blanca chica mostró durante el período 2012-2017 una tendencia a la disminución en sus abundancias (Kruskal-Wallis: 16,85; gl=5; $p<0,05$) (Fig. 4.2.7.1.8). Sin embargo y en general, las abundancias de esta especie no variaron significativamente ($p>0,05$) durante el período 2012-2017 (Fig. 4.2.7.1.8).

Tendencia similar fue la presentada por las abundancias de la Garza blanca grande; *i.e.*, disminución temporal durante el período 2012-2017 (Fig. 4.2.7.1.8). Sin embargo, la variabilidad interanual fue gradual ya que solo se detectaron diferencias significativas al comparar años distante entre sí (Kruskal-Wallis: 24,72, gl=5, $p<0,05$; Test de Tukey: 2012-2013 *versus* 2017, $p<0,05$) (Fig. 4.2.7.1.8).

En contraste a las dos especies de garzas arriba mencionadas, las abundancias de la Garza cuca han incrementado de manera significativa durante los últimos seis años (Kruskal-Wallis: 34,31, gl=5, $p<0,05$; Test de Tukey: 2012-2013 *versus* 2016-2017, $p<0,05$) (Fig. 4.2.7.1.8).

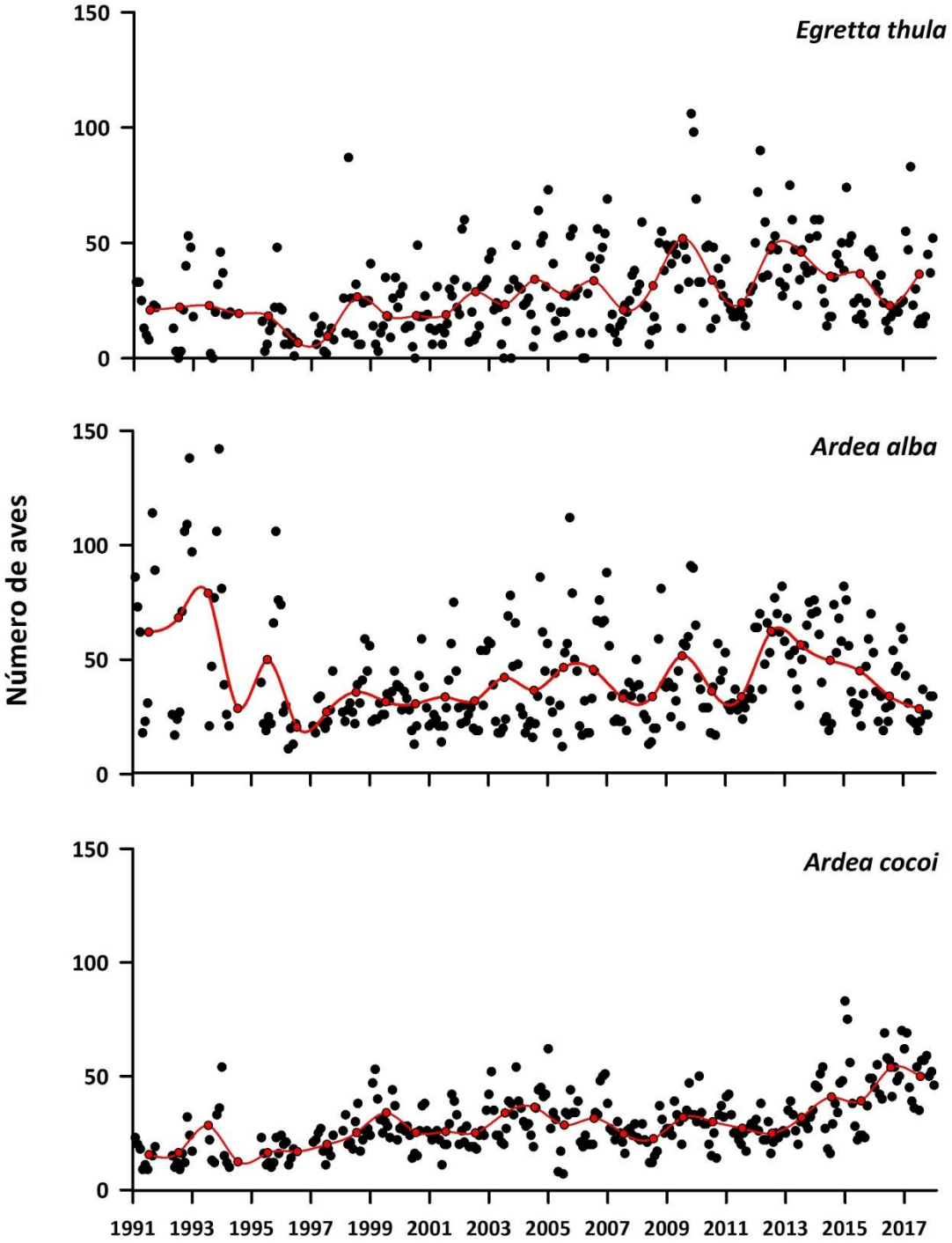


Figura 4.2.7.1.7. Variabilidad intra e inter anual (puntos negros y línea roja, respectivamente) en el número de individuos de *E. thula*, *A. alba* y *A. cocoi* entre enero del año 1991 y diciembre del año 2017. Fuente de datos: CONAF.

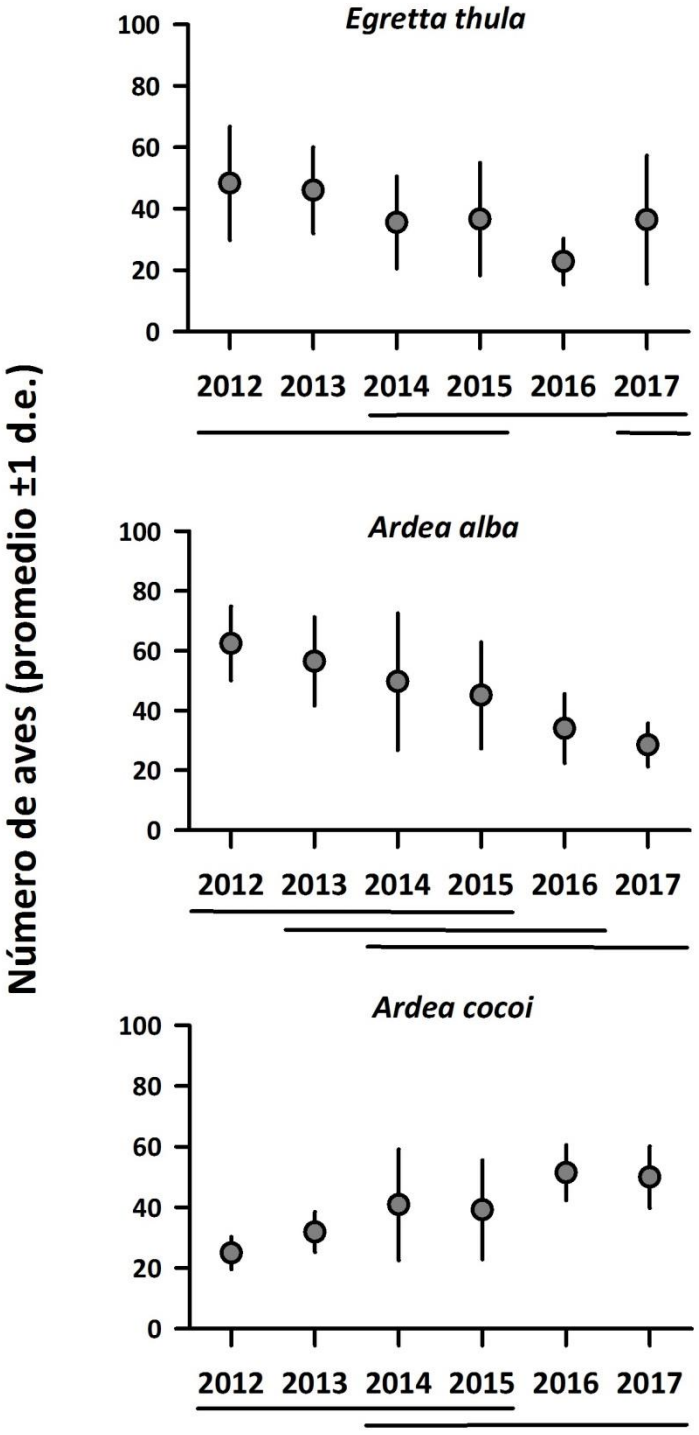


Figura 4.2.7.1.8. Variabilidad interanual en el número de ejemplares de *E. thula*, *A. alba* y *A. cuca*, entre los años 2012 y 2017. Las barras negras inferiores indican promedios anuales que no difieren significativamente entre sí (p>0,05). Fuente de datos: CONAF.

Abundancia de aves acuáticas herbívoras acorde sectores del HRC (fuente de datos: CONAF)

Las Figuras 4.2.7.1.9 a 4.2.7.1.11 muestran la variabilidad espacial y temporal de la abundancia del Cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*), la Tagua (*Fulica armillata*) y de la Taguita (*Fulica leucoptera*), respectivamente.

En general, durante el período 1991 - 2017, el Cisne de cuello negro ocurrió con mayor frecuencia en el eje central del HRC en contraste con los ríos tributarios y el sector Isla Teja (Fig. 4.2.7.1.9). Sin embargo, históricamente sus abundancias 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, 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 lo que incrementó significativamente hasta el año 2017, 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 (4.2.7.1.10). Posterior al año 2005, 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 la población de taguas muestra bajos niveles de abundancia. El bajo número de ejemplares contabilizados entre los años 2013 y 2017 ocurre primariamente en el sector 2 del eje central del HRC (Fig. 4.2.7.1.10).

Entre los años 1991 y 2004, la Taguita ocurrió principalmente en los sectores 1 y 4 del eje central del HRC (Fig. 4.2.7.1.11). Posterior al año 2004, esta especie ha estado prácticamente ausente del HRC, aunque el año 2017 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)

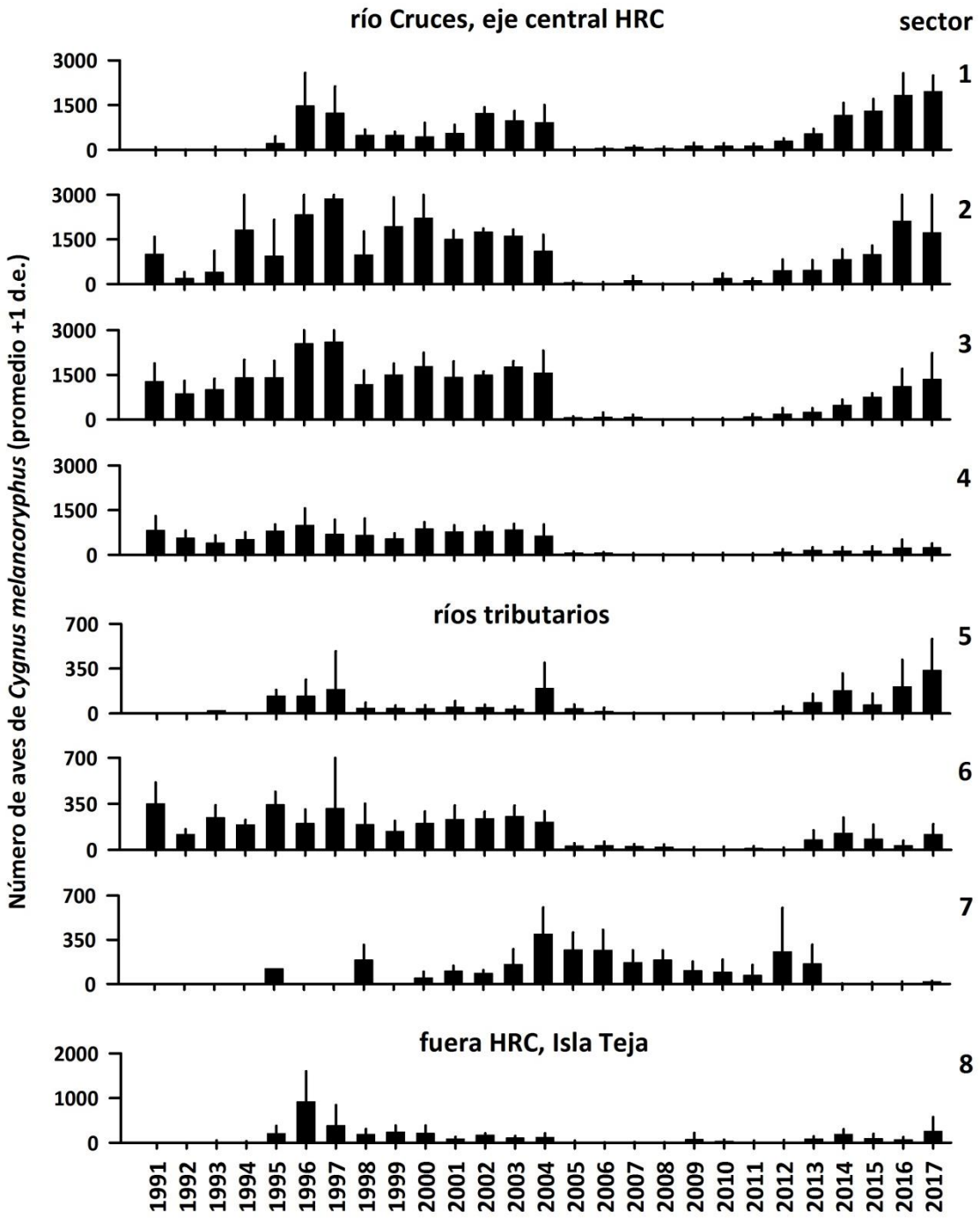


Figura 4.2.7.1.9. Variabilidad interanual de la abundancia de *Cygnus melancoryphus* en siete sectores ubicados dentro del HRC y un sector fuera del HRC, entre los años 1991 y 2017. Fuente de datos: CONAF.

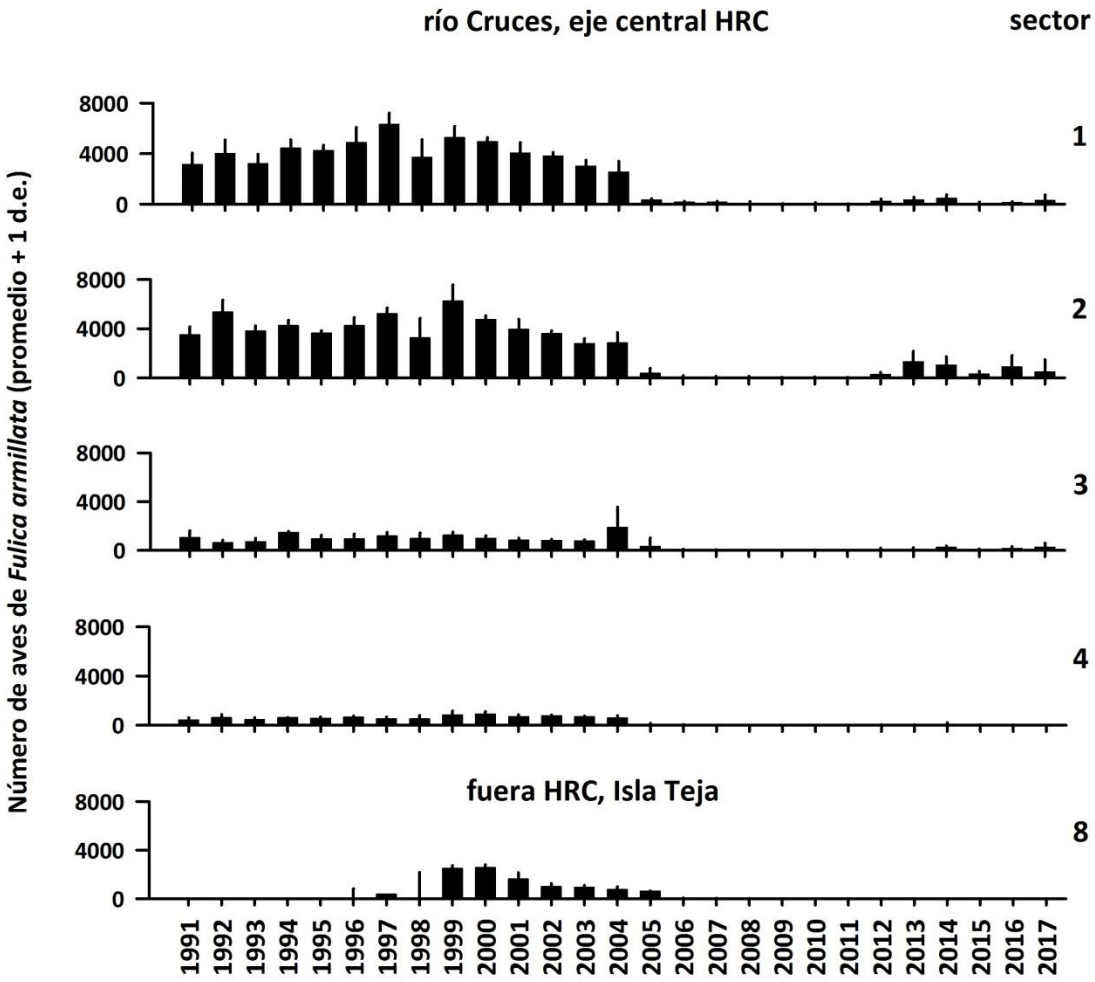


Figura 4.2.7.1.10. Variabilidad interanual de la abundancia de *Fulica armillata* en cuatro sectores del eje central del HRC y un sector fuera del HRC, entre los años 1991 y 2017. Fuente de datos: CONAF.

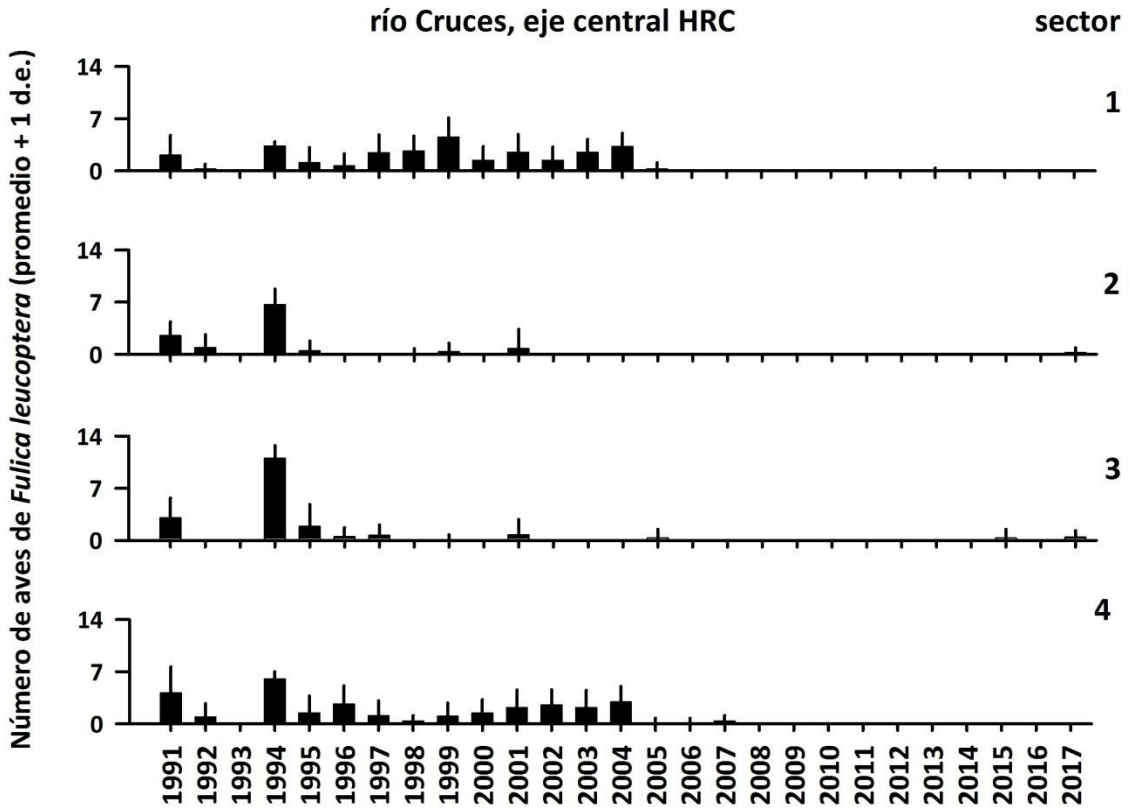


Figura 4.2.7.1.11. Variabilidad interanual de la abundancia de *Fulica leucoptera* en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2017. Fuente de datos: CONAF.

Abundancia de aves acuáticas carnívoras acorde 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 blanca chica (*Egretta thula*), la Garza blanca grande (*Ardea alba*) y la Garza cuca (*Ardea cocoi*), 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 2017, la abundancia poblacional de la Garza blanca chica y la Garza blanca grande se han mantenido estables en el eje central del HRC, sin experimentar grandes fluctuaciones en el tiempo (Fig. 4.2.7.1.12 y 4.2.7.1.13, respectivamente). Sin embargo, durante los últimos seis años (2012-2017), la tendencia

en las poblaciones de la Garza blanca grande es a la disminución (*cf*., 4.2.7.1.8). Por el contrario, las poblaciones de Garza cuca muestran una clara tendencia a ir aumentando su abundancia poblacional en el eje central del HRC (Fig. 4.2.7.1.14; *cf*., 4.2.7.1.8).

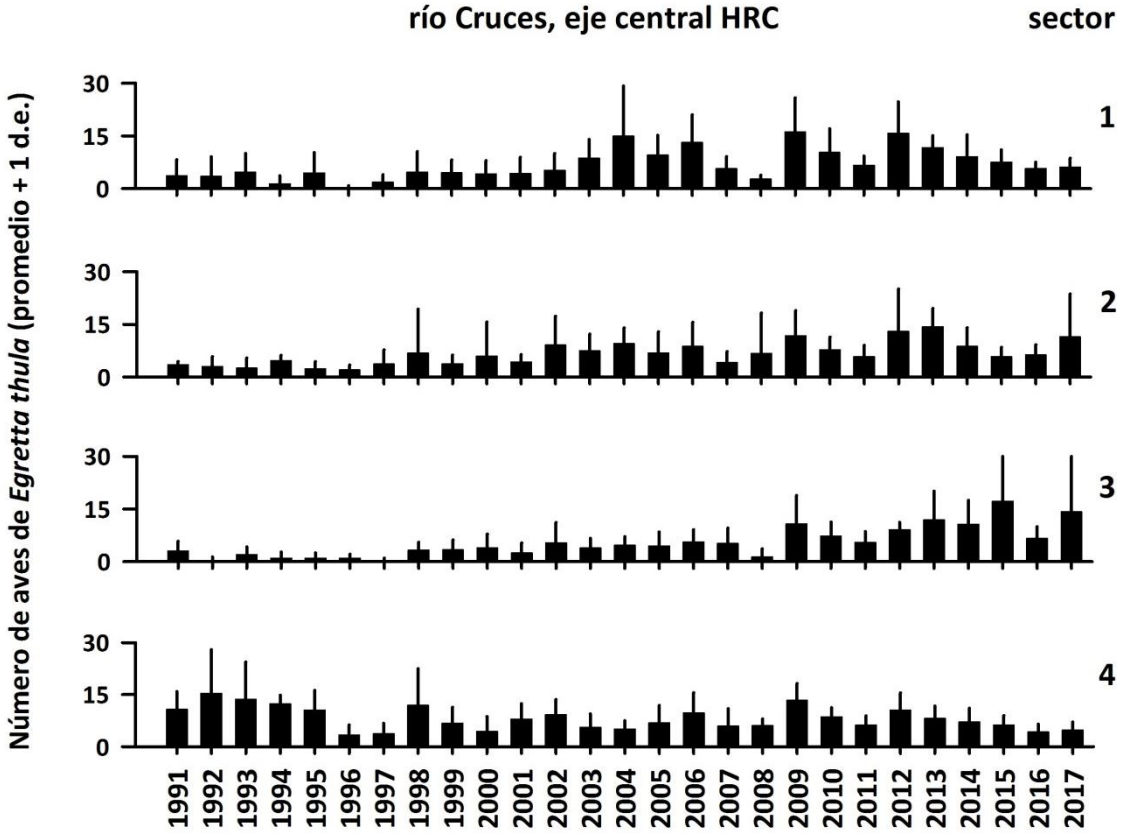


Figura 4.2.7.1.12. Variabilidad interanual de la abundancia de *Egretta thula* en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2017. Fuente de datos: CONAF**.**

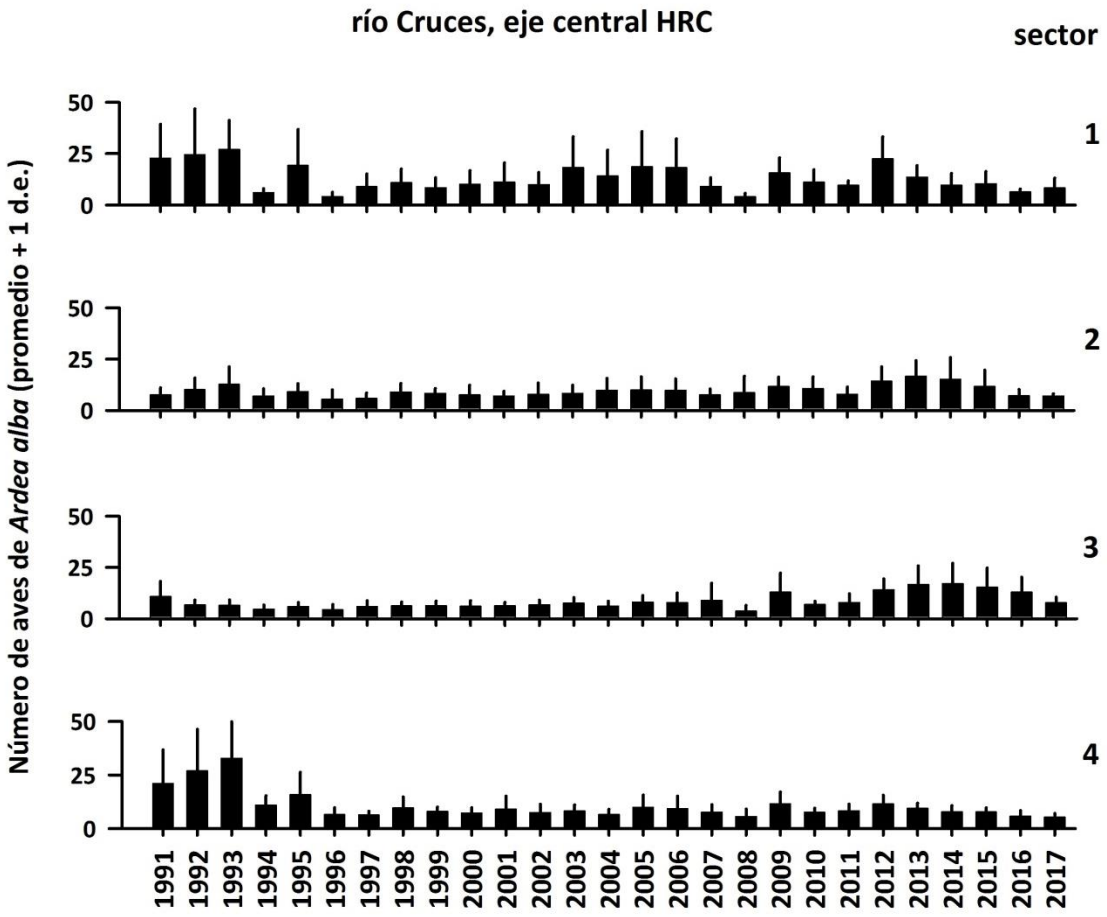


Figura 4.2.7.1.13. Variabilidad interanual de la abundancia de *Ardea alba* en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2017. Fuente de datos: CONAF.

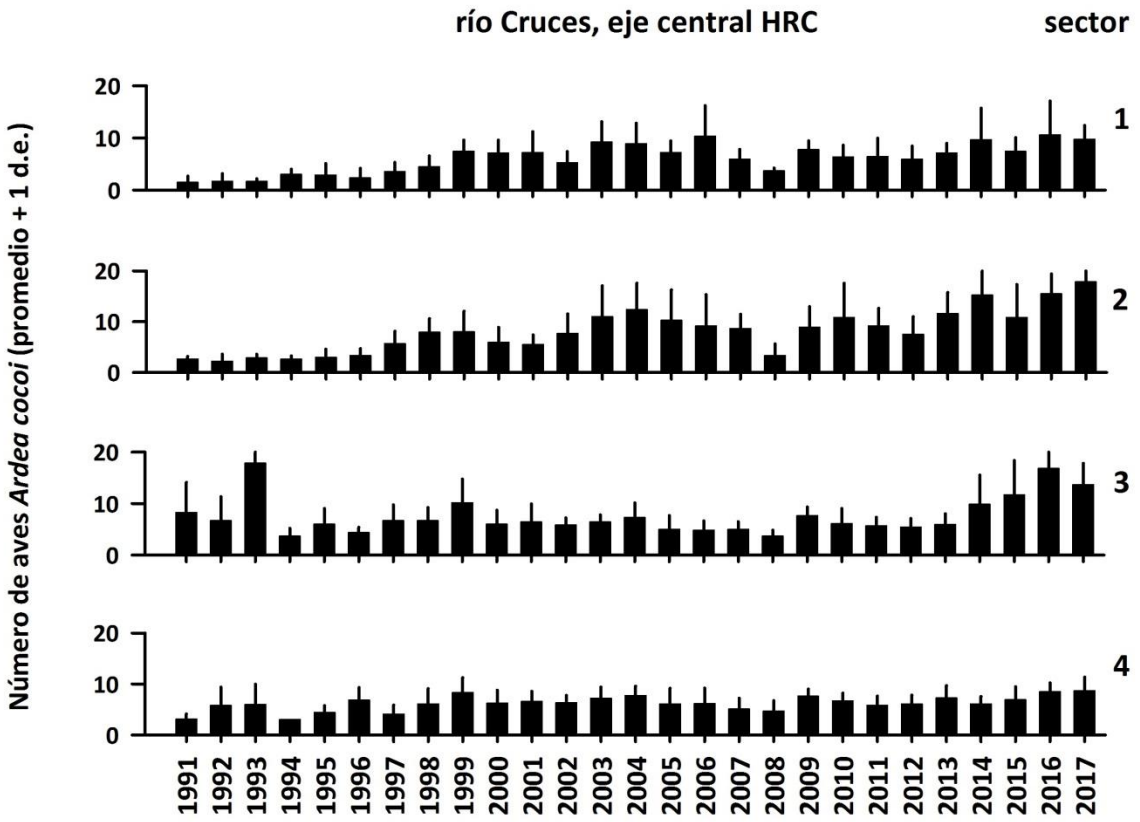


Figura 4.2.7.1.14. Variabilidad interanual de la abundancia de *Ardea cocoi* en los cuatro sectores del eje central del HRC entre los años 1991 y 2017. Fuente de datos: CONAF**.**

Distribución espacial y abundancia de avifauna acuática (fuente de datos: UACh)

Aves acuáticas herbívoras

Las Figuras 4.2.7.1.15 a 4.2.7.1.17, muestran la distribución espacial del Cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*) y la Tagua (*Fulica armillata*) en el área de estudio.

Tal como observado al inicio del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, la distribución espacial del Cisne de cuello negro es más amplia que la de la Tagua; esta tendencia fue extrema durante el muestreo de enero del año 2016 (Fig. 4.2.7.1.15), cuando *Fulica armillata* no fue observada dentro del humedal.

Las Figuras 4.2.7.1.15 a 4.2.7.1.17 muestran que aun cuando el Cisne de cuello negro ocurre primariamente en las áreas ubicadas en el eje central del río Cruces, durante algunos muestreos muestra mayor intrusión en los ríos tributarios del HRC (e.g., septiembre 2015, noviembre 2016 y octubre 2017). Esas figuras muestran también que los cisnes muestran máximos de abundancia en diferentes sectores (*e.g.*, mayo y octubre 2017 y febrero 2018; Fig. 4.2.7.1.17). Por el contrario y en general, las taguas muestran sus abundancias máximas sectores restringidos (*e.g*., julio 2016; Fig. 4.2.7.1.17).

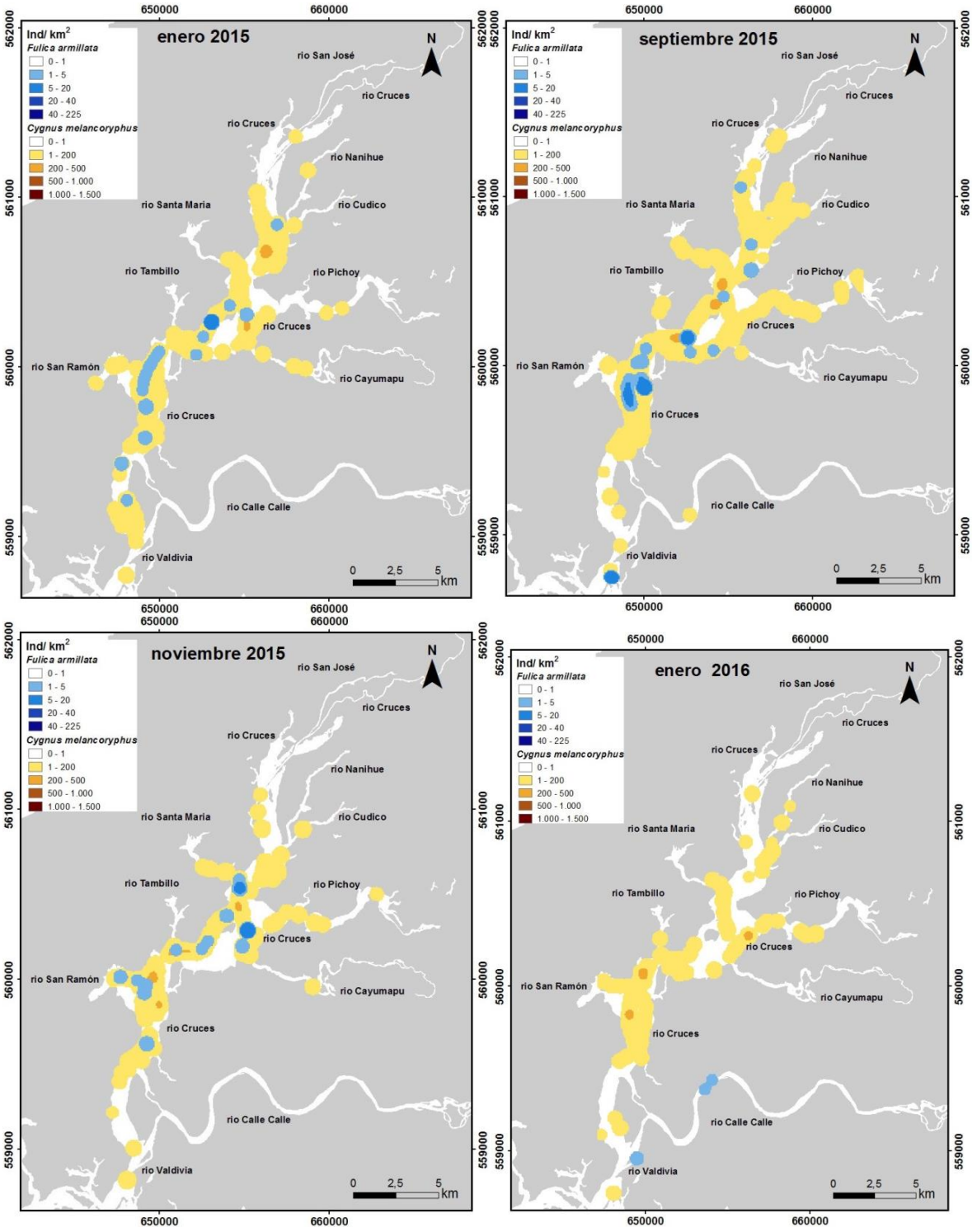


Figura 4.2.7.1.15. Presencia y abundancia relativas del Cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*) y de la Tagua (*Fulica armillata*) durante enero, septiembre y noviembre 2015 y enero 2016, en las riberas del área de estudio.

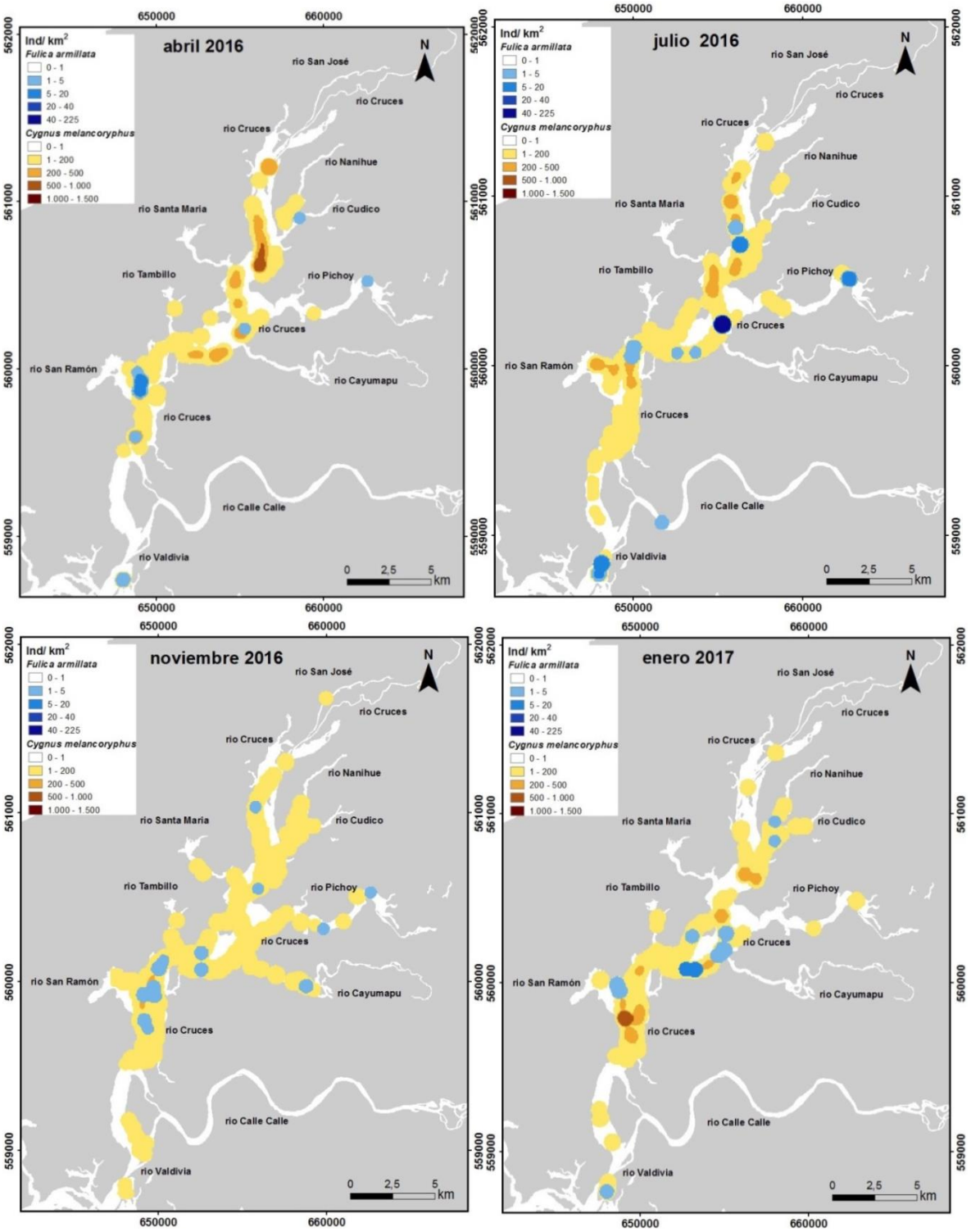


Figura 4.2.7.1.16. Presencia y abundancia relativas del Cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*) y de la Tagua (*Fulica armillata*) durante abril, julio y noviembre 2016 y enero 2017, en las riberas del área de estudio.

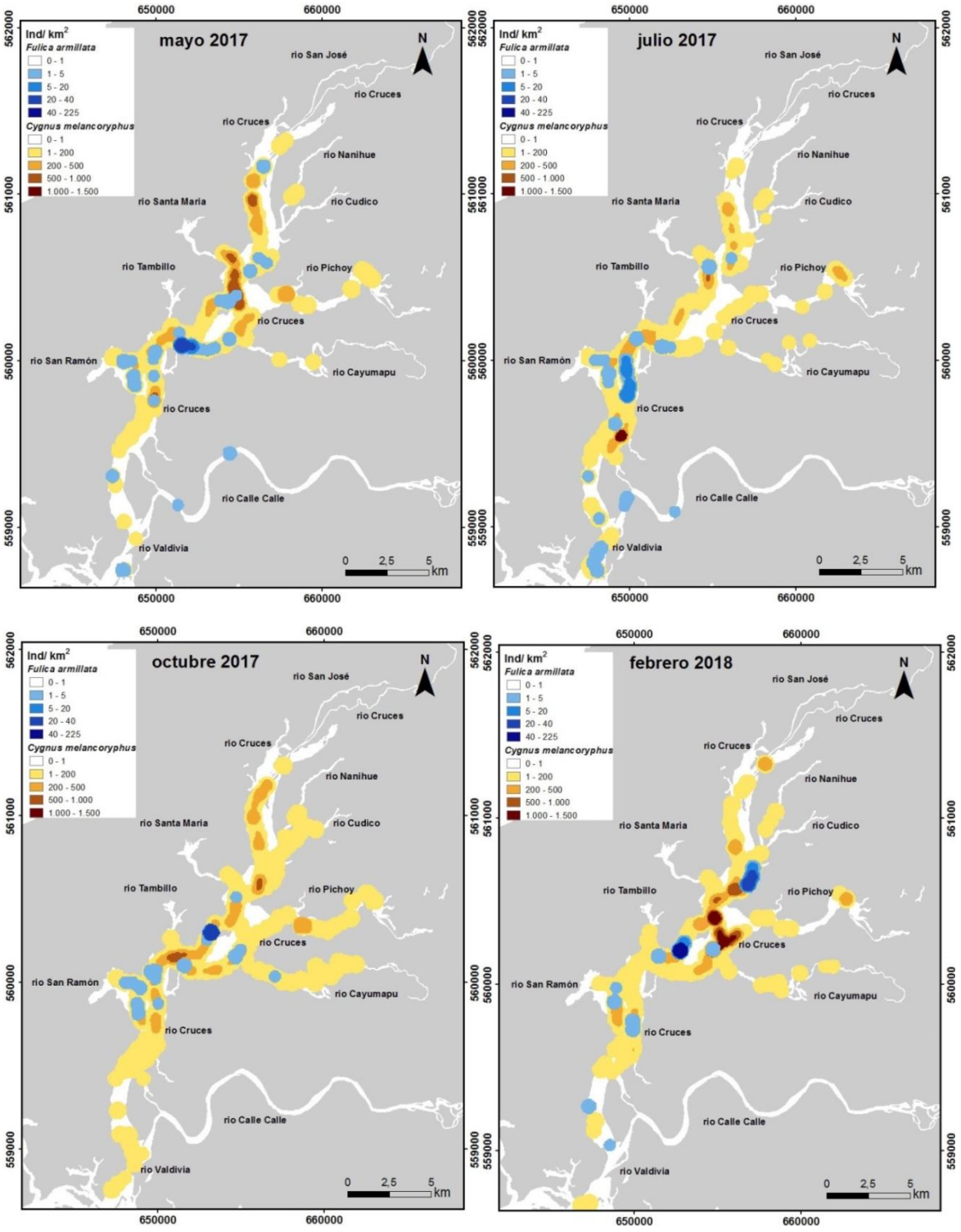


Figura 4.2.7.1.17. Presencia y abundancia relativas del Cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*) y de la Tagua (*Fulica armillata*) durante mayo, julio y octubre 2017 y enero 2018, en las riberas del área de estudio.

Aves acuáticas carnívoras

Las Figuras 4.2.7.1.18 a 4.2.7.1.20, muestran la distribución espacial de la Garza blanca chica (*Egretta thula*), Garza blanca grande (*Ardea alba*) y Garza cuca (*Ardea cocoi*) en el área de estudio.

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; esta especie es seguida por la Garza blanca grande (Fig. 4.2.7.1.18 a 4.2.7.1.20). Entre enero del año 2015 y julio del año 2016 la Garza blanca chica fue mayoritariamente observada en los ríos tributarios del HRC (Fig. 4.2.7.1.18 y 4.2.7.1.19); posteriormente se la ha observado también con máximos de abundancia en el eje central del río Cruces (*e.g.*, enero, mayo y octubre del año 2017; Fig. 4.2.7.1.19 y 4.2.7.1.20).

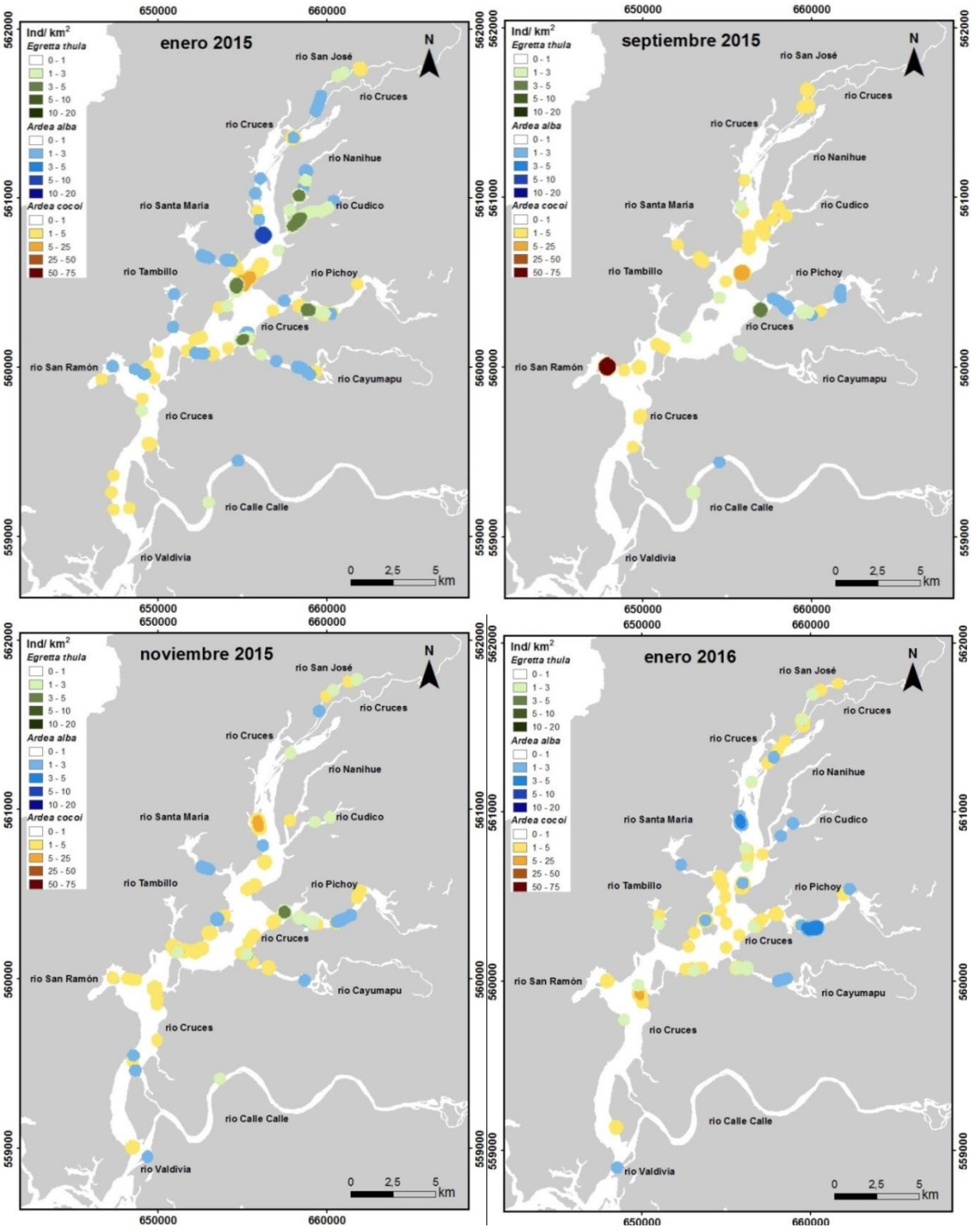


Figura 4.2.7.1.18. Presencia y abundancia relativa de Garza chica blanca (*Egretta thula*), Garza grande blanca *(Ardea alba*) y Garza cuca (*Ardea cocoi*) durante enero, septiembre y noviembre 2015 y enero 2016, en las riberas del área de estudio.

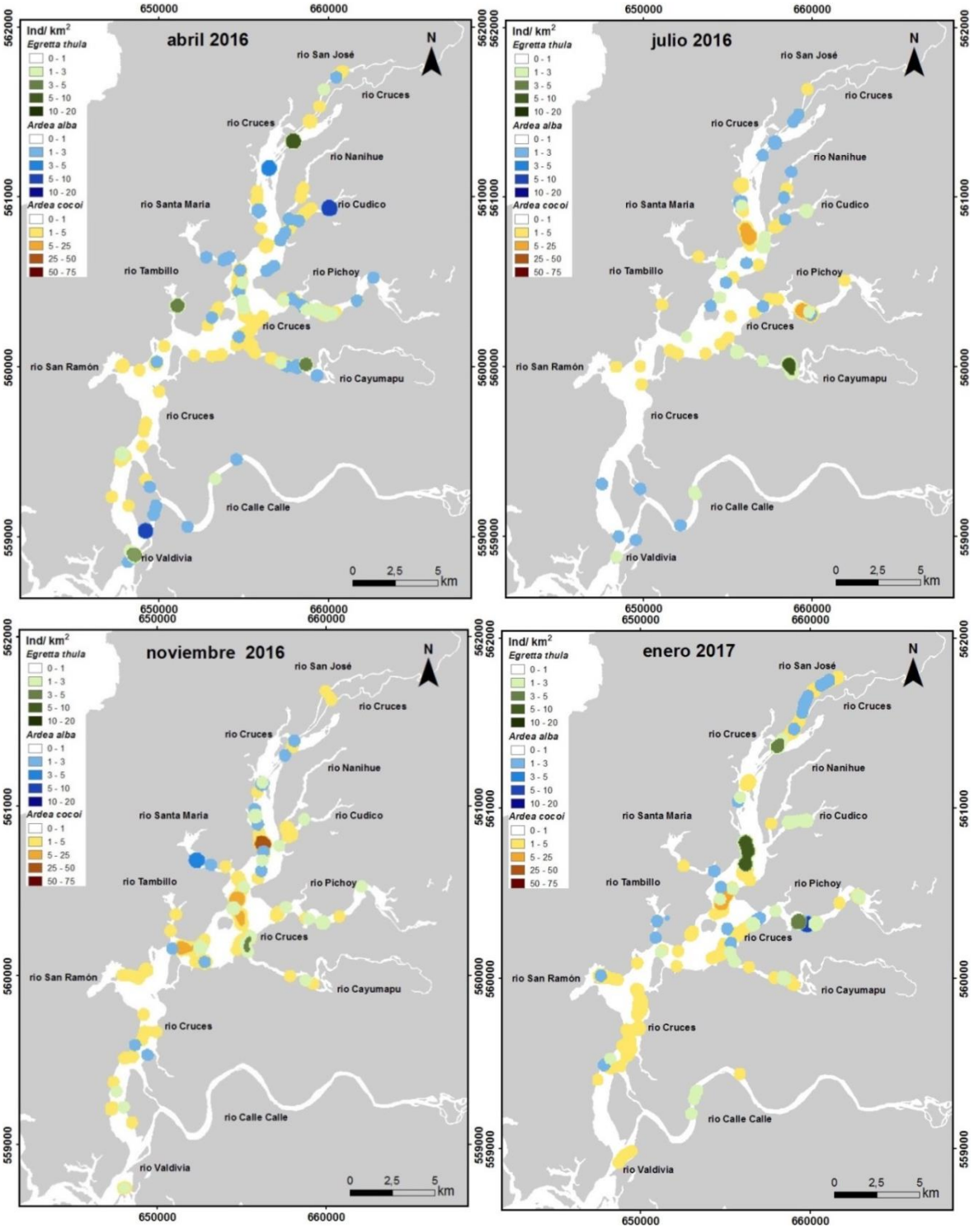


Figura 4.2.7.1.19. Presencia y abundancia relativa de Garza chica blanca (*Egretta thula*), Garza grande blanca *(Ardea alba*) y Garza cuca (*Ardea cocoi*) durante abril, julio y noviembre 2016 y enero 2017, en las riberas del área de estudio.

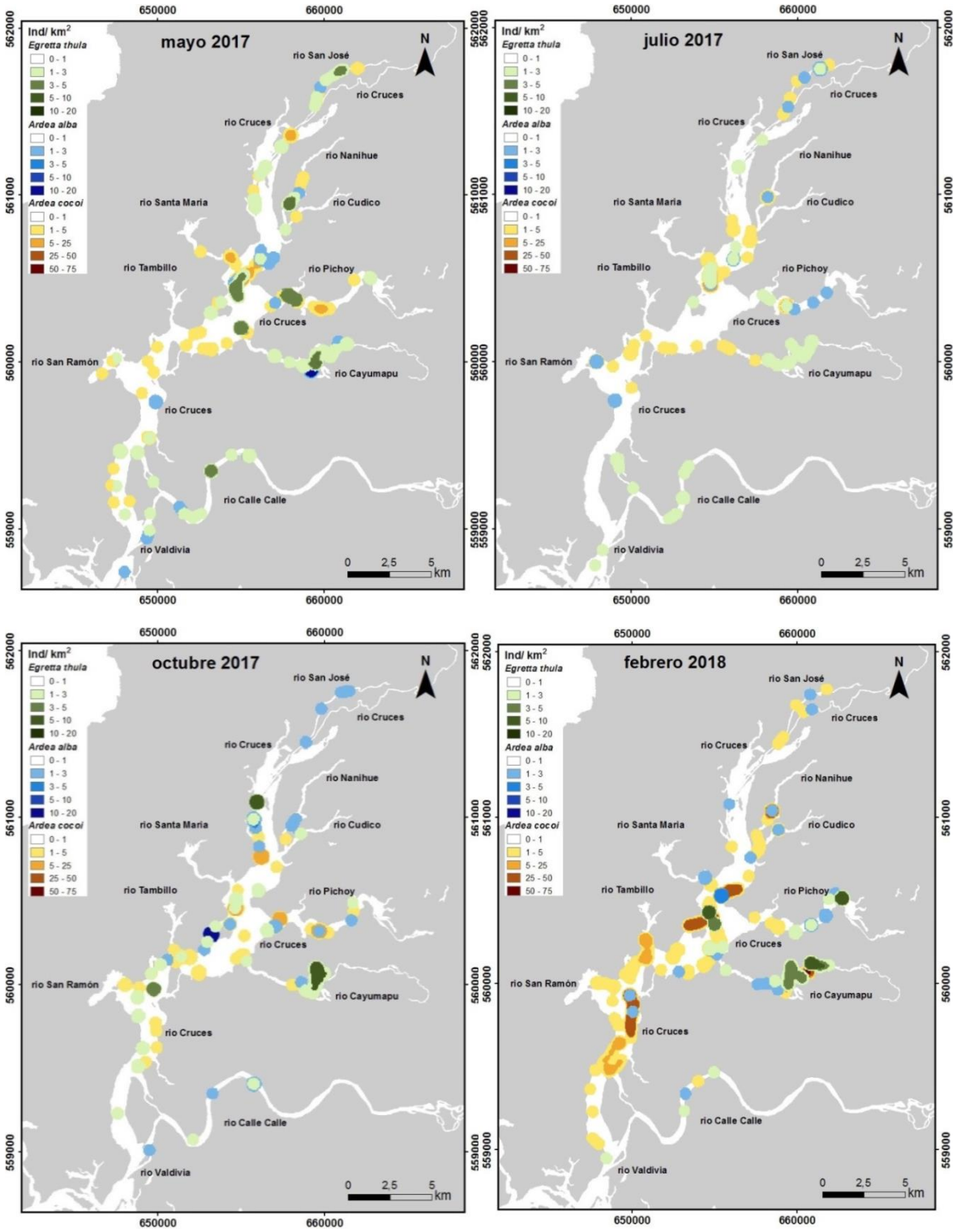


Figura 4.2.7.1.20. Presencia y abundancia relativa de Garza chica blanca (*Egretta thula*), Garza grande blanca *(Ardea alba*) y Garza cuca (*Ardea cocoi*) durante mayo, julio y octubre 2017 y febrero 2018, en las riberas del área de estudio.

4.2.7.1.5 Conclusiones

- La riqueza de especies en el eje central del HRC presenta una menor variabilidad temporal que la abundancia total de la avifauna; no hay indicios de pérdida de especies en el largo plazo o entre años particulares.
- Las bajas significativas que ocurrieron el año 2005 en las abundancias poblacionales del Cisne de cuello negro, se mantuvieron relativamente constantes hasta el año 2012, cuando se comenzó a observar una recuperación significativa de esta especie.
- Las de la Tagua han sido muy variables en el tiempo; i.e., las abundancias de esta ave han experimentado incrementos y disminuciones abruptas durante los últimos cinco años.
- Luego de los cambios ambientales del año 2014, la Taguita no muestra señal alguna de recuperación poblacional.
- En términos generales, los datos recolectados en las riberas del área de estudio muestran que los cisnes ocurren con altos valores de abundancia en diferentes sectores de sus áreas de distribución, a la vez que las taguas ocurren en general con máximos de abundancia en un solo sector y diferente al de los cisnes.
- Los resultados del Tercer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC en cuanto a variabilidad interanual de aves acuáticas carnívoras se refiere fueron similares a los del primer año de ese programa y a los del Programa de Diagnóstico Ambiental: *i.e.*, las garzas no fueron afectadas por los cambios ambientales del año 2004 en el humedal
- La Garza cuca muestra una clara tendencia a aumentar su abundancia en el tiempo, principalmente entre los años 2012 y 2017; por el contrario, y durante el mismo período, las abundancias de la Garza blanca grande y la Garza blanca chica han mostrado una tendencia a la disminución poblacional.
- 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; esta especie es seguida por la Garza blanca.

4.2.7.2 Composición de la comunidad, condición corporal y eficacia biológica de la avifauna de las riberas

4.2.7.2.1 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 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 Tercer Año del Programa de Monitoreo Ambiental, pero considerando muestreos realizados entre noviembre de 2015 y diciembre de 2017.

4.2.7.2.2 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.

4.2.7.2.3 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. 4.2.7.2.1).

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*.

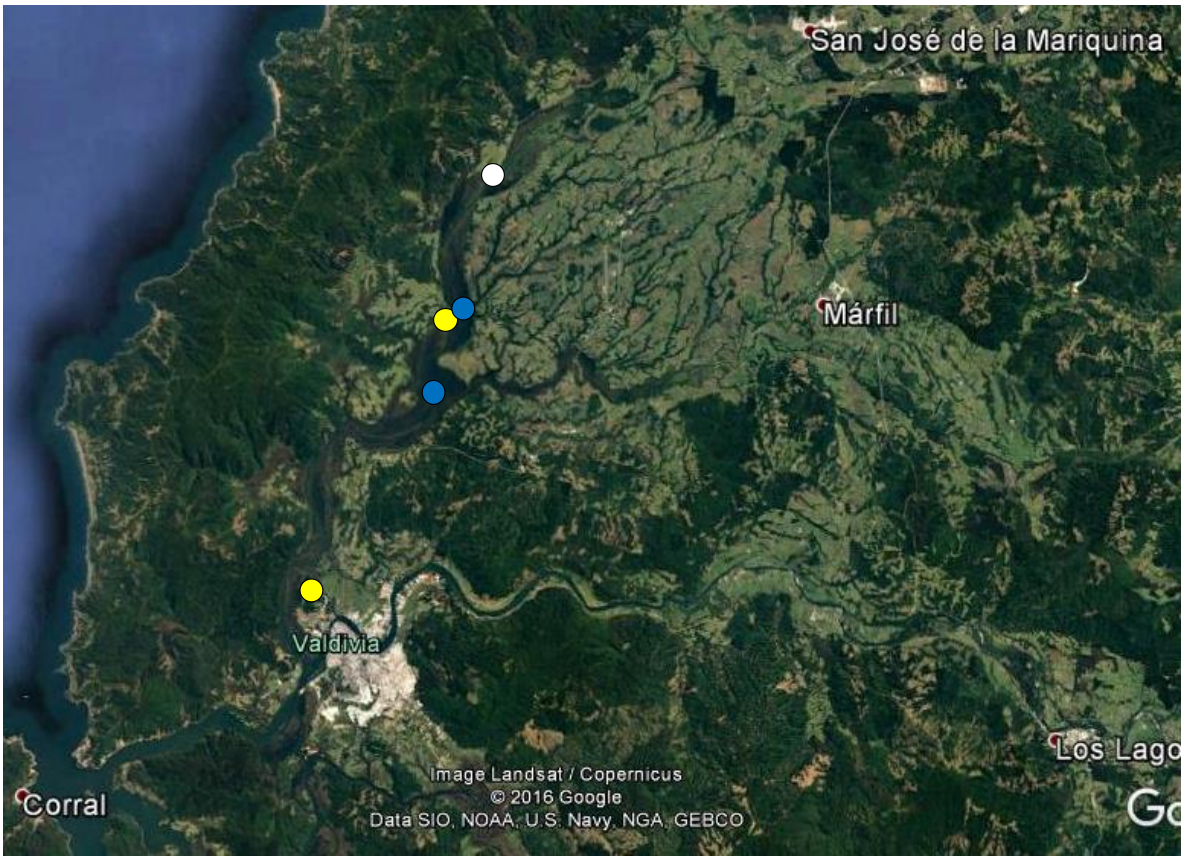


Figura 4.2.7.2.1. Ubicación general de los sitios de muestreo seleccionados para realizar el monitoreo de la avifauna asociada a las riberas del Humedal Río Cruces. Los puntos amarillos indican las áreas de captura de aves canoras (Orden Paseriformes) con redes de niebla; los puntos azules indican la 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 reproductivo, al menos en estas colonias de bosques inundados. Alternativamente, y tras realizar las primeras pruebas en diciembre del año 2015, se ha diseñado y desarrollado 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 cápsula "Éxito reproductivo de la Garza cuca en el humedal del río Cruces").

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 dos 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. 4.2.7.2.1), 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. 4.2.7.2.2). 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 4.2.7.2.2. 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 las dos áreas seleccionadas como zonas testigo: Teja Norte (TN) y Santa María (SM) (Fig. 4.2.7.2.1). 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 sephanoides* 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 Fío-fío, 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 dos primeras temporadas completas: abundancia específica relativa (nº capturas·jornada^{-1}), condición corporal (concentración de metabolitos plasmáticos: β-OH Butirato (BHB), Triglicéridos (TRIG) y Fructosamina (FRUT)) (*e.g.*, Lyons *et al.,* 2008) y estimación de la supervivencia adulta aparente (Ø = método de captura-marcaje-recaptura; Thomson *et al.,* 2009).

4.2.7.2.4 Resultados

- **Bosque inundado**

Durante las temporadas de cría del año 2016 y 2017, se monitorearon con una alta precisión 83 nidos de Garza cuca, distribuidos en dos colonias (A y B) ubicadas en el entorno de Santa María (Fig. 4.2.7.2.1). 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 61 nidos, cuyas parejas produjeron un total de 90 volanderos. Casi dos terceras partes de los nidos controlados tuvieron éxito (*i.e.*, al menos un pollo volandero). Por su parte, de los 22 nidos monitoreados en la colonia A (la más pequeña) 13 nidos tuvieron éxito, produciendo un total de 34 pollos volantones (detalles en Tabla 4.2.7.2.1).

Tabla 4.2.7.2.1 Parámetros reproductivos (promedio ± DT) medidos en las temporadas de cría 2016 y 2017 en dos colonias de garza cuca *Ardea cocoi* en el HRC.

	n°nidos activos	n°nidos exitosos	puesta modal	% eclosión	éxito reproductivo	productividad
Colonia A	22	13	3	82 ± 20	2.4 ± 1.1	1.3
Colonia B	61	38	3	74 ± 20	2.4 ± 0.8	1.3

Aunque se registraron, lógicamente, ciertas variaciones, al menos en cuanto al éxito reproductivo éstas no fueron significativas ni entre temporadas ($F = 2.15$; $p = 0.28$), ni entre colonias ($F = 0.07$; $p = 0.84$), ni tampoco su interacción ($F = 0.20$; $p = 0.74$). De este modo, en general las garzas del Santuario produjeron en promedio 1.3 pollos volanderos por cada pareja que inició la reproducción. Esta productividad es menor que la encontrada en una colonia estudiada en Chile central (1.7) (González-Acuña *et al.,* 2008), aunque 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). No obstante, en el caso del HRC, otras causas como la competencia inter específica por parte de Yecos *Phalacrocorax brasilianus* y la potencial depredación oportunista por parte de Jotes *Coragyps atratus* (*e.g.*, González-Acuña *et al.,* 2008), Tiuques *Milvago chimango* (observaciones personales de J. Ruiz), o incluso ataques de Visón americano *Neovison vison,* más factibles en la colonia localizada a menor altura sobre el agua, podrían ser responsables de esta productividad más baja.

- **Praderas inundables**

Se muestran los resultados obtenidos durante el período noviembre 2015 - noviembre 2017 de forma mensual (n=22) en el área seleccionada. No se pudieron realizar tres muestreos por impedimentos logísticos. Se produjeron un total de 152 intercepciones de Becasina común *Gallinago paraguiae* (*a priori G.p. magellanica*; Vidal *et al.,* 2016), detectándose 202 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 estimada durante estos dos ciclos anuales completos fue de 1.7 ± 0.3 (rango: 0.3 – 5.6) becasinas·ha^{-1} (Fig. 4.2.7.2.3). Casi todas las intercepciones se produjeron en el sector predefinido con una mayor humedad general del sustrato, siendo 1.5 ± 0.3 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).

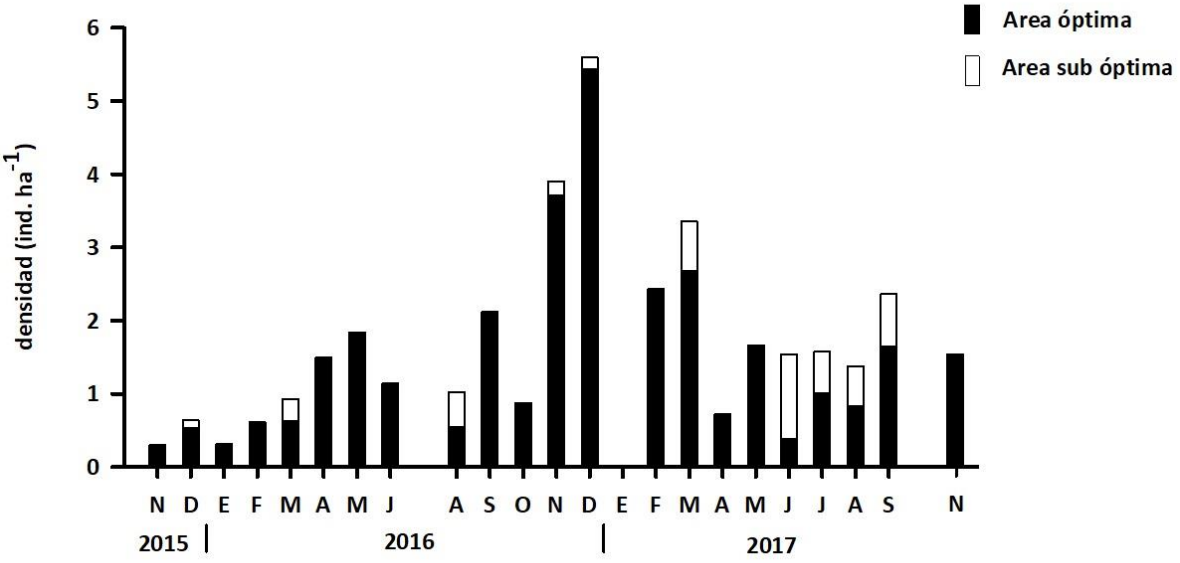


Figura 4.2.7.2.3. Densidad mensual estimada de becasinas en el área óptima y subóptima predefinidas en la zona monitoreada durante los muestreos realizados en el período noviembre 2015 – noviembre 2017 (ver texto para detalles específicos).

Los datos obtenidos durante las dos primeras temporadas completas muestran marcadas oscilaciones mensuales, en especial en primavera, y una gran variabilidad interanual. Las oscilaciones mensuales podrían indicar que la zona alberga individuos migrantes, que es un área de reproducción y/o que la zona 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). Aunque en el área monitoreada del HRC no se han encontrado nidos, sí que se han observado vuelos de cortejo lo que sugiere que alguna pareja se podría reproducir en el área que está siendo monitoreada. En este sentido y según las densidades estimadas en la época de reproducción, la abundancia en la zona sería de 5-8 becasinas en la temporada 2016 y hasta 22-32 en 2017, por lo que serían varias parejas las que se reproducen en este sector. Por su parte, la zona podría albergar durante el invierno 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. 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**

Se muestran los resultados obtenidos durante el período noviembre 2015-diciembre 2017. Se han registrado 780 capturas, 748 de ellas correspondientes a 647 ejemplares de 21 especies del Orden Passeriformes (Tabla 4.2.7.2.2). No se han tenido en cuenta para los subsiguientes análisis 29 capturas de Picaflor chico, 2 de Chuncho *Glaucidium nanum* y 1 de Huairavillo *Ixobrichus involucris*. Por impedimentos climatológicos y logísticos no se pudieron realizar los muestreos de los años 2016 y 2017.

El promedio de capturas por unidad de esfuerzo fue similar en ambas zonas (3.3 ± 0.3 aves·h^{-1}), aunque ligeramente superior en Teja Norte (TN) que en Santa María (SM). En ambas zonas la especie más abundante fue el Siete colores, aunque su contribución a la abundancia total fue mucho mayor en TN (66%) que en SM (30%).

Las siguientes cuatro especies fueron capturadas en ambas zonas con regularidad y abundancia suficiente para poder realizar comparaciones entre ambos sectores muestreados: Siete colores (N=365), Fío-fío (N=82), Cachudito (N=73) y Trabajador (N=44). Las especies capturadas incluyen dos especies 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 4.2.7.2.2. Capturas de aves realizadas en cada uno de los sectores seleccionados de vegetación palustre durante los muestreos realizados en el período noviembre 2015 – diciembre 2017 (ver texto para detalles específicos). * no considerada en los cálculos de riqueza de especies y diversidad.

especie	Santa María	Teja Norte
Cachudito	44	29
Chercán	23	2
Chercán de las Vegas	7	11
Chirihue	60	
Churrín de la Mocha		2
Churrín del Sur *		2
Colilarga	14	9
Comesebos	1	
Diucón	1	
Fío-fío	60	22
Jilguero	7	
Mirlo		2
Rayadito	2	5
Run-run	6	3
Sietecolores	111	254
Tijeral		1
Tordo	1	
Trabajador	12	32
Trile	11	9
Viudita	2	1
Zorzal austral	2	
Total general	**364**	**384**

Composición y estacionalidad 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 21 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 otras seis especies que no fueron capturadas en TN,

mientras que 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 febrero (Fig. 4.2.7.2.4).

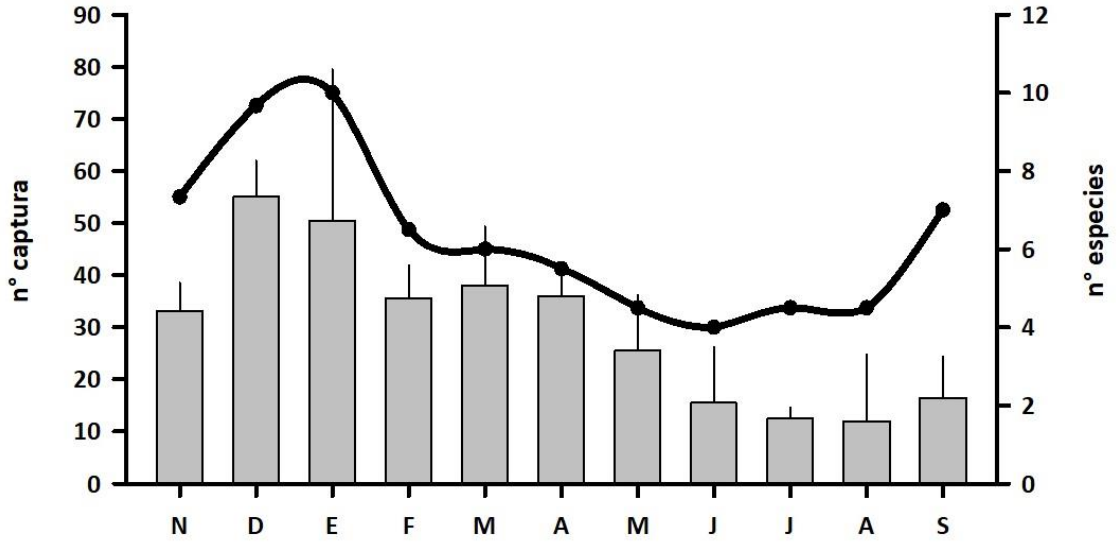


Figura 4.2.7.2.4. Evolución mensual (*) del número de capturas (barras: promedio ± DT) y la riqueza específica (línea: n° especies) en el conjunto de ambos sectores durante los muestreos realizados (ver texto para detalles específicos). (*) No se pudieron realizar los muestreos de octubre 2016 y octubre 2017.

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 (Figura 4.2.7.2.5). 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.

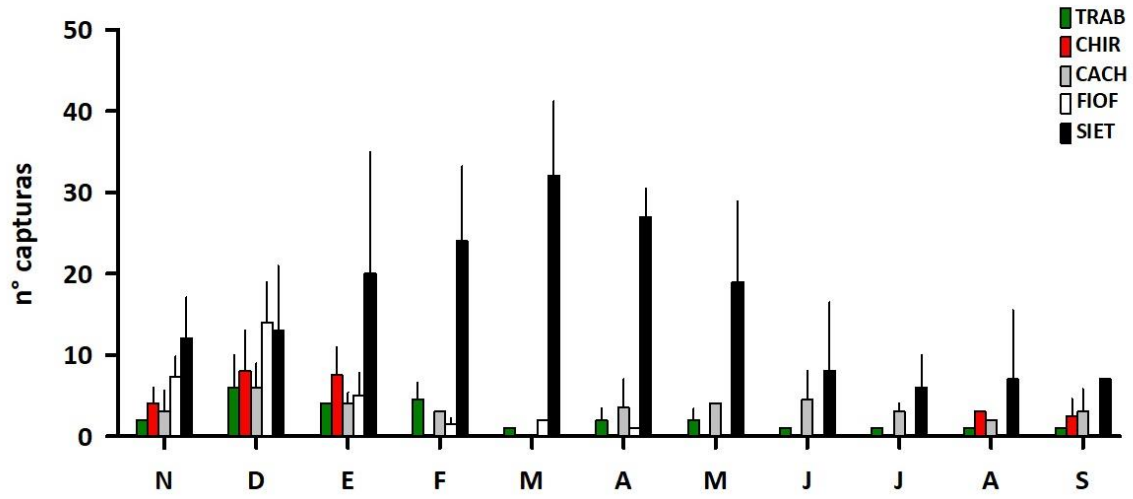


Figura 4.2.7.2.5. Evolución mensual (*) del número de capturas (promedio±DT) de las especies más abundantes en el HRC durante los muestreos realizados. (*) No se pudieron realizar los muestreos de octubre 2016 y octubre 2017.

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. Sin embargo, las mayores abundancias durante los meses de marzo, abril y mayo podrían responder a un agrupamiento de la población adulta en bandadas postreproductivas. Si los resultados de próximos años de monitoreo siguen mostrando este patrón fenológico, común en aves Passeriformes en otro tipo de ambientes (*e.g.*, Vergara & Marquet, 2007), sería un aspecto desconocido de la biología de esta especie que, hasta ahora, 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 en noviembre, aunque los primeros individuos llegan en octubre, mostrando un pico de abundancia en diciembre 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 reproductivas, 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 reproductivos en esa época. Por último, es interesante el patrón del Chirihue, que aparece únicamente en las capturas entre agosto y enero, 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.

}

Condición corporal

A pesar de que el pequeño tamaño de las especies modelo impide en muchos casos extraer la cantidad mínima necesaria para la cuantificación de los metabolitos con la metodología analítica disponible, se han analizado hasta la fecha (noviembre 2017) 32 muestras de sangre de diferentes especies, 9 en TN y 23 en SM. Esto ya permite comenzar a realizar las primeras comparaciones de detalle, además de establecer los valores medios y rangos de variación para las diferentes 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). Aunque en general (Tabla 4.2.7.2.3) los valores promedio de BHB y TRIG son más bajos en TN y, en contraste, los de FRUT son más altos en TN, estas

diferencias no son significativas para ninguno de los metabolitos analizados (P > 0.11 en todos los casos).

Tabla 4.2.7.2.3. Valores medios (± SE) de metabolitos plasmáticos medidos en aves paseriformes (diferentes especies) en dos áreas del HRC, Santa María (SM) y Teja Norte (TN) durante muestreos realizados en el período noviembre 2015 – noviembre 2017 (ver texto para detalles específicos). BHB = β-OH Butirato, FRUT = Fructosamina y TRIG = Triglicéridos.

áreas de estudio	BHB (mmol/l)	FRUT (umol/l)	TRIG (mmol/l)
SM	2.5 ± 0.3	301.8 ± 11.9	2.3 ± 0.3
TN	1.6 ± 0.5	328.4 ± 43.5	1.5 ± 0.3

No obstante, 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 (Fig. 4.2.7.2.6). En particular para 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.

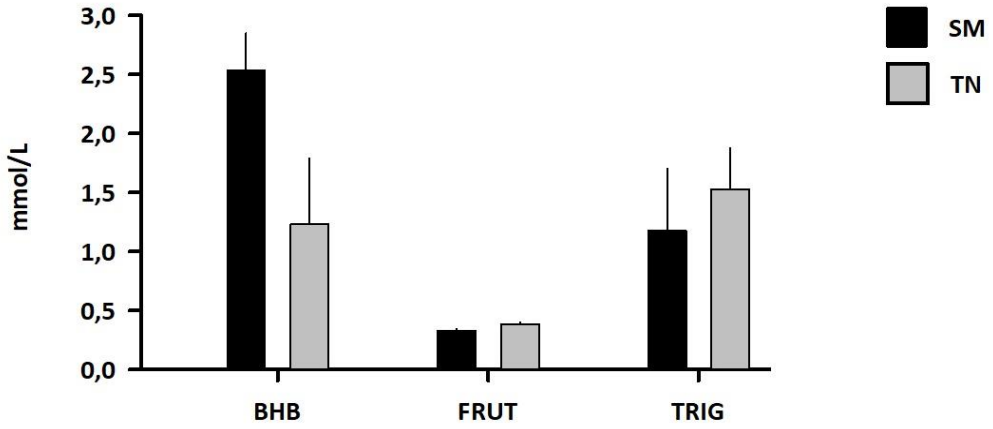


Figura 4.2.7.2.6. Concentración (promedio±DT) de diferentes metabolitos plasmáticos en Fío-fío capturados en dos zonas del HRC (Santa María-SM y Teja Norte-TN) durante los muestreos realizados en el período noviembre 2015 – diciembre 2017 (ver texto para detalles específicos).

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 FRUT 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.

Supervivencia aparente

Hasta la fecha se han registrado 102 recapturas correspondientes a 72 individuos de siete especies. Teniendo en cuenta que se han capturado y marcado un total de 647 individuos de 21 especies, la tasa de recaptura general es de 0.11, siendo un punto mayor si se consideran únicamente los individuos de las siete especies que tienen al menos una recaptura (Tabla 4.2.7.2.4).

Tabla 4.2.7.2.4. Individuos recapturados por especie (%) en dos áreas del HRC durante muestreos realizados en el período noviembre 2015 – noviembre 2017 (ver texto para detalles específicos).

especie	SM	TN
Cachudito	29%	21%
Chercán de las Vegas	17%	25%
Chirihue	2%	
Colilarga	43%	50%
Fío-fío	7%	0%
Sietecolores	16%	12%
Trabajador	22%	7%
TOTAL	**12%**	**12%**

Para las especies más representadas en la muestra, esto es, las más abundantes en el sistema (Arizaga *et al.,* 2011), la tasa de recaptura en SM es superior que en TN, a diferencia de para las especies menos representadas que 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 3 y 4 ocasiones a lo largo de estos dos ciclos anuales completos. Estos resultados estarían indicando una elevada territorialidad de los individuos de estas especies en las zonas muestreadas, al igual que en otros humedales australes (Lara *et al.,* 2011). Esta elevada tasa de recaptura permitirá realizar estimas de supervivencia adulta aparente (Ø = método de captura-marcaje-recaptura; *cf.* Thomson *et al.,* 2009) para cada especie una vez controlada su probabilidad de recaptura anual.

En este sentido, en base a las recapturas ya obtenidas en noviembre y diciembre la probabilidad de recaptura anual para el Fío-fío es aparentemente menor del 50%. Por lo tanto, la tasa de supervivencia anual sería mucho mayor que la tasa de recaptura (0.07). No obstante, a la fecha de redacción de este informe la tercera temporada de monitoreo de aves (2017-2018) se encuentra recién iniciada y, por tanto, los resultados de las recapturas son muy parciales y, en cualquier caso, deberían ser tomados como mínimos.

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 esta tercera temporada (2017-2018) que está incompleta, ya se han recapturado 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 tercera temporada para el Fío-fío (abril), ya 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.

4.2.7.2.5. Conclusiones

- Se ha recabado información durante dos 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 la fenología de las especies más representativas aportando así información esencial para la gestión del HRC.
- 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 11 que aparecen de forma irregular (i.e. acompañantes). Aunque los resultados de subsiguientes muestreos dentro del Monitoreo corroborarán o descartarán este resultado, aparentemente esta especie parece agruparse y realizar desplazamientos post reproductivos dentro del HRC.
- Hasta el momento se han recapturado más del 10% de los individuos marcados en ambas zonas del HRC, la mayoría de cuatro especies estructurales, siendo muy

similar en ambas temporadas. Esta tasa de recaptura junto con la probabilidad de recaptura anual, para lo que se necesita al menos completar esta tercera temporada de 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 valores promedio y rangos de variación de la concentración de metabolitos plasmáticos de las aves Passeriformes, observándose diferencias entre ambas zonas de muestreo (aunque no son estadísticamente significativas), de forma general para el conjunto de especies y de forma particular el mismo patrón para el Fío-fío *Elaenia albiceps*, la única especie con un tamaño muestral suficiente para permitir comparaciones específicas. Estas diferencias apoyan la adecuada selección de ambas zonas de muestreo en el HRC para la evaluación de los promedios y rangos de variación de los metabolitos plasmáticos de forma independiente para cada zona de muestreo.
- La productividad general de las dos colonias de Garza cuca *Ardea cocoi* monitoreadas durante estas dos primeras temporadas (en promedio unos 40 nidos por temporada) fue de 1.3 pollos volanderos por cada pareja que inició la reproducción. Se han registrado ciertas variaciones en el éxito reproductivo entre colonias y años, pero no fueron estadísticamente significativas.
- 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.

4.2.7.2.6. 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.

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 y 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.

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.

4.2.7.3. Elementos y compuestos químicos en Garza blanca grande (*Ardea alba*)

4.2.7.3.1. Antecedentes

Se define bioacumulación, 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 bioacumulación 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 bioacumulación puede ocurrir por ingesta de sus 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 (*Ardea alba*), 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 2378-TCDD y la 12378-PCDD) 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 *A. alba* obtenidas durante noviembre del año 2015, diciembre del año 2016 y noviembre del año 2017 (primer, segundo y tercer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, respectivamente) y se comparan con datos de muestras obtenidas durante febrero 2015 correspondientes al Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC.

4.2.7.3.2.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 (*Ardea alba*), durante la primavera del año 2017.
- Analizar las concentraciones de Ácidos grasos, 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 *A. alba*, durante la primavera del año 2017.
- Comparar los datos obtenidos durante noviembre del año 2017, con los obtenidos durante febrero y noviembre del año 2015 y diciembre del año 2016.

4.2.7.3.3. Material y métodos

Para el análisis de elementos y compuestos químicos, se tomaron muestras de hígado y músculo de cuatro especímenes de Garza blanca grande (*Ardea alba*) en diferentes puntos del humedal. La Tabla 4.2.7.3.1 muestra las fechas y sectores de captura de garzas en el HRC y sus ríos tributarios.

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 restos de sedimento 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 gráfito.

Tabla 4.2.7.3.1. Fechas y sectores de captura de especímenes Garza blanca grande (*Ardea alba*) para estudios de concentraciones de elementos y compuestos químicos en sus tejidos corporales. Valores en paréntesis corresponden a número de ejemplares por sector.

sectores de captura	**verano 2015 febrero**	**primavera 2015 noviembre**	**primavera 2016 diciembre**	**primavera 2017 noviembre**
eje central del río Cruces (sector estuarial)				
sector Santa María		10-11-2015 (1)	19-12-2016 (3)	27-11-2017 (1)
sector Santa Clara	19-02-2015 (1)	10-11-2015 (1)		
sector Tres Bocas	21-02-2015 (1)	11-11-2015 (1)		
sector Punucapa	22-02-2015 (2)			
sector Fuerte San Luis			21-12-2016 (1)	22-11-2017 (1)
sector San Pedro				27-11-2017 (1)
ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)				
sector río Pichoy		18-11-2015 (1)		
sector río San Ramón				22-11-2017 (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 Marschwood Scientific Service en Inglaterra, 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 y 2017 fueron analizadas en el Laboratorio de Oceanografía Química (LOQ) de la Universidad de Concepción.

4.2.7.3.4. Resultados

Metales pesados

Las Tablas 4.2.7.3.2 a 4.2.7.3.10 muestran las concentraciones de Hierro, Aluminio, Manganeso, Cobre, Zinc, Plomo, Cadmio, Arsénico y Mercurio en tejidos musculares y hepáticos de la Garza blanca grande.

En general, las concentraciones de metales pesados fueron más elevadas en tejido hepático que en tejido muscular. Los metales con mayor concentración en estos tejidos fueron el Hierro, Cobre y Zinc (Tablas 4.2.7.3.2, 4.2.7.3.5 y 4.2.7.3.6, respectivamente). Por el contrario, los elementos que presentaron las concentraciones más bajas fueron el Plomo y el Mercurio (Tablas 4.2.7.3.7 y 4.2.7.3.10, respectivamente); mientras que el Aluminio y el Arsénico no han sido detectados hasta ahora (Tablas 4.2.7.3.3 y 4.2.7.3.9, respectivamente). En tejido hepático solo se han registrado concentraciones de Manganeso y Cadmio (Tabla 4.2.7.3.4 y 4.2.7.3.8), y para el caso paticular de este último elemento solo durante el verano del año 2015 (Tabla 4.2.7.3.8).

Las Figuras 4.2.7.3.1 y 4.2.7.3.2 muestran la variabilidad interanual en las concentraciones de metales pesados en tejido muscular y hepático de la Garza blanca grande, respectivamente.

En general, no se detectaron tendencias interanuales ($p>0,05$), al comparar las concentraciones de Hierro, Cobre, Plomo y Mercurio en los tejidos musculares examinados (Fig. 4.2.7.3.1); esto aun cuando análisis de ANDEVA detectaron diferencias significativas ($p<0,05$) entre períodos (Tabla 4.2.7.3.11). Por el contrario, las concentraciones de Zinc si mostraron una tendencia definida, ya que los valores

promedios fueron significativamente más bajos ($p<0,05$), durante los años 2016 y 2017 (Fig. 4.2.7.3.1 y Tabla 4.2.7.3.11).

Para las concentraciones de metales pesados en los tejidos hepáticos de *A. alba*, no se detectaron tendencias interanuales ($p>0,05$), con excepción de las concentraciones de Cobre durante la primavera del año 2016 que fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que durante los períodos anteriores y las de Mercurio que fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante la primavera de los años 2015 y 2016 (Fig. 4.2.7.3.2 y Tabla 4.2.7.3.11).

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 4.2.7.3.2. Concentraciones de Hierro en tejidos musculares y hepáticos de la Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera) y 2017 (primavera). 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**
verano 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 (53,1)**	**1481,2 (692,3)**
primavera 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)
	Pichoy (río tributario del HRC)	252,5 (1,7)	968,9 (11,4)
	promedio	**239,6 (24,6)**	**1285,0 (630,6)**
primavera 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)	*
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	249,7 (14,3)	*
	promedio	**230,0 (64,6)**	**1160,5 (385,1)**
primavera 2017	San Ramón (río tributario del HRC)	209,3 (15,2)	*
	Fuerte 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 (14,6)**	

Tabla 4.2.7.3.3. Concentraciones de Aluminio en tejidos musculares y hepáticos de la Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera) y 2017 (primavera). 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
verano 2015	Punucapa (eje central del HRC)	**0,3**	**0,3**
	Tres Bocas (eje central del HRC)	**0,3**	**0,3**
	Santa Clara (eje central del HRC)	**0,3**	**0,3**
	Punucapa (eje central del HRC)	**0,3**	**0,3**
primavera 2015	Santa Clara (eje central del HRC)	**0,3**	**0,3**
	Santa María (eje central del HRC)	**0,3**	**0,3**
	Tres Bocas (eje central del HRC)	**0,3**	**0,3**
	Pichoy (río tributario del HRC)	**0,3**	**0,3**
primavera 2016	Santa María (eje central del HRC)	**0,3**	**0,3**
	Santa María (eje central del HRC)	**0,3**	**0,3**
	Santa María (eje central del HRC)	**0,3**	**0,3**
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	**0,3**	**0,3**
primavera 2017	San Ramón (río tributario del HRC)	**0,3**	*
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	**0,3**	*
	San Pedro (eje central del HRC)	**0,3**	*
	Santa María (eje central del HRC)	**0,3**	*

Tabla 4.2.7.3.4. Concentraciones de Manganeso en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera) y 2017 (primavera). Los valores en negrilla indicados para los tejidos musculares, 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**
verano 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)**
primavera 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)**
primavera 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)**
primavera 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**	*

Tabla 4.2.7.3.5. Concentraciones de Cobre en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera) y 2017 (primavera). 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
verano 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)**
primavera 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)**
primavera 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)**
primavera 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)**	

Tabla 4.2.7.3.6. Concentraciones de Zinc en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera) y 2017 (primavera). 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
verano 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)**
primavera 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)**
primavera 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)**
primavera 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)**	

Tabla 4.2.7.3.7. Concentraciones de Plomo en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera) y 2017 (primavera). Los valores en paréntesis son desviaciones estándar (dos lecturas para cada garza). ***** = 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)**	

Tabla 4.2.7.3.8. Concentraciones de Cadmio en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera) y 2017 (primavera). Los valores en negrilla corresponden al límite de detección 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**
verano 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)**
primavera 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		
primavera 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		
primavera 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		

Tabla 4.2.7.3.9. Concentraciones de Arsénico en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera) y 2017 (primavera). Los valores en negrilla corresponden al límite de detección del método utilizado. ***** = cantidad de muestra insuficiente para lectura de concentraciones de Arsénico.

campaña	sectores de captura	Arsénico (µg g-1)	
		músculo	hígado
verano 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**
primavera 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**
primavera 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**
primavera 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**	*****

Tabla 4.2.7.3.10. Concentraciones de Mercurio en tejidos musculares y hepáticos de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera) y 2017 (primavera). 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**
verano 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)**	**1,2 (0,7)**
primavera 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)**
primavera 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 (0,0)**
primavera 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)**	

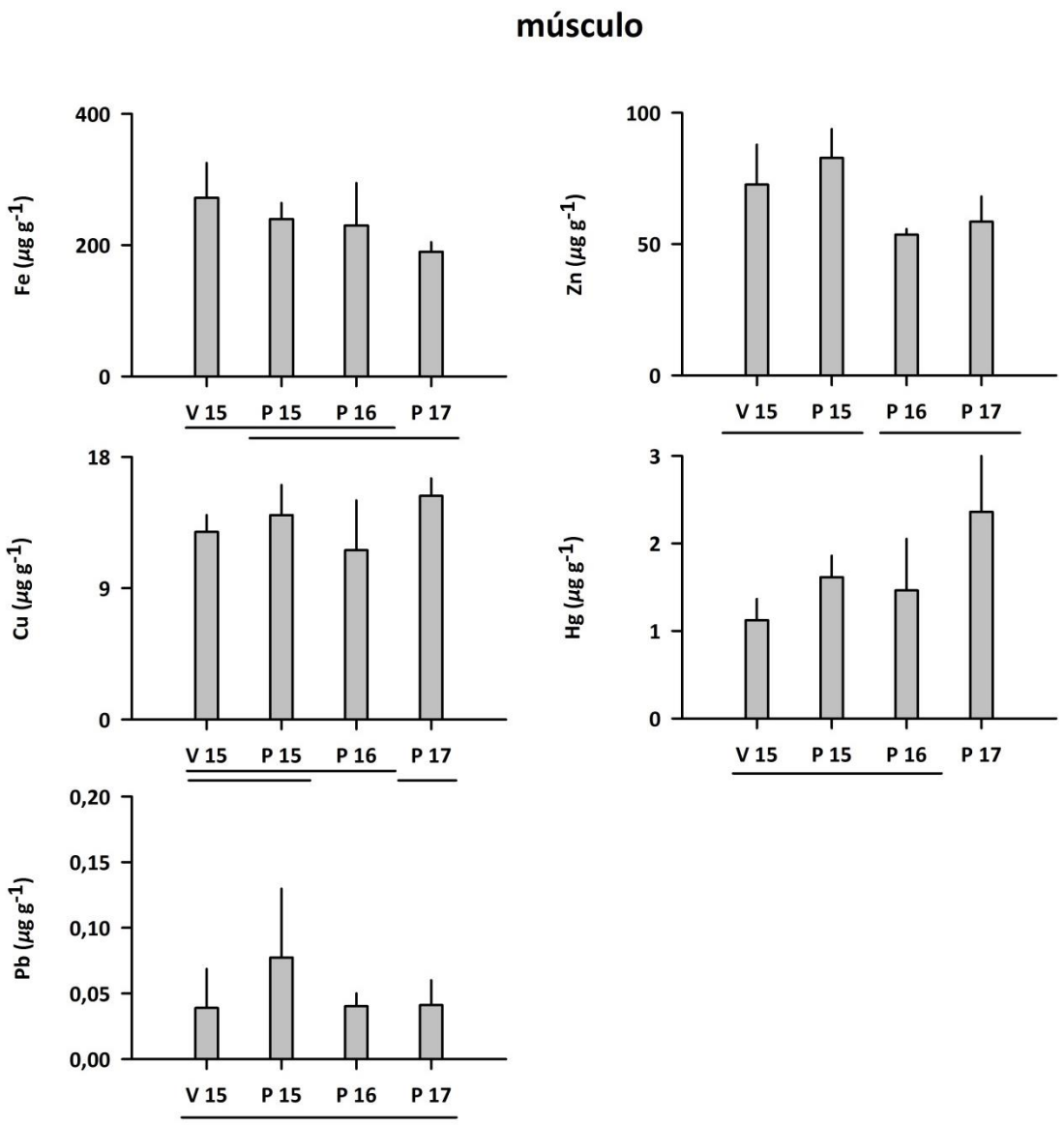


Figura 4.2.7.3.1. Concentraciones de metales pesados en tejidos musculares de *Ardea alba*, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P15, respectivamente), 2016 (primavera; P16) y 2017 (primavera; P17). Los valores son promedios con una desviación estándar. La barra horizontal inferior indica que no existen diferencias significativas (p>0,05) entre períodos.

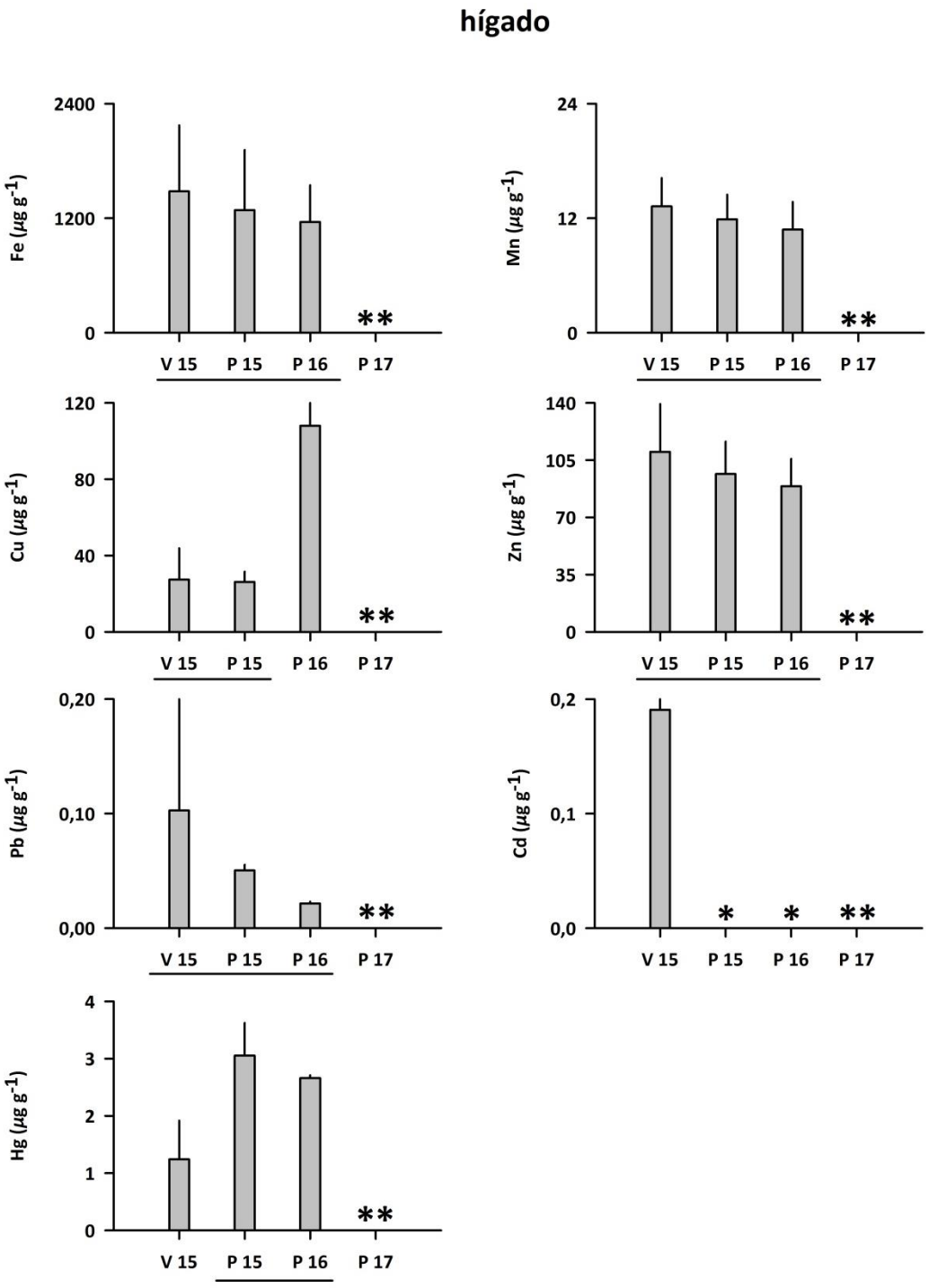


Figura 4.2.7.3.2. Concentraciones de metales pesados en tejidos hepáticos de *Ardea alba*, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P15, respectivamente), 2016 (primavera; P16) y 2017 (primavera; P17). Los valores son promedios con una desviación estándar. ***** = bajo el límite de detección del método utilizado. ** = cantidad de muestra insuficiente para lectura de concentraciones de metales pesados. La barra horizontal inferior indica que no existen diferencias significativas (p>0,05) entre períodos.

Tabla 4.2.7.3.11. Valores de F (ANDEVA) y p resultantes de análisis destinados a evaluar eventuales diferencias significativas en las concentraciones de metales pesados en tejidos musculares y hepáticos de la Garza blanca grande y entre campañas (verano 2015, primavera 2015, primavera 2016 y primavera 2017). Los valores de p en negrilla son significativos (<0,05) para cada prueba. * = cumple al menos una prueba de normalidad; ** = no cumple las pruebas de normalidad ni homocedasticidad; ND= no detectado.

metales pesados	músculo	hígado
Hierro (**)	F=3,24; p**=0,039**	F= 0,12; p= 0,883
Manganeso (**)	ND	F= 0,64; p= 0,542
Cobre (*)	F=4,02; p**=0,018**	F= 6,75; p**= 0,012**
Zinc (**)	F=14,9; p**<0,001**	F= 0,78; p= 0,482
Plomo (**)	F=2,33; p=0,099	F= 1,01; p= 0,394
Mercurio (*)	F=9,73; p**<0,001**	F= 14,52; **p<0,001**

Ácidos grasos

La Tabla 4.2.7.3.12 muestra las concentraciones de Ácidos grasos en tejidos musculares y hepáticos de *A. alba*. En general no se detectaron tendencias interanuales en en tejido muscular; aun cuando los análisis de ANDEVA si muestran diferencias significativas entre períodos (p<0,05) (Fig. 4.2.7.3.3). Las concentraciones de Ácidos grasos en el hígado de las garzas capturadas durante la primavera del año 2015, fueron significativamente más altas (p<0,05) que las concentraciones medidas durante el verano de ese año y la primavera del año 2016 (Fig. 4.2.7.3.3). 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.

Ácidos resínicos

La Tabla 4.2.7.3.13 muestra que en todos los períodos de muestreo, no se detectaron Ácidos resínicos mediante la técnica utilizada (ver Material y métodos).

Tabla 4.2.7.3.12. Concentraciones de Ácidos grasos en tejidos musculares y hepáticos de la Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera) y 2017 (primavera). 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
verano 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)**
primavera 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)**
primavera 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)**
primavera 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)**	

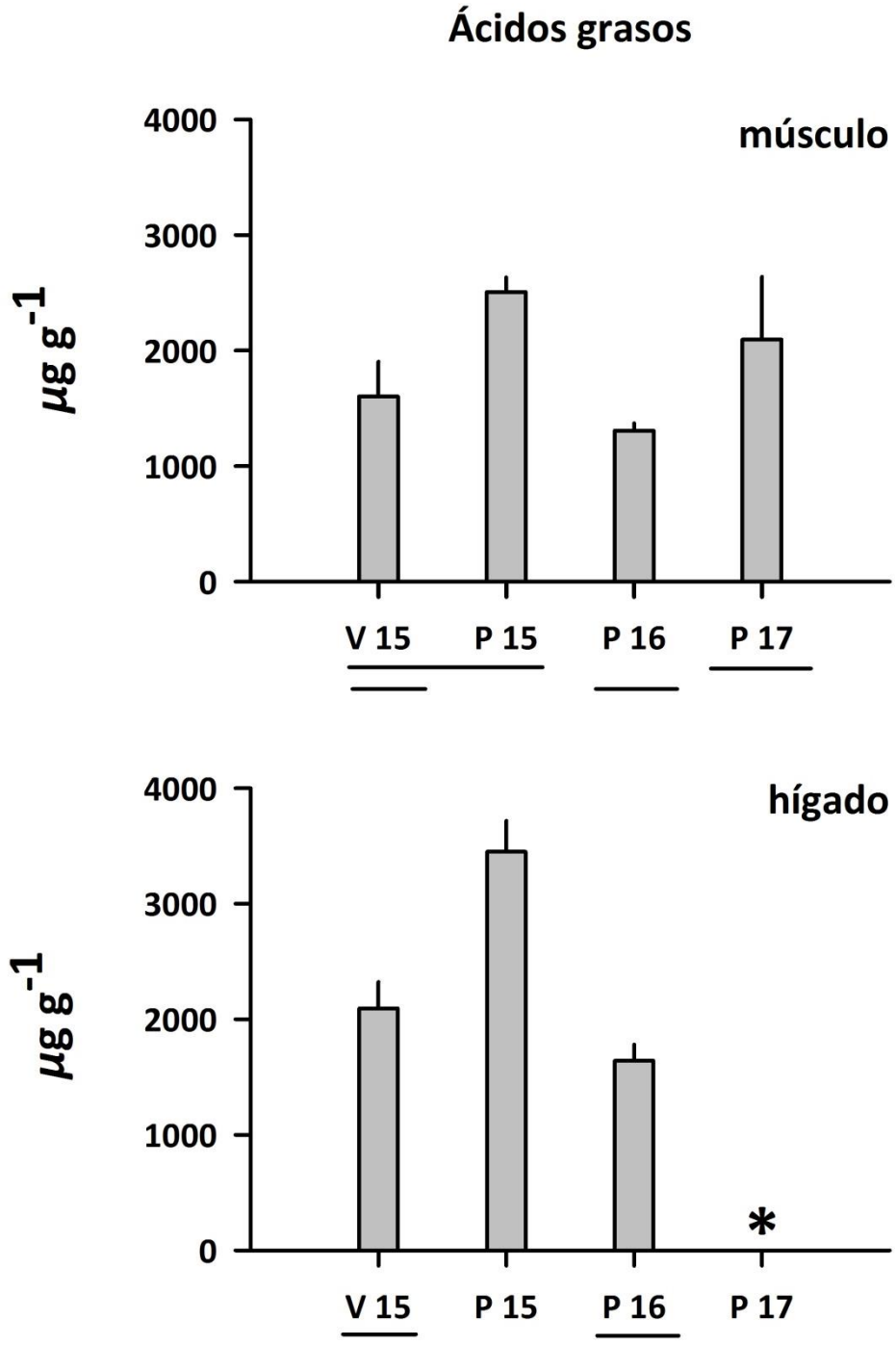


Figura 4.2.7.3.3. Concentraciones de Ácidos grasos en tejidos musculares y hepáticos de la Garza blanca grande recolectados durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P15, respectivamente), 2016 (primavera; P16) y 2017 (primavera; P17). Los valores son promedios con una desviación estándar. La barra horizontal inferior indica que no existen diferencias significativas ($p>0,05$) entre períodos. * = cantidad de muestra insuficiente para lectura de concentraciones de Ácidos grasos. Resultados de ANDEVA para tejidos musculares: $F = 21,47$, $p <0,001$; para tejidos hepáticos: $F = 51,6$, $p <0,001$.

Tabla 4.2.7.3.13. Resultados de los análisis tendientes a evaluar concentraciones de Ácidos resínicos en tejidos musculares y hepáticos de la Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera) y 2017 (primavera). 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
verano 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**
primavera 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**	*
primavera 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**
primavera 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**	*

AOX

La Tabla 4.2.7.3.14 muestra que las concentraciones de AOX medidas en tejido hepático fueron mayores a las medidas en tejido muscular de la Garza blanca grande. Durante la primavera del año 2015, las concentraciones de AOX en tejido hepático fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que durante los otros períodos (Fig. 4.2.7.3.4).

Tabla 4.2.7.3.14. Concentraciones de AOX en tejidos musculares y hepáticos de la Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera) y 2017 (primavera). 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
verano 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)**
primavera 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	**10,2 (5,5)**	**38,1 (9,8)**
primavera 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)**
primavera 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	**10,5 (2,7)**	

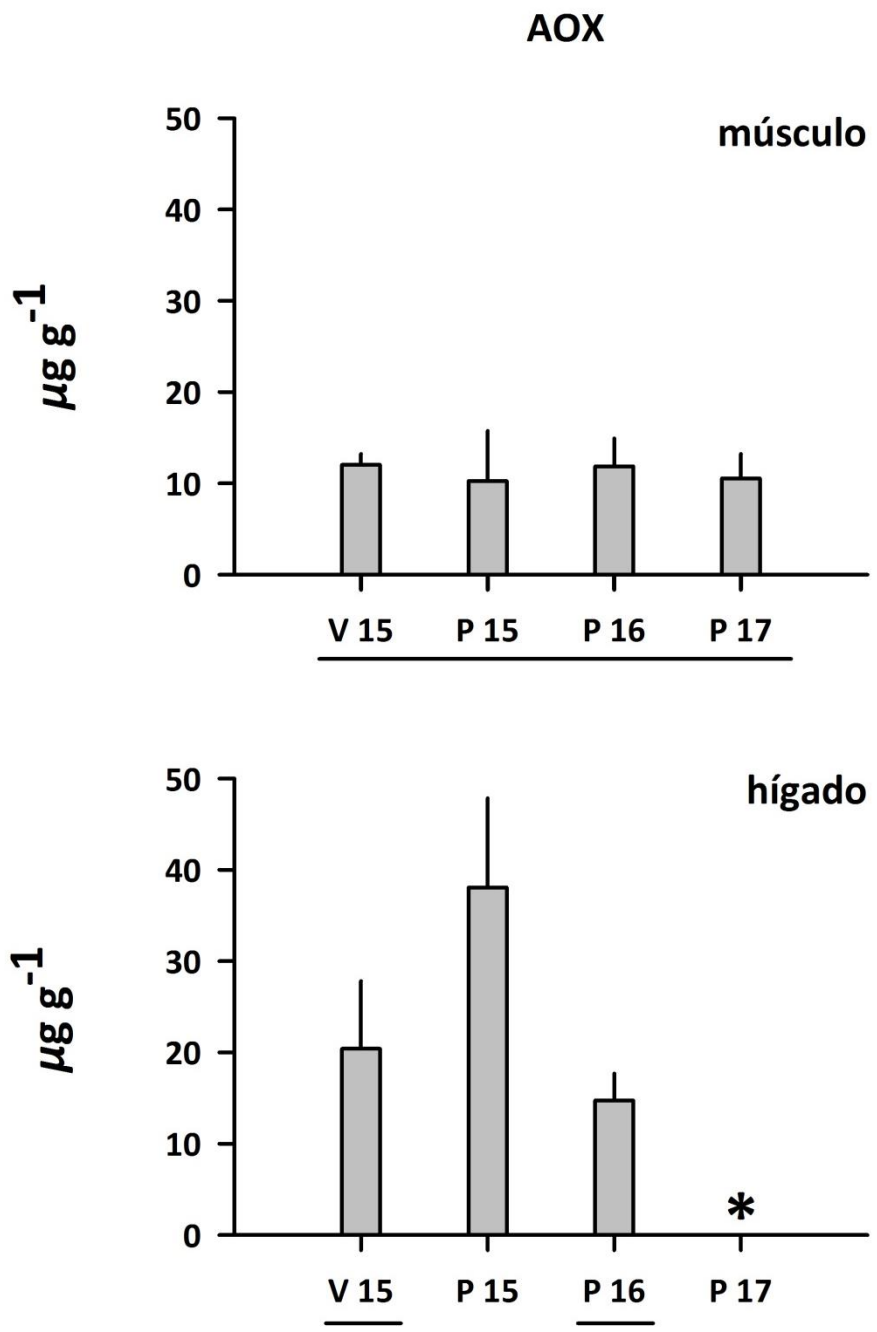


Figura 4.2.7.3.4. Concentraciones de AOX en tejidos musculares y hepáticos de la Garza blanca grande recolectadas durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P15, respectivamente), 2016 (primavera; P16) y 2017 (primavera; P17). Los valores son promedios con una desviación estándar. La barra horizontal inferior indica que no existen diferencias significativas ($p>0,05$) entre períodos. ***** = cantidad de muestra insuficiente para lectura de concentraciones de AOX. Resultados de ANDEVA para tejidos musculares: $F = 1,27$, $p = 0,30$; para tejidos hepáticos: $F = 9,18$, $p = 0,005$.

Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos

Las Tablas 4.2.7.3.15 y 4.2.7.3.16 muestran las concentraciones de Dioxinas, Furanos y ETQs en tejidos musculares y hepáticos, respectivamente.

En general, las concentraciones de Dioxinas, Furanos y ETQs en tejidos musculares de *A. alba* no muestran tendencias interanuales definidas, aun cuando si se detectaron diferencias significativas ($p<0,05$) entre las concentraciones de Dioxinas en los diferentes períodos (Fig. 4.2.7.3.5). En los tejidos musculares de las garzas se observó una tendencia a la disminución temporal de Furanos y a un aumento temporal en los ETQs (Fig. 4.2.7.3.5).

Las concentraciones de Dioxinas, Furanos y ETQs medidas en tejidos hepáticos de *A. alba* fueron más altas durante la primavera del año 2017 en comparación con la primavera del año 2016 (Fig. 4.2.7.3.5). Esto aun cuando los análisis de ANDEVA no detectaron diferencias significativas entre períodos ($p>0,05$) (Fig. 4.2.7.3.5).

Tabla 4.2.7.3.15. Concentraciones de Dioxinas, Furanos y ETQs en tejidos musculares de Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera) y 2017 (primavera). 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)	ETQs (ng g-1)
verano 2015	Punucapa (eje central del HRC)	0,00155 (0,00007)	0,0011 (0,00028)	0,00081 (0,00011)
	Tres Bocas (eje central del HRC)	0,00505 (0,00078)	0,0046 (0,00057)	0,00199 (0,00034)
	Santa Clara (eje central del HRC)	0,00275 (0,00007)	0,00235 (0,00035)	0,00144 (0,00004)
	Punucapa (eje central del HRC)	0,00060 (0,00014)	0,00105 (0,00007)	0,00041 (0,00001)
	promedio	**0,00249 (0,00192)**	**0,00228 (0,00166)**	**0,00116 (0,00070)**
primavera 2015	Santa Clara (eje central del HRC)	0,00950 (0,00127)	0,00085 (0,00049)	0,00112 (0,00080)
	Santa María (eje central del HRC)	0,01280 (0,01485)	0,00145 (0,00035)	0,00074 (0,00094)
	Tres Bocas (eje central del HRC)	0,00190 (0,00071)	0,00155 (0,00092)	0,00062 (0,00033)
	Pichoy (río tributario del HRC)	0,02085 (0,00559)	0,0024 (0,00014)	0,00268 (0,00030)
	promedio	**0,01126 (0,00785)**	**0,00156 (0,00064)**	**0,00129 (0,00095)**

campaña	sectores de captura	Dioxinas (ng g-1)	Furanos (ng g-1)	ETQs (ng g-1)
primavera 2016	Santa María (eje central del HRC)	0,00407 (0,00046)	0,00229 (0,00064)	0,00213 (0,00024)
	Santa María (eje central del HRC)	0,00207 (*)	0,00127 (*)	0,00036 (*)
	Santa María (eje central del HRC)	0,00193 (*)	0,00133 (*)	0,00109 (*)
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	0,00474 (0,00005)	0,00165 (0,00082)	0,00169 (0,00010)
	promedio	**0,00320 (0,00142)**	**0,00163 (0,00047)**	**0,00132 (0,00077)**
primavera 2017	San Ramón (río tributario del HRC)	0,00416 (0,00012)	0,00252 (0,00007)	0,00332 (0,00017)
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	0,00431 (0,00098)	0,00128 (0,00087)	0,00282 (0,00001)
	San Pedro (eje central del HRC)	0,01635 (0,00071)	0,00142 (0,00039)	0,00343 (0,00019)
	Santa María (eje central del HRC)	0,00320 (0,00060)	0,00062 (0,00005)	0,00085 (0,00005)
	promedio	**0,00700 (0,00625)**	**0,00146 (0,00079)**	**0,00261 (0,00120)**

Tabla 4.2.7.3.16. Concentraciones de Dioxinas, Furanos y ETQs en tejidos hepáticos de Garza blanca grande, recolectados durante la primavera de los años 2016 y 2017. No fue posible realizar análisis similares durante el verano y primavera del año 2015, 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)	ETQs (ng g-1)
primavera 2016	Santa María (2)	0,00584 (*)	0,00140 (*)	0,00135 (*)
	Santa María (1) y Fuerte San Luis (1)	0,00557 (*)	0,00195 (*)	0,00183 (*)
	promedio	**0,00571 (0,00019)**	**0,00167 (0,00039)**	**0,00159 (0,00034)**
primavera 2017	San Ramón (1) y Santa María (1)	0,03616 (*)	0,00461 (*)	0,00683 (*)
	Fuerte San Luís (1) y San Pedro (1)	0,00694 (*)	0,00230 (*)	0,00236 (*)
	promedio	**0,02155 (0,02066)**	**0,00345 (0,00163)**	**0,00460 (0,00316)**

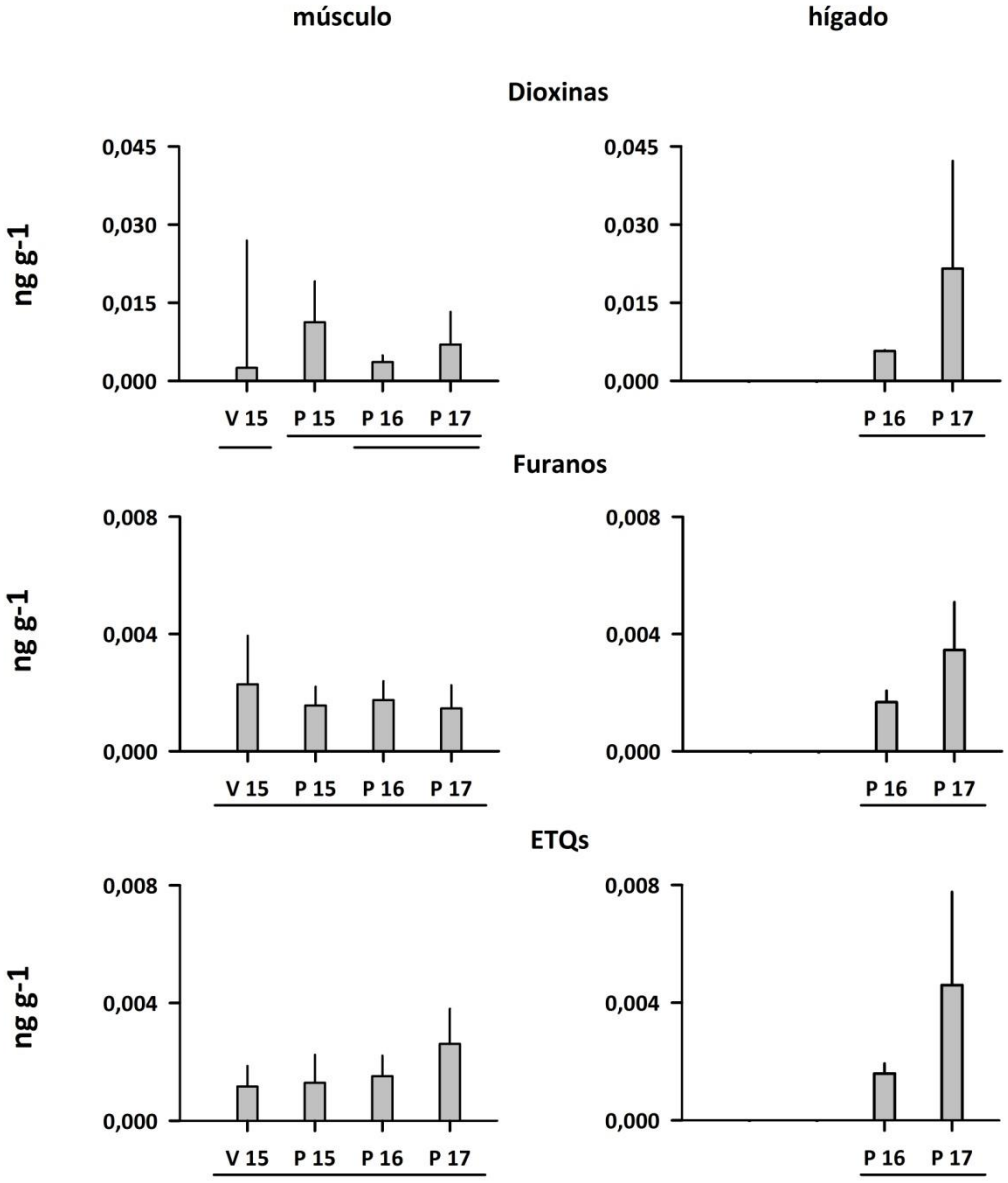


Figura 4.2.7.3.5. Concentración de Dioxinas, Furanos y ETQs en tejidos musculares y hepáticos de *Ardea alba* recolectados durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P15, respectivamente), 2016 (primavera; P16), 2017 (primavera; P17). Los valores son promedios con una desviación estándar. Las barras horizontales indican campañas que no difieren significativamente entre sí (p>0,05). Resultados de ANDEVA para tejidos musculares: Dioxina (F=3,88; p=0,020), Furano (F=0,76; p=0,52) y ETQs (F=4,21; p=0,015); para tejidos hepáticos: Dioxina (F=1,53; p=0,34), Furano (F=3,10; p=0,22) y ETQs (F=2,87; p=0,23).

Las Tablas 4.2.7.3.17 y 4.2.7.3.18 muestran las concentraciones de las Dioxinas 2,3,7,8-TCDD y 1,2,3,7,8-PCDD en tejidos musculares y hepáticos de *A. alba*, respectivamente.

La Figura 4.2.7.3.6 muestra que no se detectó una tendencia interanual en las concentraciones de estas Dioxinas. Los análisis de ANDEVA indican que las concentraciones de las mismas no difirieron significativamente ($p>0,05$) entre los períodos de muestreo (Fig. 4.2.7.3.6). Esto con excepción de la Dioxina 2,3,7,8-TCDD medida en tejido muscular de garzas durante la primavera del año 2017; tales concentraciones fueron significativamente más altas que las medidas en el verano y primavera del año 2015 (Fig. 4.2.7.3.6).

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-PCDD fueron más altas en tejidos hepáticos que en tejido muscular (Tablas 4.2.7.3.17 y Fig. 4.2.7.3.6).

Tabla 4.2.7.3.17. Concentraciones de las Dioxinas 2,3,7,8-TCDD y 1,2,3,7,8-PCDD en tejidos de músculo de especímenes de la Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera), 2016 (primavera) y 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)
verano 2015	Punucapa (eje central del HRC)	0,00015 (0,00007)	0,00055 (0,00007)
	Tres Bocas (eje central del HRC)	0,00050 (0,00028)	0,00105 (0,00007)
	Santa Clara (eje central del HRC)	0,00040 (0,00000)	0,00080 (0,00000)
	Punucapa (eje central del HRC)	0,00015 (0,00007)	0,00015 (0,00007)
	promedio	**0,00030 (0,00018)**	**0,00064 (0,00038)**
primavera 2015	Santa Clara (eje central del HRC)	0,00040 (0,00000)	0,00050 (0,00070)
	Santa María (eje central del HRC)	0,00020 (0,00028)	0,00040 (0,00056)
	Tres Bocas (eje central del HRC)	0,00020 (0,00028)	0,00020 (0,00028)
	Pichoy (río tributario del HRC)	0,00075 (0,00007)	0,00145 (0,00021)
	promedio	**0,00039 (0,00026)**	**0,00064 (0,00056)**
primavera 2016	Santa María (eje central del HRC)	0,00078 (0,00001)	0,00096 (0,00021)
	Santa María (eje central del HRC)	0,00005 (*)	0,00018 (*)
	Santa María (eje central del HRC)	0,00009 (*)	0,00077 (*)
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	0,00050 (0,00002)	0,00086 (0,00001)
	promedio	**0,00036 (0,00035)**	**0,00069 (0,00035)**
primavera 2017	San Ramón (río tributario del HRC)	0,00123 (0,00004)	0,00146 (0,00090)
	Fuerte San Luis (eje central del HRC)	0,00114 (0,00008)	0,00133 (0,00017)
	San Pedro (eje central del HRC)	0,00084 (0,00005)	0,00163 (0,00019)
	Santa María (eje central del HRC)	0,00023 (0,00001)	0,00045 (0,00003)
	promedio	**0,00086 (0,00045)**	**0,00122 (0,00053)**

Tabla 4.2.7.3.18. Concentraciones de las Dioxinas 2,3,7,8-TCDD y 1,2,3,7,8-PCDD en tejidos de hígado de especímenes de Garza blanca grande, recolectados durante la primavera de los años 2016 y 2017. Los valores en paréntesis son desviaciones estándar. * = una lectura solamente.

campaña	**sectores de captura**	**2,3,7,8-TCDD (ng g-1)**	**1,2,3,7,8-PCDD (ng g-1)**
primavera 2016	Santa María (2)	0,00031	0,00073
	Santa María (1) y Fuerte San Luis (1)	0,00048	0,00088
	promedio	**0,00040 (0,00012)**	**0,00081 (0,00011)**
primavera 2017	San Ramón (1) y Santa María (1)	0,00153	0,00300
	Fuerte San Luís (1) y San Pedro (1)	0,00064	0,00109
	promedio	**0,00109 (0,00063)**	**0,00205 (0,00135)**

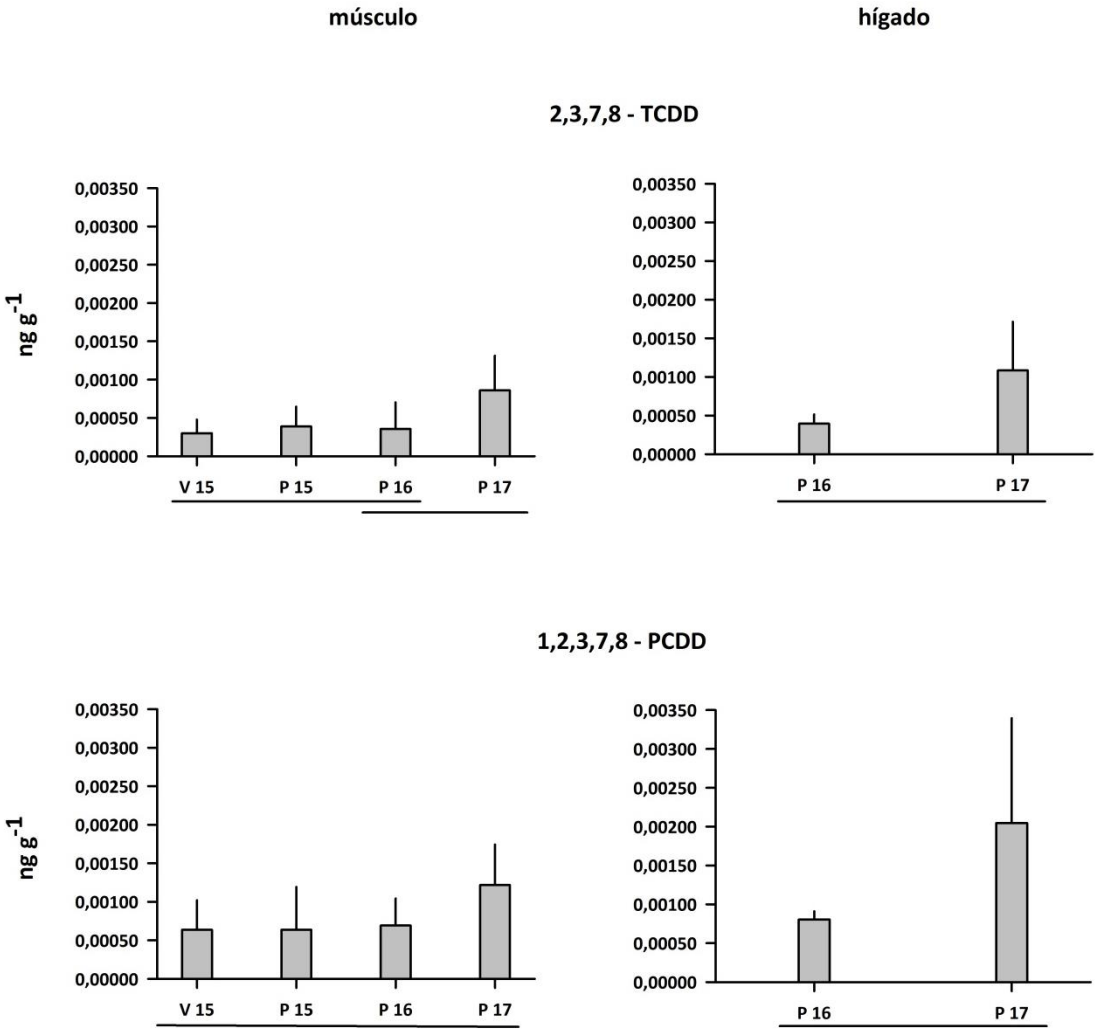


Figura 4.2.7.3.6. Concentraciones de las Dioxinas 2,3,7,8-TCDD y 1,2,3,7,8-PCDD en tejidos musculares y hepáticos de la Garza blanca grande, recolectados durante los años 2015 (verano y primavera; V15 y P16, respectivamente), 2016 (primavera; P16) y 2017 (primavera; P17). Los valores son promedios con una desviación estándar. Las barras horizontales indican campañas que no difieren significativamente entre sí (p>0,05). Resultados de ANDEVA para tejidos musculares: 2,3,7,8-TCDD (F=5,11; p=0,006) y 1,2,3,7,8-PCDD (F=2,45; p=0,08); para tejidos hepáticos: 2,3,7,8-TCDD (F=3,75; p=0,19) y 1,2,3,7,8-PCDD (F=2,54; p=0,25).

4.2.7.3.5. 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, a la vez que solo se han registrado concentraciones de Manganeso y Cadmio en tejido hepático.
- En general, no se han detectado tendencias interanuales ($p>0,05$), al comparar las concentraciones de Hierro, Cobre, Plomo y Mercurio en los tejidos musculares examinados. Por el contrario, las concentraciones de Zinc si mostraron una tendencia definida, ya que los valores promedios fueron significativamente más bajos ($p<0,05$), durante los años 2016 y 2017.
- Para las concentraciones de metales pesados en los tejidos hepáticos de *A. alba*, no se detectaron tendencias interanuales ($p>0,05$), con excepción de las concentraciones de Cobre durante la primavera del año 2016 que fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que durante los períodos anteriores y las de Mercurio que fueron significativamente más altas ($p<0,05$) durante la primavera de los años 2015 y 2016
- Hasta ahora no se han detectado Ácidos resínicos en este Programa de Monitoreo.
- Las concentraciones de AOX medidas en tejido hepático fueron mayores a las medidas en tejido muscular de la Garza blanca grande. Durante la primavera del año 2015, las concentraciones de AOX en tejido hepático fueron significativamente más altas ($p<0,05$) que durante los otros períodos.
- En general, las concentraciones de Dioxinas, Furanos y ETQs en tejidos musculares de *A. alba* no muestran tendencias interanuales definidas, aun cuando si se detectaron diferencias significativas ($p<0,05$) entre las concentraciones de Dioxinas en los diferentes períodos. Las concentraciones de Dioxinas, Furanos y ETQs medidas en tejidos hepáticos de *A. alba* fueron más altas durante la primavera del

año 2017 en comparación con la primavera del año 2016, aun cuando no se detectaron diferencias significativas entre períodos ($p>0,05$).

- Durante el año 2017 se detectó nuevamente la presencia de las Dioxinas 2,3,7,8-TCDD y 1,2,3,7,8-PCDD en tejidos musculares y hepáticos de A. alba y en mayores concentraciones que durante años anteriores. Sin embargo, en general esas mayores concentraciones no difirieron significativamente de las estudiadas con anterioridad.

4.2.8. MAMÍFEROS ACUÁTICOS

4.2.8.1. Antecedentes

La presencia o ausencia de mamíferos acuáticos en humedales, ha sido utilizada para describir el estado de salud ambiental de estos ecosistemas acuáticos; es decir, estos vertebrados pueden ser utilizados como bioindicadores de calidad ambiental, como es el caso del Huillín en las riberas del humedal del río Cruces (Oporto, 2006-2009). Por otra parte, mamíferos 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 tercer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2017 - marzo 2018). También se comparan estos resultados con los resultados obtenidos durante el primer (abril 2015 – marzo 2016) y segundo (abril 2016 – marzo 2017) año del Monitoreo Ambiental del HRC y el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC 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 tercer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 2017 - marzo 2018).
- Comparar los resultados obtenidos durante el tercer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, con aquellos resultantes del primer y segundo año de este programa (abril 2015 - marzo 2016 y abril 2016 - marzo 2017, respectivamente) y los del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (abril 2014 - marzo 2015).

4.2.8.3. Material y métodos

La Tabla 4.2.8.1 muestra las fechas en la cual se realizaron las salidas a terreno para el avistamiento 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 el avistamiento de coipos, huillines y visones durante el desarrollo del programa de Monitoreo (primer, segundo y tercer año) y Diagnóstico Ambiental del HRC.

Programa	período	fechas para salidas de avistamientos
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 4.2.8.1 muestra los sectores 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.

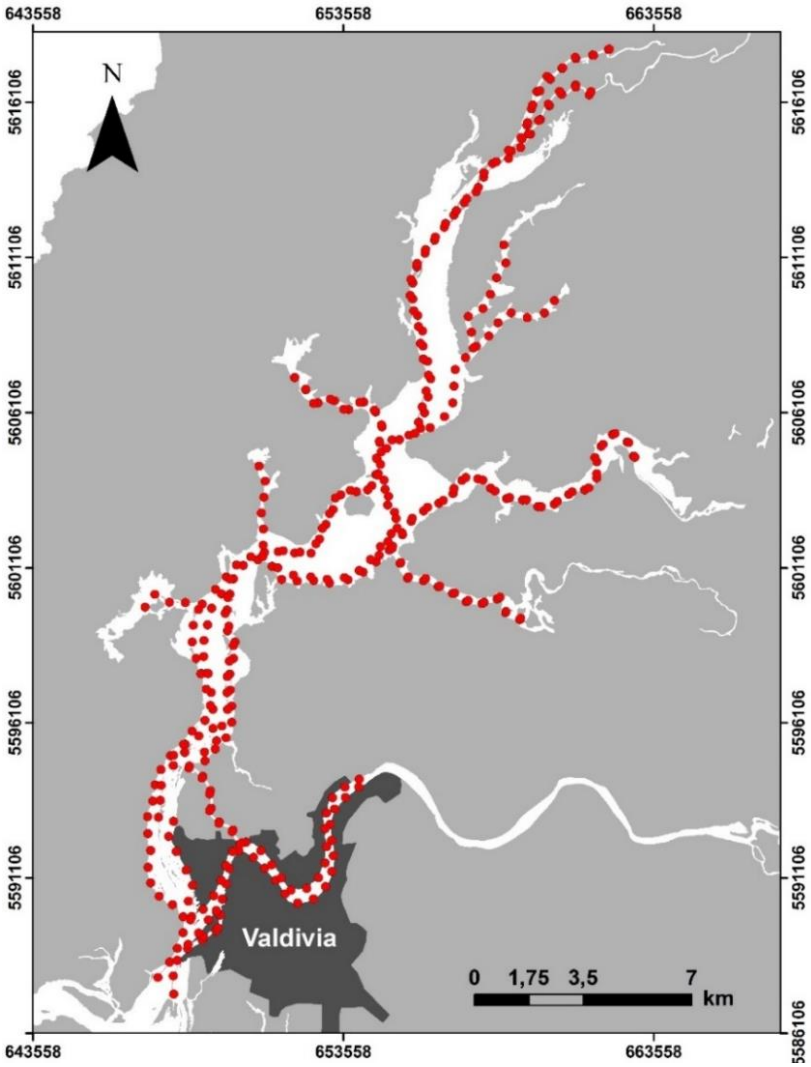


Figura 4.2.8.1. Esquema con líneas punteadas en rojo señalando el recorrido de navegación seguido para el eventual avistamiento de coipos, huillines y visones en el HRC.

En complemento a las campañas destinadas específicamente al 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 avistamientos del área de estudio.

4.2.8.4. Resultados

La Tabla 4.2.8.2 y Figura 4.2.8.2, muestran 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 del HRC y del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (ver también Tabla 1 del ANEXO 1).

Los avistamientos realizados durante las cuatro campañas del tercer año del Programa de Monitoreo (mayo, julio y octubre del año 2017 y febrero del año 2018), sólo detectaron la presencia de coipos y visones en el área de estudio, presentándose dos de las tres especies objeto de estudio (Fig. 4.2.8.2).

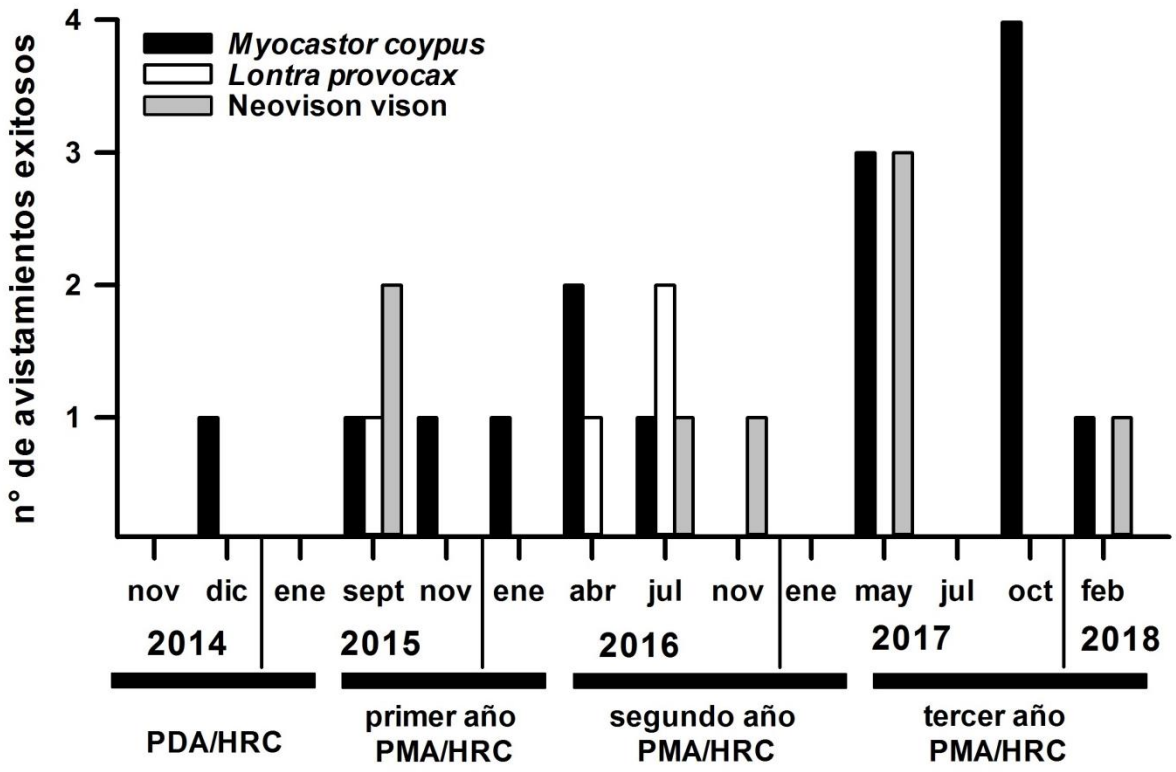


Figura 4.2.8.2. Número de avistamientos de Coipo (*Myocastor coypus*), Huillín (*Lontra provocax*) y Visón (*Neovison vison*), realizados durante los recorridos planificados como parte de las actividades de los tres años del Programa de Monitoreo (PMA/HRC) y del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (PDA/HRC).

Durante el año 2017, el mes de mayo fue el mes con mayor número de avistamientos exitosos y presencia simultánea de coipos y huillines. Durante el mes de julio, no se realizaron avistamientos exitosos en el área de estudio; sin embargo durante el recorrido realizado durante el mes de octubre del año 2017 se avistaron cuatro coipos (*i.e.* , presentándose el mes con el mayor número de avistamientos durante los tres años del programa de Monitoreo (Figura 4.1.8.2). Los avistamientos exitosos de mamíferos acuáticos durante el tercer año del Programa de Monitoreo ocurrieron aguas arriba del sector Punucapa (Figura 4.2.8.3a).

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 (Figura 4.2.8.2 ; Figura 4.2.8.3b), siendo julio el mes con mayor número de avistamiento 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 Cruces desde el río San Ramón (Figura 4.1.8.3b).

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. 4.1.8.2). 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 4.2.8.3c)

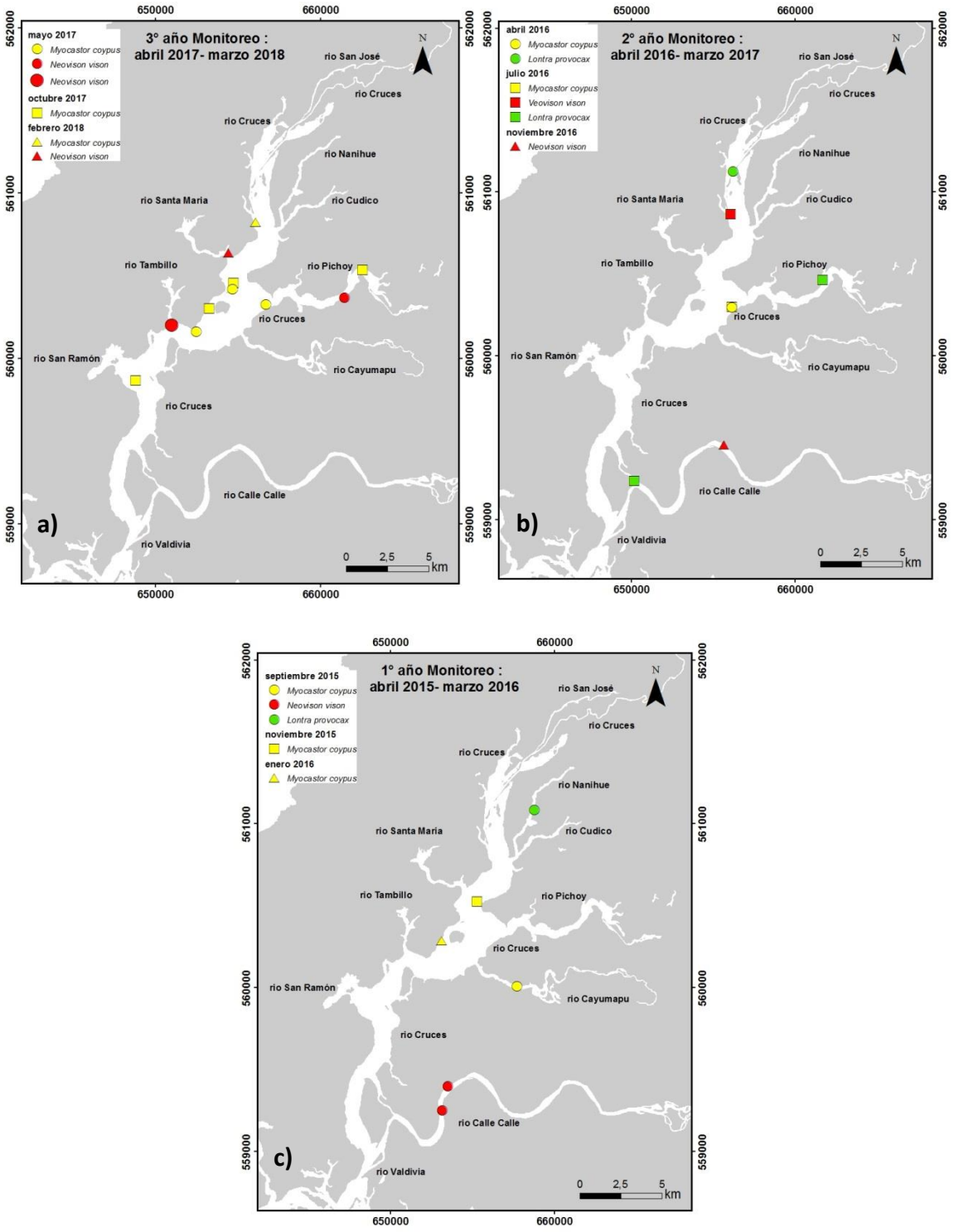


Figura 4.2.8.3. Cartografía de los registros de avistamientos de Coipo (*Myocastor coypus*), Huillín (*Lontra provocax*) y Visón (*Neovison vison*), de acuerdo a los tres años del Programa de Monitoreo Ambiental de HRC.

4.2.8.5. Conclusiones

- La mayor parte de los avistamientos exitosos de coipos y huillines ha sido en la parte media y superior del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios; i.e., aguas arriba del sector Punucapa (Fig. 4.2.8.4).
- En contraste a lo anterior, los avistamientos exitosos de visones han ocurrido más allá del área del humedal *(i.e.* hasta el río Calle – Calle.
- 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.

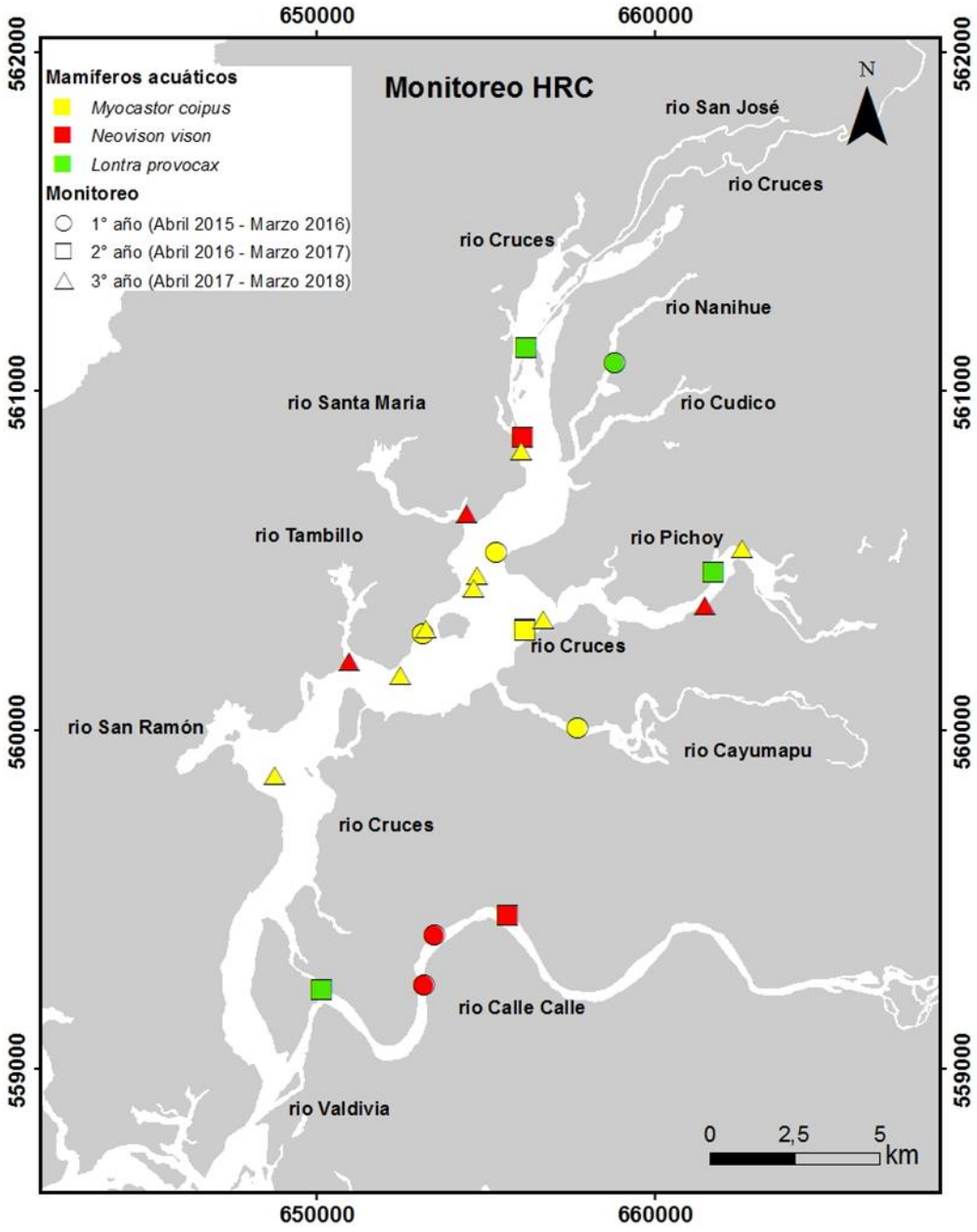


Figura 4.2.8.4. Cartografía de avistamientos de Coipo (*Myocastor coypus*), Huillín (*Lontra provocax*) y Visón (*Neovison vison*), realizados durante todos los recorridos planificados como parte de las actividades de los tres años del Programa de Monitoreo (PMA / HRC).

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
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, aguas arriba de la confluencia de este con río Cudico
	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 Copio (*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 del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (abril 2014 – marzo 2015) y los tres años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril 20015 – marzo 2016 , abril 2016 – marzo 2017 y abril 2017 – marzo 2018).

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	2/05/2017	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	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- Riolejo	15/12/2017	654074	5603618	X			un individuo en balsa riolejo
sector San Martín	1/01/2018	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	01/04/16	649436	5600438			X	fecas frescas

península de San Ramón							
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	21/07/16	650149	5592393		**X**		un individuo en el agua
canal mareal Cau Cau, interior marina	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	09/11/16	655754	5609785		**X**		un individuo en el agua

Martin							
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	29/12/16	650113	5592413			**X**	un individuo en el agua
entre desembocaduras río 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 de San Ramón	22/04/15	649516	5600512			**X**	fecas frescas
río Cruces, sector Punucapa (baliza)	13/05/15	649068	5597518		**X**		un individuo en el agua
río Cayumapu, sector interior.	13/05/15	658010	5599957	**X**			un individuo en el agua
río Cruces, sector San Martín	29/09/15	656084	5608684		**X**		un individuo en el agua
río Cayumapu, sector interior	29/09/15	658233	5600086	**X**			un individuo en el agua

río Calle Calle, sector urbano	28/09/15	653161	5592448			**X**	un individuo alimentándose
río Calle Calle, sector urbano	28/09/15	654120	5594318			**X**	un individuo corriendo por la ribera
río Cruces sector Plaza de Armas	19/11/15	655551	5605284	**X**			un individuo en el agua
río Nanihue, sector interior	19/11/15	658460	5610224		**X**		un individuo en el agua
río Tambillo, sector interior	07/01/16	650811	5602606			**X**	un individuo en el agua
río Cruces sector Isla Rialejo	19/01/16	653200	5602981	**X**			un individuo en el agua

Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (abril 2014 – marzo 2015)

sector	**fecha**	**coordenadas**		**especies**			**observaciones**
		X	**Y**	**Coipo**	**Huillín**	**visón**	
río Cruces, sector Ciruelos	07/04/14	687860	5622468		**X**		fecas frescas
río Cruces, San Luis	14/04/14	658770	5614409			**X**	fecas frescas
canal mareal Cau Cau	09/04/14	650214	5592490			**X**	muelle, marina Jesús Brieva
río Cruces/Cau-Cau	09/04/14	647779	5594774		**X**		letrinas en buen estado y frescas
río Pichoy	11/04/14	662677	5605173		**X**		letrinas en buen estado y frescas
río Cruces, sector La Dehesa.	20/04/14	650059	5598753				fecas frescas
río Cruces, sector Punucapa	29/05/14	649098	5596161		**X**		un individuo en el agua
río Cruces, sector Punucapa	15/07/14	648710	5595837		**X**		un individuo en el agua
río Cruces, sector Punucapa	16/09/14	648959	5597732		**X**		un individuo en el agua
río Cruces, sector Punucapa	16/09/14	648973	5597704			**X**	fecas frescas
río Cruces, sector Punucapa	16/09/14	649027	5597548		**X**		fecas frescas y antiguas
río Cruces, sector Rucaco	04/10/14	680173	5620035			**X**	fecas y huellas
río San Ramón	28/10/14	648431	5599994			**X**	fecas frescas
río cruces, sector San Ramón	28/10/14	649415	5600396			**X**	fecas frescas

río Cayumapu	04/11/14	655423	5601330			**X**	fecas frescas
río Cayumapu	05/11/14	659018	5600192	**X**			Individuo capturado en trampa
río Pichoy	13/11/14	659654	5603185			**X**	fecas frescas
Fuerte San Luis	19/11/14	659386	5614643	**X**			comederos y madrigueras
río Cruces, sector Plaza de Armas	19/11/14	656221	5605814	**X**			comederos frescos.
río Cruces, sector Isla Rialejo	19/11/14	654277	5603803	**X**			comederos y madrigueras
río cruces, sector Isla Rialejo	19/11/14	654551	5602891	**X**			comederos frescos
río cruces, sector Isla Rialejo	19/11/14	653565	5602457	**X**			comederos y madrigueras
Río Tambillo	02/12/14	650961	5603343			**X**	fecas frescas
San Martin	10/12/14	655776	5609604		**X**		un individuo en el agua
San Martin	10/12/14	655764	5610122		**X**		un individuo en el agua
sector tres Bocas, río Tambillo	14/12/14	651020	5602212	**X**			un individuo entre totoras

4.3. ANALISIS COMPARATIVOS DE DATOS OBTENIDOS EN PROGRAMAS DE DIAGNOSTICO Y MONITOREO CON ESTUDIOS PREVIOS DE RIESGO ECOLOGICO

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) - dentro de la misma área estudiada - aplicando una aproximación teórica utilizando los valores “end point” ecotoxicológicos de bioensayos agudos realizados con Hierro, Aluminio y Manganeso para especies representativas en el HRC (Encina *et al*., 2009).

En este contexto y con el objetivo de evaluar las condiciones químicas del agua superficial del 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 durante los tres primeros años del Programa de Monitoreo del HRC (abril y julio de los años 2015, 2016 y 2017, respectivamente), con las estudiadas por Encina *et al*. (2011), en sus estudios de riesgo ecológico utilizando especies locales de relevancia ecológica dentro de este mismo sistema (Encina *et al*., 2009).

4.3.2. Objetivos

- Realizar una comparación entre las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disuelto en aguas superficiales registradas dentro del Programa de Diagnóstico (abril, mayo y julio 2014) con aquellos obtenidos durante los tres primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril y julio 2015, 2016 y 2017, respectivamente), 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 de los tres primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (2015, 2016 y 2017).

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).

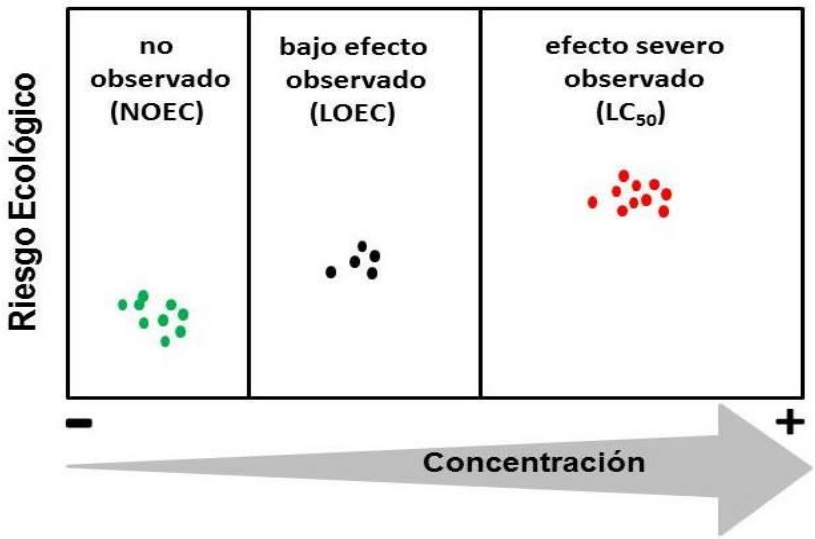


Figura 4.3.1. Esquema conceptual para evaluar los valores de las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disueltos obtenidos por Encina *et al*. (2011), *versus* los valores de las concentraciones de estos parámetros registrados en las estaciones establecidas en el Programa de Diagnóstico y Monitoreo 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 2017 (Fig. 4.3.2 a 4.3.4).

- 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) (Fig. 4.3.2 a 4.3.4).
- Posteriormente, se evaluó la proximidad de los valores de las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disueltos obtenidas en el agua superficial de las ocho estaciones del área de estudio del Programa de Monitoreo a la línea referencial representada por los valores NOEC obtenidos por Encina *et al*. (2011). Esto permitió establecer el Riesgo Ecológico Potencial (REP) estimado para cada una de los taxa utilizados en este análisis, según las concentraciones registradas durante los años 2014, 2015, 2016 y 2017.

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 período abril 2015 - marzo 2016 del Programa Ambiental Actualizado del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios PM/HRC), 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 los tres primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril y julio 2015, 2016 y 2017, respectivamente).

Con los nuevos valores corregidos para el NOEC de *Brachionus* sp., esta especie seguiría siendo la única que presentaría un riesgo potencial en relación a los valores obtenidos para las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disuelto en aguas superficiales del área de estudio durante los años 2014, 2015, 2016 y 2017; riesgo que se traduciría en un efecto adverso en cuanto a la producción de huevos (Fig. 4.3.2 a la 4.3.4).

El Hierro y Manganeso presentarían valores que sobrepasan los valores NOEC para esta especie (Fig. 4.3.2 y 4.3.4). En cuanto al Aluminio, este presentaría para julio del 2016 una disminución de sus concentraciones las que casi en la totalidad de las estaciones, se encuentran por debajo de los valores NOEC (Fig. 4.3.3).

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 durante los tres primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril y julio 2015, 2016 y 2017, respectivamente). Los valores son promedios con su desviación estándar en paréntesis.

	Hierro (µg/L)				
estaciones	**año 2014**			**año 2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	111,2 (31,0)	47,2 (5,6)	45,6 (4,3)	138,5 (31,4)	44,8 (19,2)
2 (sector Rucaco)	10,7 (3,7)	47,8 (7,9)	46,6 (12,4)	68,33 (23,0)	45,3 (16,1)
Eje central del río Cruces (sector estuarial)					
3 (sector 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					
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					
8 (río Calle Calle)	23,7 (0,2)	33,2 (0,0)	23,7 (0,2)	43,5 (2,8)	25,2 (9,9)

estaciones	Hierro (µg/L)			
	año 2016		año 2017	
	abril	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	93,7 (2,6)	68,3 (2,6)	141,7 (2,5)	104,1 (20,9)
2 (sector Rucaco)	20,9 (3,9)	22,2 (0,4)	21,3 (0,2)	111,6 (5,4)
Eje central del río Cruces (sector 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				
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				
8 (río Calle Calle)	33,8 (0,3)	30,5 (1,6)	38,5 (0,4)	35,8 (2,3)

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 durante los tres primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril y julio 2015, 2016 y 2017, respectivamente). Los valores son promedios con su desviación estándar en paréntesis.

estaciones	**Aluminio (µg/L)**				
	año 2014			**año 2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	9,9 (2,0)	8,2 (1,1)	20,4 (1,4)	10,5 (1,6)	18,6 (4,2)
2 (sector Rucaco)	6,3 (0,6)	11,2 (0,9)	23,4 (7,0)	10,1 (0,4)	18,3 (4,9)
Eje central del río Cruces (sector 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					
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					
8 (río Calle Calle)	5,3 (0,6)	20,0 (1,1)	10,5 (1,7)	6,3 (0,0)	24,6 (6,5)

Estaciones	Aluminio (µg/L)			
	año 2016		año 2017	
	abril	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	7,0 (0,01)	4,4 (0,41)	9,5 (0,7)	10,1 (0,5)
2 (sector Rucaco)	7,7 (0,70)	3,9 (0,38)	5,4 (0,2)	11,6 (0,0)
Eje central del río Cruces (sector 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				
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				
8 (río Calle Calle)	7,3 (0,13)	4,3 (0,27)	9,4 (0,6)	10,3 (1,3)

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 durante los tres primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril y julio 2015, 2016 y 2017, respectivamente). Los valores son promedios con su desviación estándar en paréntesis.

estaciones	**Manganeso (µg/L)**				
	año 2014			**año 2015**	
	abril	**mayo**	**julio**	**abril**	**julio**
Eje central del río Cruces (sector límnico)					
1 (sector Ciruelos)	17,7 (0,3)	4,7 (0,2)	1,4 (0,2)	11,4 (1,1)	2,6 (0,5)
2 (sector Rucaco)	24,4 (0,5)	5,5 (0,5)	1,6 (0,4)	25,3 (0,9)	2,8 (0,2)
Eje central del río Cruces(sector 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					
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					
8 (río Calle Calle)	3,5 (0,1)	0,9 (0,1)	1,8 (0,3)	3,4 (0,0)	2,3 (0,2)

Estaciones	Manganeso (µg/L)			
	año 2016		año 2017	
	abril	julio	abril	julio
Eje central del río Cruces (sector límnico)				
1 (sector Ciruelos)	13,5 (0,02)	14,4 (0,28)	8,5 (0,2)	19,1 (0,2)
2 (sector Rucaco)	18,5 (0,29)	16,2 (0,36)	12,0 (0,0)	18,7 (0,5)
Eje central del río Cruces (sector 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				
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				
8 (río Calle Calle)	0,6 (0,01)	3,3 (0,23)	1,8 (0,1)	5,3 (0,1)

Para las seis especies locales restantes (Tabla 4.3.1), los valores registrados durante el periodo comprendido entre los años 2014 y 2017 para Hierro (valores extremos de 141,7 y 10,7 µg/L), Aluminio (valores extremos de 48,7 y 1,3 µg/L) y Manganeso (valores extremos de 37,5 y 0,2 µg/L) disueltos 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 4.3.4).

La integración de los resultados de Encina *et al.* (2011) con las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disueltos en el agua de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC (abril, mayo y julio 2014) y los tres primeros años del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (abril y julio 2015, 2016 y 2017, respectivamente), se presenta en las Figuras 4.3.2 a la 4.3.4. Debido a las grandes diferencias en las magnitudes de los valores representados en los ejes “Y” de los gráficos (concentraciones de metales), fue necesario utilizar escalas logarítmicas para reducir esas diferencias a rangos más cercanos y obtener así una representación más apropiada para una mejor comprensión gráfica de los resultados.

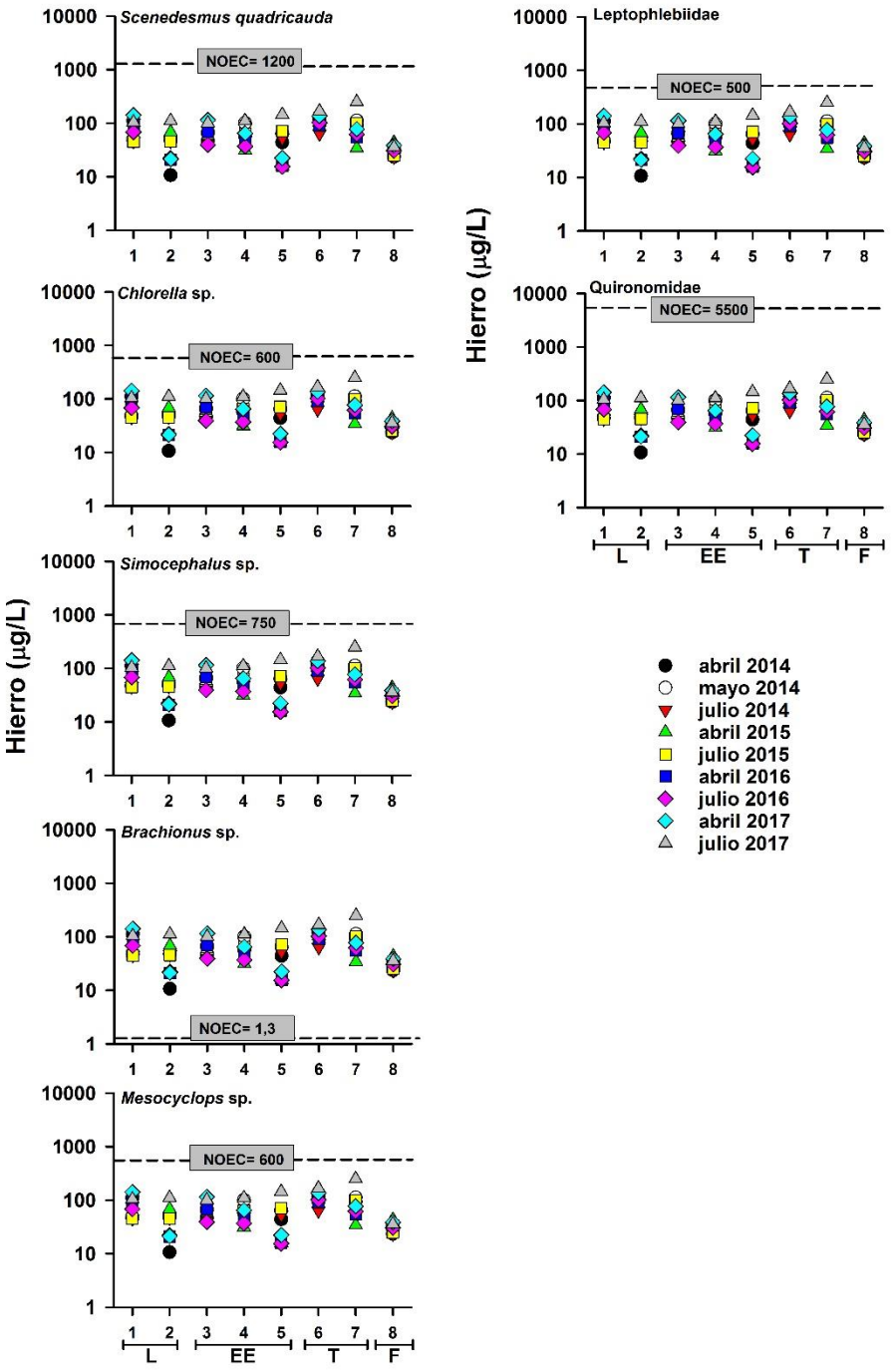


Figura 4.3.2. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Hierro disuelto en las siete especies sometidas a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Hierro disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y durante los tres primeros años del Programa de 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.

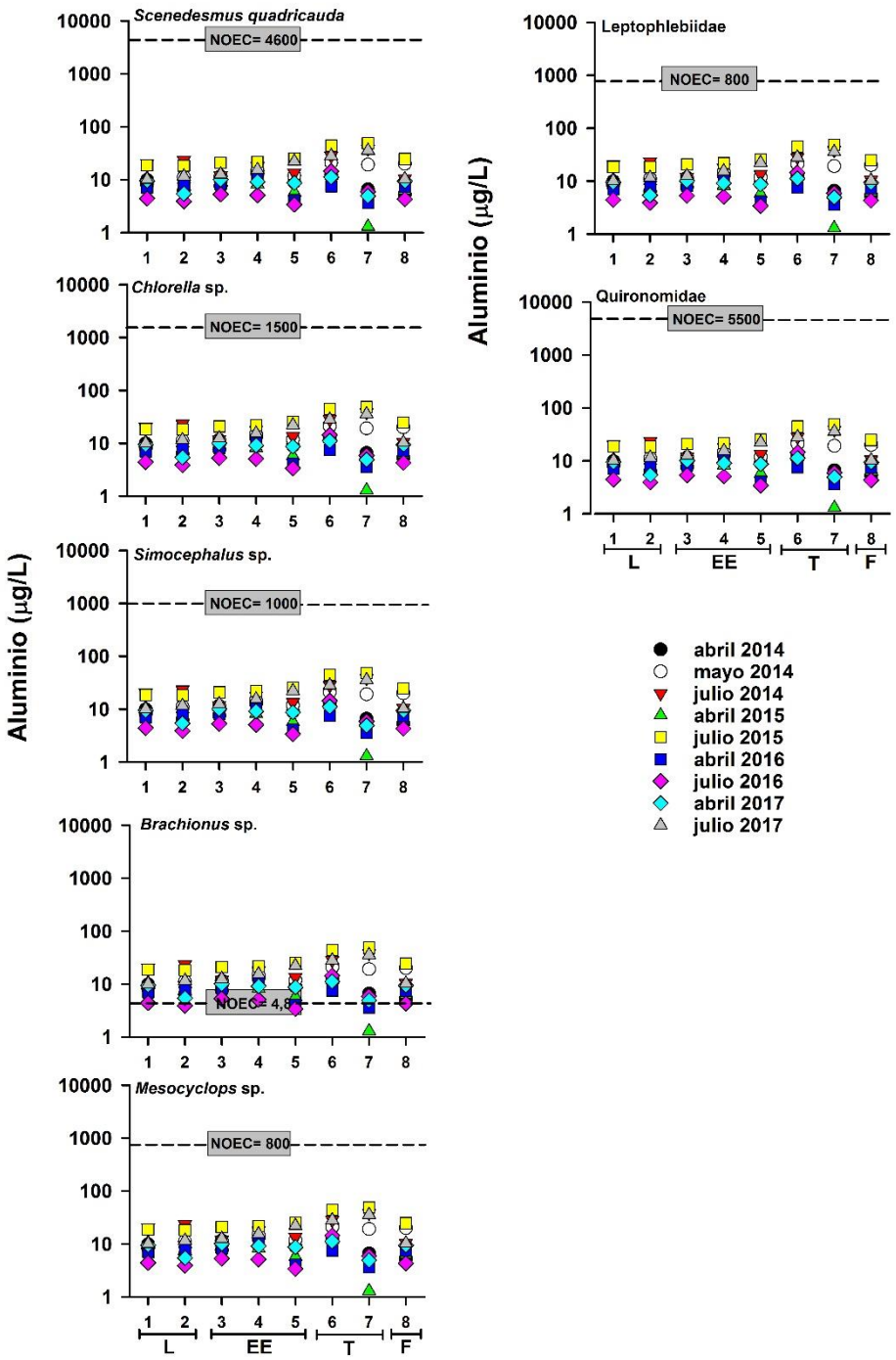


Figura 4.3.3. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Aluminio disuelto en las siete especies sometidas a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Aluminio disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y durante los tres primeros años del Programa de 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.

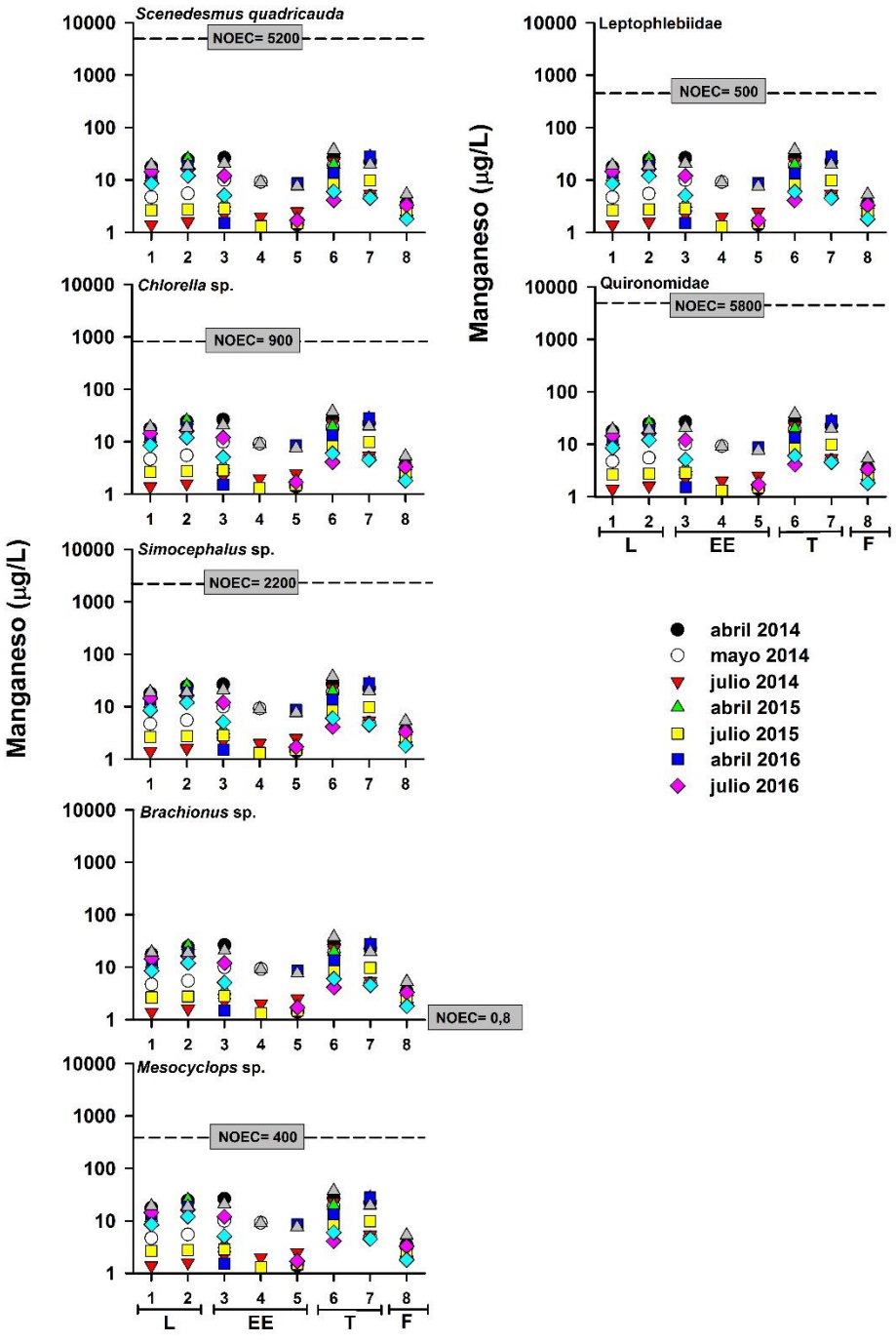


Figura 4.3.4. Resumen gráfico de la comparación de valores NOEC para Manganeso disuelto en las siete especies sometidas a bioensayos toxicológicos por Encina *et al.* (2011) y concentraciones de Manganeso disuelto en el agua superficial de las ocho estaciones estudiadas durante el Programa de Diagnóstico y durante los tres primeros años del Programa de 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 suprficiales del HRC y sus ríos tributarios (rangos registrados en el periodo 2014-2017), 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, 2015, 2016 y 2017, las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disuelto en el agua del área de estudio alcanzaron valores extremos de 141,7 - 10,7; 48,7 - 1,3 y 37,5 - 0,2 µg/L respectivamente.
- Las concentraciones registradas entre los años 2014 y 2017 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 2017, los resultados de las concentraciones para Hierro, Aluminio y Manganeso en las aguas superficiales del área de estudio estuvieron sobre los valores NOEC detactados por Encina *et al*. (2011) para esta especie en cuestion.
- Durante julio de 2017 y para la totalidad de las aguas de las estaciones de muestreo, las concentraciones de Hierro fueron las únicas que mostraron valores más altos en relación con años anteriores.
- Por lo tanto, las actuales condiciones de calidad de agua en el área del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios y sólo en relación a las concentraciones de Hierro, Aluminio y Manganeso disuelto, no 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 construido, y las múltiples interacciones entre ellos. Estos sistemas de carácter socio ambiental, requieren indispensablemente de un análisis integral, ya que se trata de entidades naturales en las cuales las alteraciones que se producen en los sistemas sociales o económicos, se transfieren a esas unidades, que actúan como receptores finales de los cambios. En este contexto, resulta absolutamente necesario y pertinente realizar un análisis de la forma en que se comportan los sistemas socios 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 el sistema hidrológico.

Junto 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

- Caracterizar la distribución de las coberturas del suelo al año 2017.
- Evaluar las transferencias entre coberturas de uso del suelo entre noviembre del año 2016 y septiembre del año 2017.
- Analizar los cambios ocurridos en el poblamiento del área de influencia sobre el HRC.
- Comparar los resultados obtenidos en el tercer año del Programa de Monitoreo Ambiental (año 2017) con los de los dos años anteriores de ese programa (año 2015 y 2016) 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 humedal 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, tanto del río Cruces como de sus principales tributarios (Cayumapu, Pichoy, Santa María). Esta zona de influencia (o zona “buffer”) representa una superficie total de 65.107,4 ha. La Figura 4.4.2 presenta el área de influencia del HRC, superficie que igualmente fue la utilizada en el análisis de los cambios ocurridos en la población y el poblamiento de las comunidades allí señaladas.

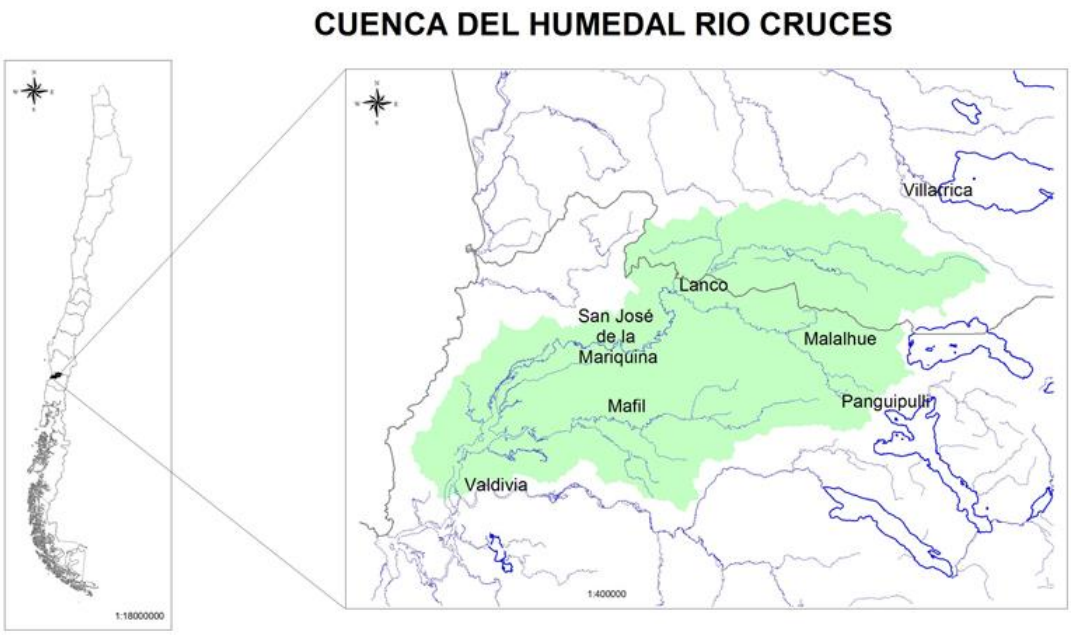


Figura 4.4.1. Área de estudio (en color verde claro)

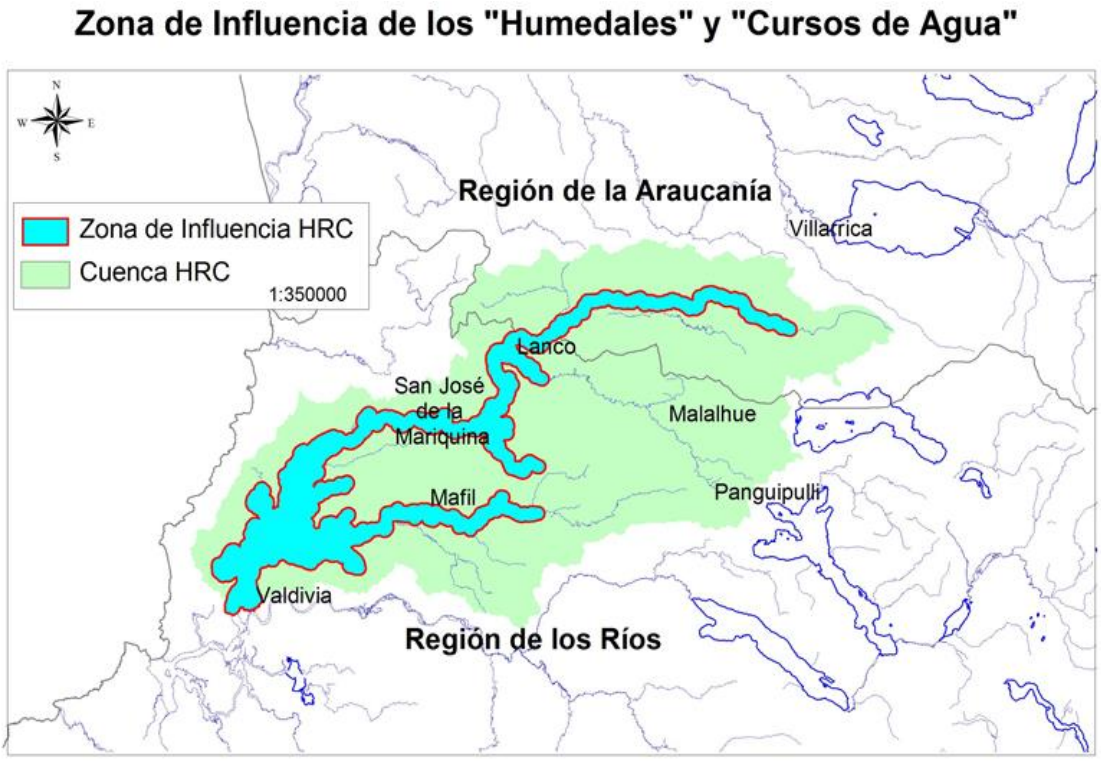


Figura 4.4.2. Ubicación de la zona de influencia del HRC.

El monitoreo de los cambios en el uso del suelo se realizó utilizando imágenes Landsat 8, comparando las imágenes de noviembre del año 2015 con la de octubre del año 2016, para luego comparar estos resultados con la imagen de septiembre 2017. El programa Landsat 8 dispone de 11 bandas que captan el espectro visible, infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo de onda corta (SWIR). Tiene una resolución de 15 metros en pancromático y de 30 m en multi-espectral. Para lo anterior se utilizó como apoyo la Imagen SENTINEL 2, con resolución espacial de 10 m en espectro visible.

Sobre la base de la información resultante del análisis de las imágenes, se confeccionaron las matrices de transferencia de superficie del periodo analizado. Esta matriz se elabora mediante la cuantificación de las superficies que han cambiado de uso en el periodo estudiado.

La metodología aplicada durante el primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (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 el segundo año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (2016) y se continuó en el presente año 2017 (tercer año de 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. 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

Los resultados obtenidos en esta etapa del Programa de Monitoreo del HRC se presentan a continuación, comenzando por los cambios en el uso del suelo, tanto a escala de la cuenca del río Cruces en su totalidad, como al área de influencia directa. Para el caso del análisis de población, los resultados se refieren solo al área de influencia.

Balance de superficies de uso actual en el periodo noviembre 2016 a septiembre 2017

La Tabla 4.4.1 presenta el detalle de los resultados obtenidos en el proceso de monitoreo de superficies y los cambios del uso del suelo, realizado en septiembre del año 2017, respecto a la base cartográfica elaborada en noviembre del año 2016. La Figura 4.4.3 por su parte, presenta los usos del suelo al año 2017, los que corresponden a la base cartográfica de monitoreo para el año 2016.

Los usos más representativos en superficie para el periodo noviembre 2016 - septiembre 2017 continúan siendo “Bosques”, “Praderas y Matorrales”, constituyendo el 90% de la matriz de superficie de la cuenca. Los “Terrenos Agrícolas” ocupan menos del 7%, mientras que los “Humedales” representan alrededor del 2% de la superficie del área de estudio.

El principal cambio en el uso del suelo detectado en el periodo, ocurre en las “Praderas” que en términos absolutos corresponden a una disminución de 223 hectáreas, seguido, por un incremento en la superficie de plantaciones en 179 hectáreas, y una disminución de 140 ha de bosque nativo. Durante este periodo 2016 -2017 no existió una expansión urbana relevante, como ocurrió en el periodo 2015 a 2016, en que se registró un crecimiento de 3,9%, en tanto en este año sólo alcanzó a 1,3%

Tabla 4.4.1. Balance regional uso actual del suelo, período noviembre 2015 - octubre 2016.

Uso Actual	2016 (noviembre) Superficie (ha)	%	2017 (septiembre) Superficie (ha)	%	Cambio 2017-2016 Superficie (ha)	%
1. Áreas Urbanas-Industriales	2203,9	0,7	2233,0	0,7	29,1	1,3
1.1 Ciudades-Pueblos-Zonas Indus.	1825,4	0,5	1835,6	0,5	10,2	0,6
1.2 Minería Industrial	378,5	0,1	397,4	0,1	18,9	5,0
2. Terrenos Agrícolas	22151,2	6,6	22202,2	6,6	51	0,2
2.1 Terrenos de Uso Agrícola	3489,5	1,0	3582,9	1,1	93,4	2,7
2.2 Rotación Cultivo-Pradera	18661,7	5,6	18619,3	5,5	-42,4	-0,2
3. Praderas y Matorrales	96903,7	28,9	96785,8	28,8	-117,9	-0,1
3.1 Praderas	86541,2	25,8	86317,4	25,7	-223,8	-0,3
3.2 Matorral-pradera	2304,7	0,7	2393,1	0,7	88,4	3,8
3.3 Matorral	3706,7	1,1	3697,5	1,1	-9,2	-0,2
3.4 Matorral Arborescente	4351,1	1,3	4377,8	1,3	26,7	0,6
4. Bosques	205501,9	61,2	205516,7	61,2	14,8	0,0
4.1 Plantaciones	80478,3	24,0	80657,6	24,0	179,3	0,2
4.2 Bosque Nativo	120388,5	35,9	120248,1	35,8	-140,4	-0,1
4.3 Bosque Mixto	4635,1	1,4	4611,0	1,4	-24,1	-0,5
5. Humedales	5737,6	1,7	5737,6	1,7	0	0,0
5.1 Vegetación herbácea en orillas de ríos	1680,2	0,5	1680,2	0,5	0	0,0
5.2 Marismas Herbáceas	396,5	0,1	396,5	0,1	0	0,0
5.3 Ñadis Herbáceos	2843,9	0,8	2843,9	0,8	0	0,0
5.6 Vegas	447,4	0,1	447,4	0,1	0	0,0
5.7 Otros terrenos húmedos	369,6	0,1	369,6	0,1	0	0,0
6. Áreas Sin Vegetación	45,9	0,0	53,7	0,0	7,8	17,0
6.7 Otros Terrenos Sin Vegetación	2,9	0,0	10,7	0,0	7,8	269,0
6.8 Cajas de Rio	43,0	0,0	43,0	0,0	0	0,0
8. Cuerpos de Agua	3031,9	0,9	3047,1	0,9	15,2	0,5
8.2 Ríos	2869,1	0,9	2869,1	0,9	0	0,0
8.3 Lago-Laguna-Embalse-Tranque	162,8	0,0	178,0	0,1	15,2	9,3
Total general	335576,1	100,0	335576,1	100,0	0	0,0

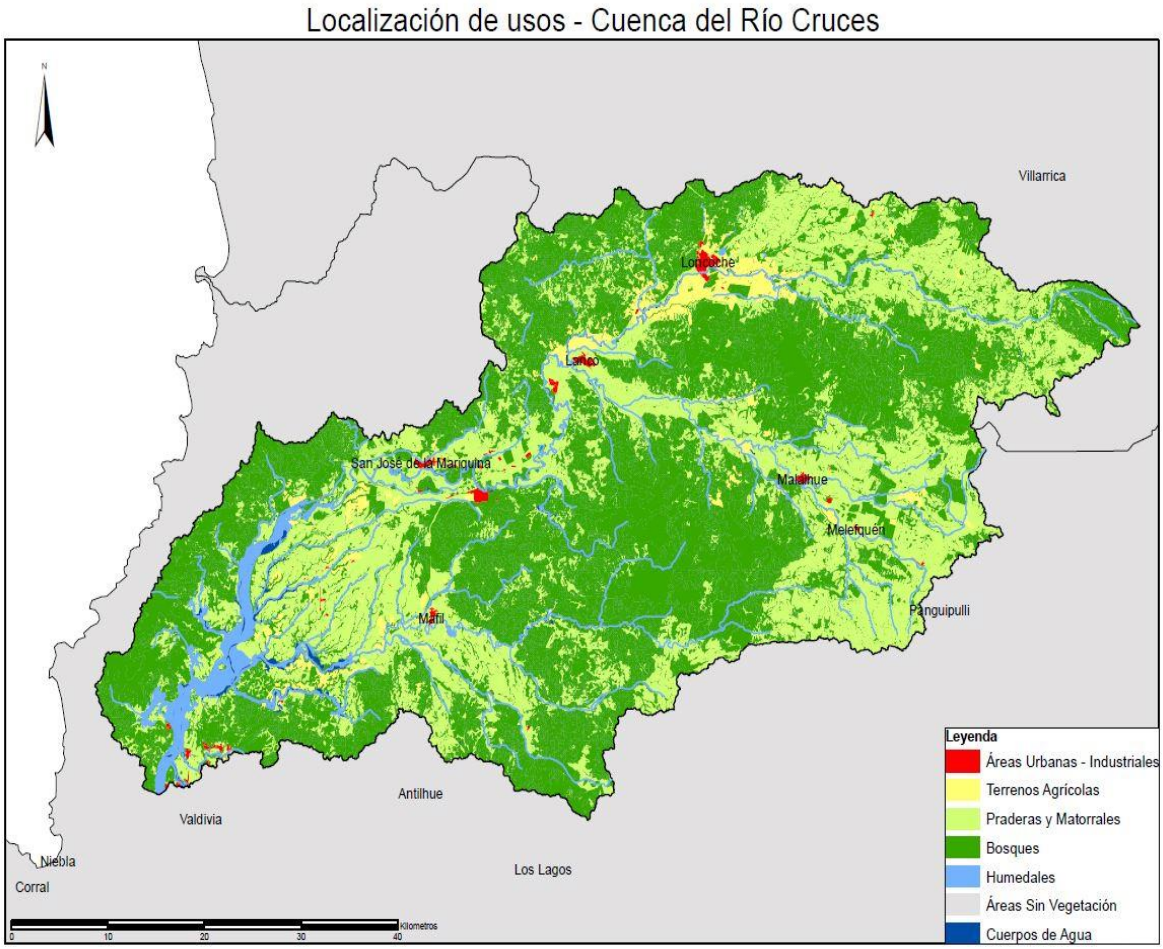


Figura 4.4.3. Distribución de los usos del suelo: año 2017.

Las Figuras 4.4.4 y 4.4.5 muestran la distribución de la superficie del suelo según sus usos para los años señalados.

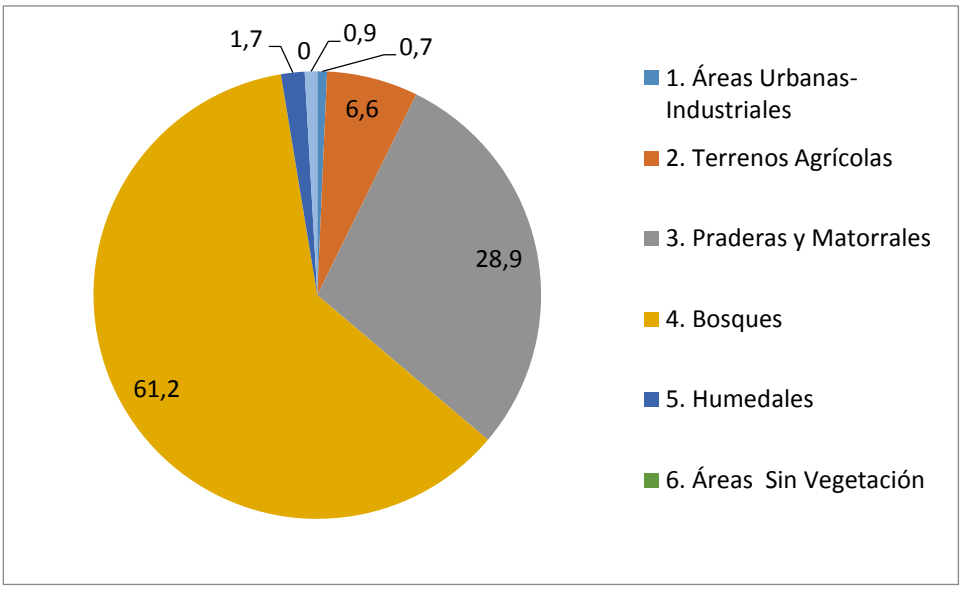


Figura 4.4.4. Distribución de superficie por uso del suelo: noviembre 2016.

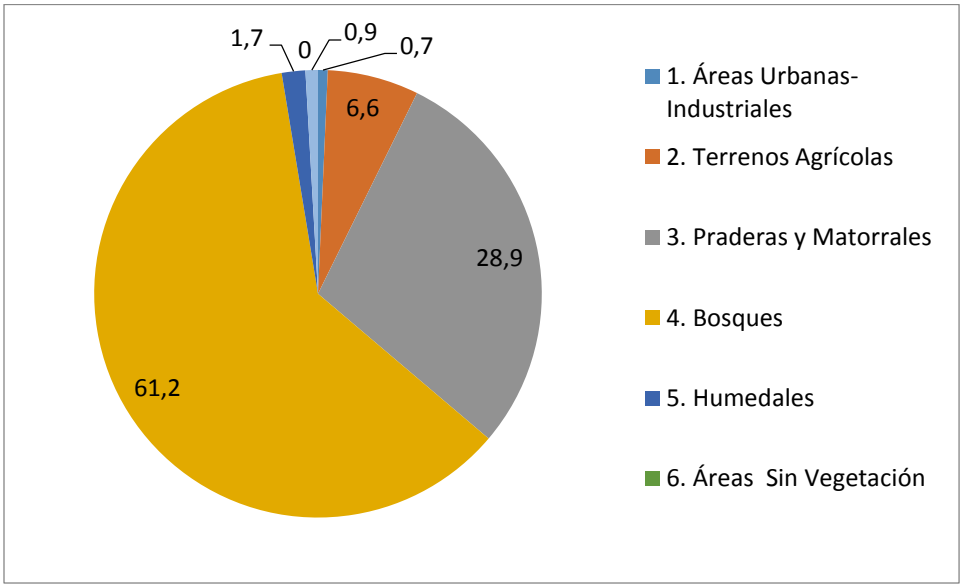


Figura 4.4.5. Distribución de superficie por uso del suelo: octubre 2017

Transferencia de superficies de uso del suelo entre periodos

La matriz que se presenta en la Tabla 4.4.2, indica la modificación detectada en los usos de suelo y su cuantía en superficie por categorías de uso del suelo según COT (Carta de Ocupación de la Tierra).

Para el período noviembre 2016 - septiembre 2017, la principal modificación del uso del suelo en el área “buffer”, ocurre con la transferencia desde el uso “Praderas “a “Terrenos agrícolas” con 28,8 ha. De uso “Plantaciones” a uso “Urbano” con 19 ha. Las restantes modificaciones son de menor cuantía.

Tabla 4.4.2. Matriz de transferencia de superficies por uso de suelo período noviembre 2016 -septiembre 2017.

USO ACTUAL AÑO 2016 (noviembre)	USO ACTUAL AÑO 2017 (septiembre)															
	1	2	3,1	3,2	3,3	3,4	4,1	4,2,1	4,2,2	4,2,3	4,2,4	4,3	05	06	08	**Total general año 2017**
1 Áreas Urbanas e Industriales	2203,9															**2203,9**
2 Terrenos Agrícolas		22133,9					17,3									**22151,2**
3.1 Praderas	2,2	62,5	86290,7	15,3	7,3		154,9		6,5						1,8	**86541,2**
3.2 Matorral Pradera				2281,3	15,7		6,0								1,7	**2304,7**
3.3 Matorral		2,4	6,9	7,9	3639,2	38,3	8,3							3,7		**3706,7**
3.4 Matorral Arborescente			3,9	9,1	5,3	4320,0	5,8								7,0	**4351,1**
4.1 Plantaciones	26				6,8		80444,8								0,7	**80478,3**
4.2.1 Bosque Nativo Adulto				15,7	6,7		0,7	16787,6								**16810,7**
4.2.2 Bosque Nativo Renoval	0,9	3,4	11,6	56,0	12,9	18,6	6,8		90386,8					4,1	4,0	**90505,1**
4.2.3 Bosque Nativo Adulto Renoval				1,9						12582,6						**12584,5**
4.2.4 Bosque Nativo Achaparrado			3,6								484,6					**488,2**
4.3 Bosque Mixto			0,7	5,9	3,6	0,9	13,0					4611,0				**4635,1**
5 Humedales													5737,6			**5737,6**
6 Áreas Desprovistas de Vegetación														45,9		**45,9**
8 Cuerpos de Agua															3031,9	**3031,9**
Total general año 2016	**2233**	**22202,2**	**86317,4**	**2393,1**	**3697,5**	**4377,8**	**80657,6**	**16787,6**	**90393,3**	**12582,6**	**484,6**	**4611,0**	**5737,6**	**53,7**	**3047,1**	**335576,1**

Detalle en la zona de influencia directa del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios ("buffer" de 1.000 m alrededor del HRC)

Para estudiar de forma más detallada los usos en la cercanía del humedal y sus ríos tributarios, se generó una cobertura de información que contiene los usos de la tierra ubicados a una distancia de 1 kilómetro de los usos "Humedales" y "Cursos de Agua". Esta zona de influencia o zona "buffer", representa una superficie total de 65.107,3 hectáreas y se representa en la Figura 4.4.2.

La matriz presentada en la Tabla 4.4.3 indica la modificación detectada en los usos de suelo y su cuantía en superficie por categorías de uso del suelo según COT (Carta de Ocupación de la Tierra), para el periodo, en el área "buffer".

Tabla 4.4.3. Matriz de transferencia para la zona “buffer” período 2016 - 2017

Uso noviembre 2016	Uso septiembre 2017															
	1	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2.1	4.2.2	4.2.3	4.2.4	4.3	5	6	8	**Total general Año 2015**
1 Áreas Urbanas e Industriales	1409,5															**1409,5**
2 Terrenos Agrícolas		7489,9					3,2									**7493,1**
3.1 Praderas	2,2	28,8	19479,8	8,9	2,2		3		1,4						1,8	**19528,1**
3.2 Matorral Pradera				861,7	14,4											**876,1**
3.3 Matorral					754	19,2								3,7		**776,9**
3.4 Matorral Arborescente					5,3	735,6	3,3									**744,2**
4.1 Plantaciones	19						8682,4									**8701,4**
4.2.1 Bosque Nativo Adulto								405,2								**405,2**
4.2.2 Bosque Nativo Renoval	0,9		4,9	14,8	9,4	2,1			14126,9					0,6	2,4	**14162**
4.2.3 Bosque Nativo Adulto Renoval										1192,2						**1192,2**
4.2.4 Bosque Nativo Achaparrado											270,9					**270,9**
4.3 Bosque Mixto					1		6,4					1116,1				**1123,5**
5 Humedales													5419,7			**5419,7**
6 Áreas Desprovistas de Vegetación														44,5		**44,5**
8 Cuerpos de Agua															2960	**2960**
Total general 2016	**1431,6**	**7518,7**	**19484,7**	**885,4**	**786,3**	**756,9**	**8698,3**	**405,2**	**14128,3**	**1192,2**	**270,9**	**1116,1**	**5419,7**	**48,8**	**2964,2**	**65107,3**

Para el período noviembre 2016 - septiembre 2017, la principal modificación del uso del suelo en el área"buffer", ocurre con la transferencia desde el uso "Praderas "a "Terrenos agrícolas" con 28,8 ha. De uso "Plantaciones" a uso "Urbano" con 19 ha. Las restantes modificaciones son de menor cuantía.

Población y poblamiento del área de influencia sobre el HRC

Según el censo del año 2002, el total de población en el área de estudio 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, se llega a la cifra de 22.468 habitantes para el año 2014 y 22.805 habitantes al año 2015, en el área definida como de influencia directa del HRC, es decir a un kilómetro a ambos lados de los cauces.

En el informe del Primer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (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 para esta etapa del monitoreo (año 2017).

En el caso de la localidad de Cabo Blanco (Figura 4.4.7), 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 4.4.6 presenta la variación en el número de viviendas en Cabo Blanco y en ella se puede apreciar como 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 4.4.7.

Como se indicó en el Informe de Monitoreo del año 2016, se advierte una creciente tendencia a la densificación del área construida, la que se puede apreciar en la Figura 4.4.8, en la que como se señaló en el informe del 2016, se advierte que, en una superficie de aproximadamente tres hectáreas, se encuentra un total de nueve viviendas, lo que lleva a una densidad superior a la permitida en predios rústicos. Lo mismo se presenta en nuevos sectores de Cabo Blanco, registrados en la Figura 4.4.9.

En la Figura 4.4.9, la imagen a) presenta el patrón que corresponde a una ocupación en parcelas de 5.000 metros cuadrados, como indica la normativa. En cambio, las imágenes b) y c), dan cuenta de la mencionada densificación del área construida.

Tal como se advirtió en el informe 2016, se debe dejar claro que no existe evidencia de una transgresión a la normativa, ya que existen alternativas legales para justificar una subdivisión a menor tamaño. Lo que se quiere dejar establecido, es que se está generando un paisaje de carácter más urbano, en la medida en que las densidades empiezan a ser mayores.

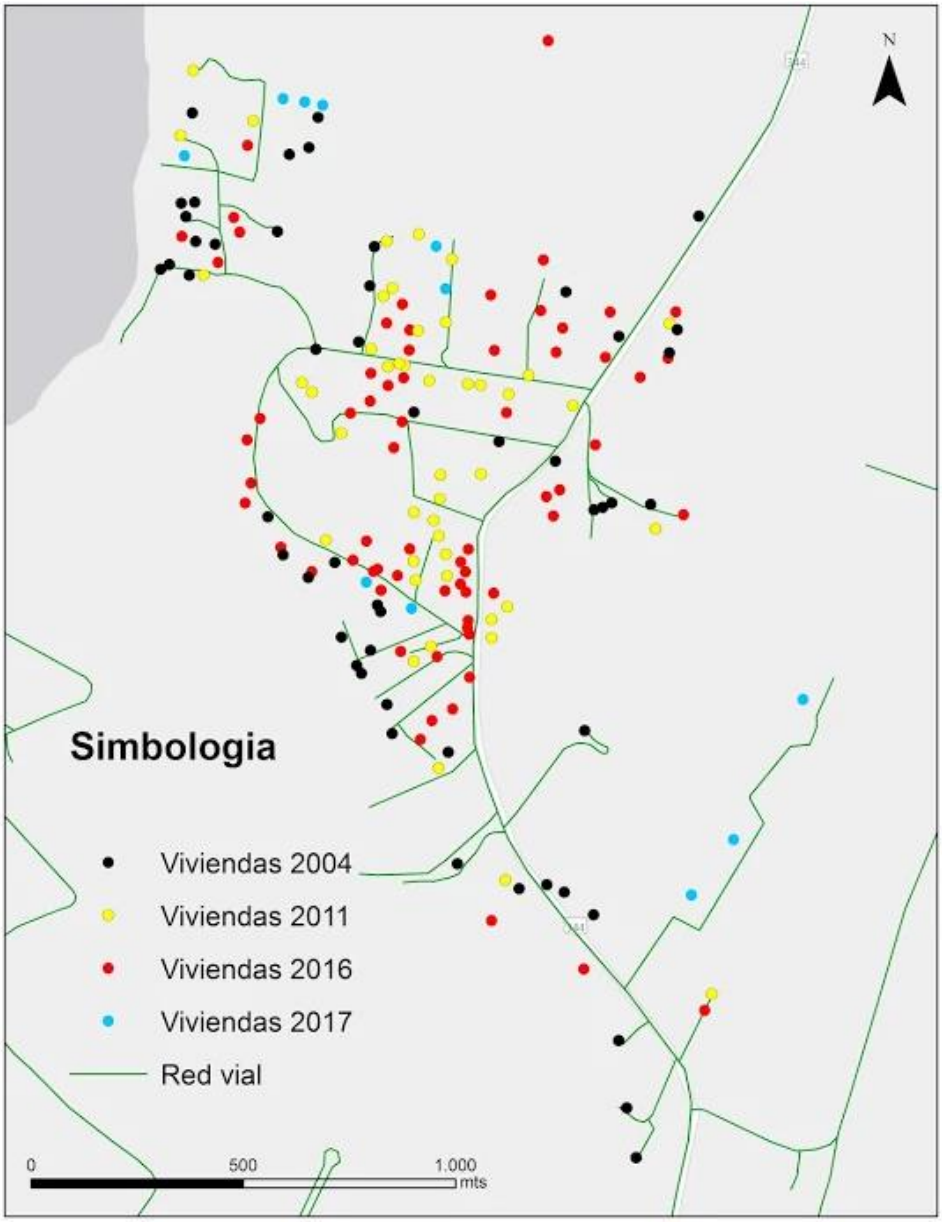


Figura 4.4.14. Variación del número de viviendas en sector El Rebellín: años 2004, 2011, 2016 y 2017.Fuente: Elaboración propia a partir de reconocimiento de terreno.

4.4.5. Conclusiones

- La principal modificación en el uso del suelo ocurre con la transferencia de 28,8 has desde el uso “Praderas” hacia el uso “Terrenos agrícolas” y de 19 ha desde el uso “Plantaciones”, hacia el uso “Urbano”. Las restantes modificaciones son de menor cuantía.
- La dinámica de poblamiento del área de influencia estudiada, mantiene un ritmo moderado no apreciándose modificaciones de relevancia, excepto en los sectores de Cabo Blanco, Punucapa 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
- El área de estudio aún carece de un Instrumento de Ordenamiento Territorial que le otorgue algún grado de protección legal. Por otra parte no existe registro de solicitud de autorización ambiental, no encontrándose en registros del SEA regional.
- En términos generales, se mantiene la tendencia observada en el Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC en el sentido de que, en términos generales, 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.

4.5. CONOCIMIENTO ECOLOGICO LOCAL

4.5.1. Antecedentes

Entre las orientaciones planteadas por el Consejo Científico Social para el diseño de los Programas de Diagnóstico y Monitoreo Ambiental del HRC, estuvo el considerar la participación de la comunidad y su conocimiento ecológico local en el diseño e implementación de ambos programas.

Durante el desarrollo del Programa de Diagnóstico Ambiental del HRC y sus ríos tribuatrios (abril 2014 – marzo 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 ese 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, para lo cual se identificaron ***hitos*** de experiencias compartidas por los habitantes del humedal, que permitieron ordenar temporalmente las ***experiencias*** y ***percepciones*** de los actores locales.

b) Identificación de transformaciones o cambios detectados por los actores locales en el HRC, los cuales constituyen ***socio-bio-indicadores*** registrados durante el período 2004-2014, ya sea en aspectos cualitativos o cuantitativos de agentes bióticos y abióticos o bien cambios en el comportamiento de los habitantes del humedal en relación a actividades previamente desarrolladas.

c) Identificación de amenazas o transformaciones asociadas a aspectos negativos identificados por los actores para la mantención y mejoramiento de la vida social y la

calidad ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios en el futuro inmediato o a largo plazo.

El diagnóstico realizado permitió concluir, entre otros aspectos, que: i) los acontecimientos del año 2004 generaron no sólo un cambio ambiental sino también social, cuyo impacto más profundo fue el debilitamiento de las prácticas recreativas y productivas que vinculaban a las comunidades y al humedal, como las actividades de natación o el pastoreo del ganado en la orilla del río, entre otras y ii) que existe un desencuentro entre la actividad científica que se realiza en la zona y las comunidades que habitan el humedal, no obstante se han realizado una gran cantidad de esfuerzos por insertar los resultados de las investigaciones en los circuitos de comunicación en que participen los actores locales.

Como resultado de este trabajo, se propusieron también 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: (i) por una parte contribuir a acercar a las comunidades locales al humedal del río Cruces, y (ii) 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.

En abril del año 2015 se dio inicio al Programa de Monitoreo Ambiental del HRC y en octubre de ese mismo año comenzó la etapa de monitoreo del componente CEL, para lo cual la primera tarea fue profundizar la información del Programa de Diagnóstico con el objetivo de recabar antecedentes primarios y secundarios que permitieran planificar el posterior 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 (Leyton, 2013).

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 saber 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 o cambios naturales que pudieran ocurrir en el futuro.

Al final del año 2016 el equipo de trabajo elaboró una etnografía para reconstruir la historia social del HRC, a partir de un trabajo de campo desarrollado a lo largo de ese año enfocado especialmente en recuperar las memorias de adultos mayores y habitantes del HRC, y en el diseño de 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 participativamente con escuelas del HRC un programa de monitoreo ecológico local, se realizó un proceso de planificación conjunto con los profesores de las escuelas. Dicho trabajo estuvo precedido por sesiones de trabajo con los estudiantes en que, a través de una metodología creativa de representación de su relación con el HRC, fue posible lograr una aproximación a las formas de relacionamiento actual de los estudiantes y su territorio. El programa de monitoreo ecológico local diseñado en este período fue implementado el año 2017 en cuatro escuelas piloto situadas en zonas aledañas al HRC.

4.5.2 Objetivos

- Implementar un programa de monitoreo ecológico local en cuatro escuelas piloto situadas en el territorio de estudio, orientado al fortalecimiento de capacidades y conocimientos en los niños, 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 y saberes de las comunidades locales con el HRC, permitiendo usar el conocimiento como una herramienta para encarar nuevas situaciones socio - ambientales.
- Evaluar el programa de monitoreo ecológico local y rediseñar su estructura y enfoque en base a los aprendizajes obtenidos de su implementación.

4.5.3. Material y métodos

El programa de monitoreo ecológico local se implementó en cuatro escuelas piloto localizadas en cuatro diferentes zonas del HRC. La división de la zona de estudio se realizó durante la etapa de diagnóstico en base al principio de *situacionalidad* (Ingold, 2000), el cual asume que los individuos tienen un conocimiento diferenciado por su experiencia de habitar un determinado lugar y formas de organización social distintivas en base al mismo factor. Por esto, los habitantes de una localidad observan, exploran y se relacionan con el

HRC y sus ríos tributarios desde una perspectiva específica. Atendiendo a un criterio amplio de *situacionalidad*, se hizo una división en 4 grandes zonas. Si bien se trata de delimitaciones que tienen asidero empírico en hitos geográficos locales (ríos y esteros), constituye principalmente una división de utilidad metodológica.

- **Zona Nororiente:** limita al sur con el río Pichoy y al oeste con el río Cruces. En esta zona se trabajó con la Escuela Particular Misional Pelchuquin, establecimiento particular subvencionado al cual asisten 163 niños desde prekinder hasta 8° básico. En esta escuela el programa de monitoreo local se implementó en el taller de Brigada Ecológica al cual asistieron 8 niños entre 4° y 8° básico, con apoyo de una docente.

- **Zona Norponiente:** limita al sur con el estero Santa María y al este con el río Cruces. En esta zona se trabajó con la Escuela Rural de Cuyinhue, establecimiento municipal al cual asisten 24 niños desde prekinder hasta 6° básico. En esta escuela el programa de monitoreo local se implementó con un grupo de 14 niños de 3° y 4° básico.

- **Zona Suroriente:** limita al norte con el río Pichoy y al sur con el río Calle Calle. En esta zona se trabajó con la Escuela Rural de Cayumapu, establecimiento municipal a cuál asisten 14 niños desde prekinder hasta 6° básico. En esta escuela el programa de monitoreo local se implementó con los niños que asisten a primer y segundo ciclo básico, con apoyo de dos docentes

- **Zona Surponiente:** limita al norte con el estero Santa María, al este con el río Cruces y al oeste con el Cerro Oncol (cordillera de la costa). En esta zona se trabajó con la Escuela Rural de Punucapa, establecimiento municipal al cual asisten 4 niños desde 1° hasta 6° básico. En esta escuela el programa de monitoreo local se implementó con todos los niños ya que se trata de un establecimiento unidocente.

Previo a la implementación del programa de monitoreo ecológico local se realizó una primera fase de ajuste en que la propuesta fue revisada en distintas reuniones y jornadas de trabajo con profesores y directivos de las escuelas y con la Unidad de Educación Ambiental del Departamento de Administración y Educación Municipal (DAEM) de la I. Municipalidad de Valdivia (ver programa en Anexo 1). y con posterioridad a su ejecución se realizó una evaluación y rediseño

4.5.4. Resultados

De acuerdo a lo programado se ejecutaron las siguientes actividades

Tabla 4.5.1. Programa de actividades del Programa de Monitoreo Ecológico Local implementado el año 2017 en las escuelas de Punucapa, Cayumapu, Pelchuquín y Cuyinhue.

SEM	MES	SEMANA	UNIDAD	CONTENIDOS	ACTIVIDADES
1	MARZO	06 al 12	PLANIFICACIÓN CURRICULAR	• Integración del programa a la planificación curricular	• Reunión de coordinación y planificación de actividades en cada escuela.
		13 al 19		• Integración del programa a la planificación curricular	• Revisión programa curricular • Diseño de integración
		20 al 26		• Planificación de actividades con escuelas de la red de monitoreo de humedales de la I. Municipalidad de Valdivia.	• Reunión de coordinación y planificación de actividades con las escuelas y el DAEM de la I. Municipalidad de Valdivia.
		27 al 31	LANZAMIENTO	• Lanzamiento del Programa.	• Actividad de inducción y lanzamiento del Programa en cada escuela, dirigida a la comunidad escolar.
	ABRIL	03 al 09	INTRODUCCIÓN A LOS HUMEDALES	• ¿Qué son los humedales? • El agua, el suelo y los humedales. • Importancia social y ecológica de los humedales.	• Actividad: ¿cuánto suelo existe en la tierra? • Clase expositiva acerca de las características e importancia de los humedales. • Aproximación desde *Google Earth* al HRC.
		10 al 16		• Funciones y atributos de los humedales. •Beneficios de los humedales. •Usos sociales y productivos de los humedales.	• Clase expositiva acerca de las características e importancia de los humedales. • Diseño de logos y distintivos
		17 al 23		•Redes socioterritoriales de la comunidad escolar en relación al HRC. • Hitos territoriales: lugares preferidos,	• Mapeo participativo de redes sociales de los profesores y

SEM	MES	SEMANA	UNIDAD	CONTENIDOS	ACTIVIDADES
				lugares amenazados.	alumnos en relación al HRC e hitos territoriales que se consideran importantes y puedan tener relación directa o no con el HRC. • Tarea: Discutir con las familias el mapeo realizado en clases.
		24 al 30	RELACIONES EN EL HUMEDAL DEL RÍO CRUCES	• ¿Qué es un ecosistema? • Componentes bióticos y abióticos del HRC	• Clase expositiva con apoyo de soporte audiovisual • Juego predador presa
	MAYO	01 al 07		• Flujos de materia y energía en el HRC • Redes tróficas en el HRC	• Clase expositiva con apoyo de soporte audiovisual • Juego adivina la especie a partir de sus relaciones ecosistémicos
		08 al 14			• Clase expositiva con apoyo de soporte audiovisual para introducir los conceptos de productores primarios, consumidores, predadores y descomponedores. • Construir una pirámide alimenticia con los niños, ¿Cuántas garzas pueden vivir aquí?
		15 al 21	CAMBIOS E HISTORIA SOCIOAMBIENTAL DEL HUMEDAL DEL RÍO CRUCES	• ¿Qué es el conocimiento ecológico local? ¿Por qué es importante? • Hitos históricos importantes del HRC. • Transformaciones del HRC.	• Reconstruyendo la historia: clase expositiva y muestra de objetos. • Selección de un informante de la comunidad para entrevistar en la escuela.
		22 al 28			• Planificar la entrevista a realizar.

SEM	MES	SEMANA	UNIDAD	CONTENIDOS	ACTIVIDADES
					• Acordar y definir roles entre los participantes para la realización y registro de la entrevista.
		29 al 31			• Preparación de entrevista a portadores de historia local. • Preparación de escenografía (set de televisión)
	JUNIO	05 al 11			• Preparación de entrevista a portadores de historia local. • Preparación de escenografía (set de televisión)
		12 al 18			• Teatro espontáneo sobre la historia del humedal (realización de entrevista a adultos mayores de la comunidad)
		19 al 25		•El HRC como socioecosistema. • Elementos básicos para el monitoreo de fauna en el HRC.	• Discusión y reflexión acerca de los cambios y transformaciones que han ocurrido en el HRC a lo largo del tiempo. • Tarea: Escribir un cuento o realizar un dibujo o un cómic o una maqueta de alguna de las transformaciones mencionadas.
		26 al 30			• Discusión y reflexión acerca de los cambios y transformaciones que han habido en el HRC a lo largo del tiempo.
	JULIO	03 al 09	VACACIONES INVIERNO		
2		10 al 16			

SEM	MES	SEMANA	UNIDAD	CONTENIDOS	ACTIVIDADES
		17 al 23			
		24 al 30	AVES DEL HUMEDAL DEL RÍO CRUCES	• ¿Qué son la aves? •Características de las aves. • Tipos de aves.	• Clase expositiva con apoyo de material audiovisual, plumas, nidos, huevos, etc. • Diseña tu ave.
	AGOSTO	01 al 06		• Identificación de aves del HRC.	• Clase expositiva con apoyo de material audiovisual. • Actividad: Memorice de aves • Avistamiento de aves con el uso de binoculares
		07 al 13		• Identificación de aves del HRC.	• Clase expositiva con apoyo de material audiovisual (El Trinar de Chile). • Actividad: Corre y canta
		15 al 20		• Qué comen y dónde viven las aves que habitan en el HRC.	• Clase expositiva con apoyo de material audiovisual. • Actividad: Memorice de picos y alimento. • Tarea: recolectar material para hacer nidos.
		21 al 27		• Las aves y su ambiente.	• Actividad: Nidos del humedal
		28 al 31			
	SEPTIEMBRE	04 al 10		• Por qué es necesaria la protección de las aves. • A qué amenazas están expuestas las aves del HRC. •Quién se encarga de realizar esa protección en el HRC. • Cómo se realizan estas actividades.	• Identificación de sitios de nidificación y avistamiento de aves con el uso de binoculares
		11 al 17			• Preparación de fiestas patrias
		18 al 24	FIESTAS PATRIAS		

SEM	MES	SEMANA	UNIDAD	CONTENIDOS	ACTIVIDADES
		25 al 30	MAMÍFEROS DEL HUMEDAL DEL RÍO CRUCES	•Mamíferos del HRC: principales especies y características. • Importancia de los mamíferos en el ecosistema.	• Clase expositiva con soporte audiovisual. • Cuentacuentos
	OCTUBRE	02 al 08		•Especies nativas y especies introducidas. • Riesgos y amenazas asociados a la introducción de especies. • El visón: una amenaza para el HRC.	• Clase expositiva con soporte audiovisual. • Juego
		09 al 15		•Qué es la biodiversidad. •Biodiversidad del HRC. • Registro e interpretación de datos.	• Preparación de entrevista a un científico: diseño de pauta y roles
		16 al 22			• Preparación de entrevista a un científico: diseño de pauta y roles
		23 al 29		• Por qué es necesaria la investigación de los mamíferos del HRC. •Cómo contribuye la actividad científica al cuidado de los mamíferos del HRC. • Cómo y dónde se realiza la actividad científica en el HRC.	• Realización de entrevista a un científico
	NOVIEMBRE	01 al 05			• Realización de entrevista a un científico
		06 al 12	SALIDA AL HUMEDAL	•Qué es la biodiversidad. •Biodiversidad del HRC. •Registro e interpretación de datos.	• Preparación de la salida
		13 al 19			• Salida a terreno al humedal grupos 1 y 2 • Realizar una bitácora de terreno, con preguntas y observaciones para poner en común y discutir al final de la jornada con el grupo de profesores, compañeros y monitores.
		20 al 26			• Salida a terreno al humedal grupos 3 y 4

SEM	MES	SEMANA	UNIDAD	CONTENIDOS	ACTIVIDADES
					• Realizar una bitácora de terreno, con preguntas y observaciones para poner en común y discutir al final de la jornada con el grupo de profesores, compañeros y monitores.
	DICIEMBRE	04 al 10	FINALIZACIÓN CLASES		

:

A pesar que la mayoría de las actividades se realizaron según lo planificado, hay algunas que no se realizaron por los motivos que se detallan a continuación:

- ***Carta al humedal y entrega de cartas de niños de otra escuela:*** No fue posible llevar a cabo la salida al humedal de inicio de año por dificultades logísticas, por lo que la elaboración de cartas fue reemplazada por la confección de distintivos. En esta actividad, cada escuela reflejó la visión y la relación particular de la comunidad con el HRC en insignias elaboradas con distintos materiales. Los distintivos fueron posteriormente digitalizados (ver Anexo 2) y se compartieron los resultados en los distintos establecimientos.

- ***Terreno en el HRC y actividad de terreno "Atrapando huellas:*** Debido a razones climáticas la actividad de terreno en el HRC fue reprogramada. En su lugar, se realizaron salidas de menor duración y a lugares cercanos a los establecimientos educacionales y a final de año se realizó una visita en lancha al HRC con estudiantes y profesores.
- ***Actividades interescolares***: No fue posible coordinar días y permisos con todas las escuelas para el desarrollo de actividades interescolares durante la jornada escolar. No obstante, para reemplazar esta actividad se realizó en la localidad de Pelchuquin y en coordinación con CONAF, Centro de Humedales Río Cruces, Comunidad Humedal, Ministerio del Medio Ambiente y actores locales, la Feria Ramsar 2017, actividad en que se conmemoró la declaratoria como Sitio Ramsar del Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter.

Si bien la ejecución de las actividades se realizó mayoritariamente según lo programado, fue difícil lograr que los profesores de las propias escuelas fueran quienes realizaran las clases con apoyo del equipo de la Universidad Austral. Los dos principales motivos que explican esta situación son: i) la sobrecarga de tareas a los que están sometidos los profesores, que, si bien son inherentes a la profesión docente, muchas veces superan la jornada de trabajo y por lo tanto les impide dedicar tiempo a nuevas

actividades, y ii) un porcentaje importante de los profesores no maneja los contenidos que aborda el programa y cuentan con pocas herramientas didácticas para su implementación.

Con el objeto de reforzar y facilitar el involucramiento de los docentes en el programa de monitoreo, para cada clase se elaboraron guías de apoyo con los objetivos pedagógicos, contenidos a abordar, descripción, pauta y tiempo estimado de cada actividad. Este material fue compilado, complementado y editado para la elaboración de una Guía docente de Ciencias: los humedales y su entorno, material que busca estimular y guiar la curiosidad innata de los niños tanto en aula como o fuera de ella, para generar capacidades de investigación y reflexión del humedal a partir de sus propias experiencias (ver Anexo 3), y una Guía de actividades docentes donde se presentan una serie de actividades para realizar tanto en la sala de clases como fuera de ella, de modo de facilitar el aprendizaje de los estudiantes (ver Anexo 4).

4.5.5 Evaluación del programa

El programa de monitoreo piloto propuesto para cuatro escuelas del área adyacente al HRC posee, como una de sus principales características, un potencial de escalamiento. Es decir, puede ser ampliado a nuevas escuelas, así como también en sus contenidos. Como se planteó en el informe del año 2016 del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC, cualquiera de los dos procesos que lleven a escalar o ampliar el programa deben ser fruto de una evaluación previa a partir del primer año de implementación piloto que permita posteriormente su rediseño.

La evaluación realizada por el equipo de la Universidad Austral de Chile para el primer año de implementación del programa de monitoreo local en las cuatro escuelas piloto del área de influencia del HRC indica lo siguiente:

- Existen fenómenos sociales y demográficos que escapan al ámbito de intervención de programa de monitoreo, como la disminución de la matrícula en las escuelas rurales producto de la migración de las familias a centros urbanos y la migración de alumnos de establecimientos municipales a colegios particulares subvencionados. Lo anterior ocurrió el año 2017 en 2 de las 4 escuelas piloto en que se implementó el programa, donde 5 alumnos abandonaron los establecimientos por alguno de los motivos expuestos anteriormente.

- Existe una gran cantidad de planes y programas que por normativa deben diseñar y ejecutar en los establecimientos educacionales, lo que se traduce en una evidente sobrecarga laboral de profesores y directivos[3]. Eso interfiere, por una parte, en el escaso tiempo que los docentes le pueden dedicar a la preparación de nuevas actividades, y por otra parte, en que muchas veces el tiempo destinado al programa de monitoreo se deba destinar actividades contempladas en los planes que se deben rendir al Ministerio de Educación.

- Las estrategias pedagógicas tradicionales y los escasos conocimientos disciplinarios que poseen los profesores dificultan que sean ellos mismos quienes realicen las actividades el programa de monitoreo local, ya que adquirir conocimientos específicos les implica un gran esfuerzo y una dedicación horaria que por los motivos anteriormente expuestos no poseen. El año 2017 fue posible implementar el programa de monitoreo local porque el equipo de la Universidad Austral de Chile asumió el liderazgo en las actividades del programa, no obstante, en la planificación que se hizo con los establecimientos se estableció que el rol de la Universidad sería de facilitación y acompañamiento y que la docencia sería realizada por los profesores de los colegios.

[3] Los planes requeridos por normativa son: Proyecto Educativo Institucional (PIE), Plan de Mejoramiento Educativo (PME), Plan de Gestión de la Convivencia Escolar, el Plan de Sexualidad, Afectividad y Género, el Plan de Formación Ciudadana, Plan Integral de Seguridad Escolar, Plan de Desarrollo Profesional Docente y Plan de Apoyo a la Inclusión.

- Actualmente, los incentivos que los profesores tienen para mejorar sus capacidades están en gran medida determinados por el Sistema de Desarrollo Profesional Docente, que permite avanzar en los tramos de la nueva carrera docente a través de un Sistema de Reconocimiento**.** El avance de un tramo a otro implica la posibilidad de asumir nuevas responsabilidades y mayores remuneraciones.

- La extensión de la jornada escolar en los establecimientos educacionales 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 como talleres. Esto implica que en la mayoría de los establecimientos existe poco tiempo para dedicar al programa de monitoreo dentro de la jornada escolar, lo que restringe la cantidad y calidad de las actividades que se pueden desarrollar en este contexto.

- Con respecto a los estudiantes, ha sido posible observar que si bien existe un nivel de conocimiento bajo respecto de las temáticas abordadas por el programa de monitoreo y un nivel más bien bajo de capacidades de análisis y pensamiento crítica, en general los grupos demuestran interés en las actividades propuestas lo cual facilita su implementación.

- Existe un grupo de 5 o 6 niños del total de estudiantes que participaron del programa que expresan mayores capacidades y talentos, que no encuentran un nivel de reto adecuado en el currículum ordinario y demuestran un interés mucho mayor que sus compañeros en las actividades y temáticas abordadas en el programa, llegando incluso a desarrollar actividades por cuenta propia en sus propios entornos y fuera del horario de clases.

- Existe una red de actores institucionales vinculados al HRC que se encuentra con disposición a organizar y coordinar acciones, algunos de los cuales realizan

actividades de educación ambiental en establecimientos educacionales. Sin embargo, no hay una oferta formativa articulada ni organizada curricularmente que permita escalar conocimientos, habilidades y competencias ni para los docentes ni para los estudiantes.

Los elementos anteriormente expuestos indican que no es apropiado proyectar la implementación del programa de monitoreo a partir del trabajo que se pueda realizar al interior las propias escuelas, debido a que en las condiciones actuales no es posible escalar o ampliar el programa ya que los establecimientos intervenidos por sí solos no pueden ejecutarlo. Por otra parte, se observan oportunidades que es posible y recomendable aprovechar para su rediseño con miras a proyectar el monitoreo local tanto en el espacio como en el tiempo.

4.5.6 Recomendaciones tendientes al rediseño del programa

Se proponen las siguientes acciones para el rediseño del programa de monitoreo en el ámbito de la gestión y en el ámbito educativo.

- Instalar capacidades en las comunidades educativas que permitan a los docentes identificar y desarrollar continuamente los talentos de sus estudiantes, con especial énfasis en el área de las ciencias ambientales, potenciando simultáneamente el desarrollo personal, intelectual y la creatividad de los niños y niñas. Este trabajo con los docentes debe enmarcarse en el sistema de carrera profesional docente que se ha instalado en todos los establecimientos educacionales que reciben financiamiento del Estado a partir de la Reforma Educacional, de manera que los profesores cuenten con un incentivo real para su perfeccionamiento. Para su adecuado diseño e implementación, se propone trabajar con el Ministerio de Educación y con un grupo de docentes y directivos de establecimientos educacionales de las comunas de Valdivia y Mariquina.

- Implementar en los diferentes periodos académicos de la Escuela de Talentos ALTA-UACh o en instancias de similares características, cursos y/o talleres de educación ambiental, abordados desde diversas disciplinas (ciencias naturales, ciencias sociales, deporte, artes, etc.). Para ello, se debe contar con información de las oportunidades y dificultades que implica la implementación de los cursos en las diferentes alternativas, para lo cual se debe trabajar con las unidades correspondientes al interior de la Universidad Austral de Chile (ALTA-UACh, Centro de Humedales, Centro de Educación Continua, Dirección de Vinculación con el Medio). Ministerio de Educación y Departamentos de Educación y Administración Municipal (DAEM) de las comunas de Valdivia y Mariquina.

- Diseñar mecanismos que permitan intencionar el ingreso de estudiantes a la Escuela de Talentos ALTA-UACh o a alguna instancia similar que permita la instalación de un programa de formación con enfoque curricular y orientado a niños y niñas con altas capacidades. De esta forma, los alumnos con mayor talento académico podrán profundizar conocimientos en distintas áreas de interés utilizando metodologías de investigación avanzada (lectura de bibliografía, trabajo por proyectos, etc). Para ello es necesario diseñar un plan formativo que se ajuste a estos requerimientos y evaluar su implementación en las diferentes unidades de la Universidad Austral de Chile.

- Apoyar el desarrollo por parte de los niños y niñas de proyectos de investigación relacionados con el humedal del río Cruces bajo la guía de profesionales especialistas. Al respecto se propone relacionar a los niños con la actividad científica de monitoreo del humedal, recibiendo orientación en sus proyectos de investigación y la posibilidad de participar en actividades de laboratorio o de terreno, etc.

4.5.7 Referencias

Leyton, T. 2013. Las Políticas de Educación Rural en Chile: Cambio y Continuidad. Comunicación presentada en Congreso de la Asociación Latinoamérica de Sociología 2013, Santiago, Chile.

5. SINTESIS, ALCANCES Y AMENAZAS O ADVERTENCIAS

En relación a estado ambiental actual del HRC

En general, los resultados del Tercer año del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC son similares a los de los dos 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 2017.

Para el caso específico de la **calidad de agua** del HRC, esta 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). Se mantiene la transparencia del agua y en relación al contenido de metales pesados solo algunos de ellos han sido detectados en muy bajas concentraciones no mostrando diferencias significativas entre campañas y sitios.

Para el caso específico de **calidad de sedimentos** no se han encontrado mayores diferencias entre años de muestreo; sin embargo, destaca el hecho de que durante el año 2017 y por primera vez desde el inicio de los estudios en el año 2014, se detectó la presencia de la Dioxina 1,2,3,7,8 PeCDD en los sedimentos del eje estuarial del río Cruces (sector San Luis).

Para el caso específico de las **macrófitas acuáticas**, destacan los siguientes aspectos:

i) actualmente, la presencia del 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).

ii) la frecuencia de ocurrencia del Huiro (*Potamogeton pusillus*) disminuyó notoriamente durante el tercer año del Programa de Monitoreo del HRC (2017) (Fig. 6.1). Al igual que el Luchecillo, el Huiro es una macrófita acuática consumida por el Cisne de cuello negro; por lo tanto, la eventual disminución sostenida de esta macrófita en el área del humedal es un tema que debe tenerse presente.

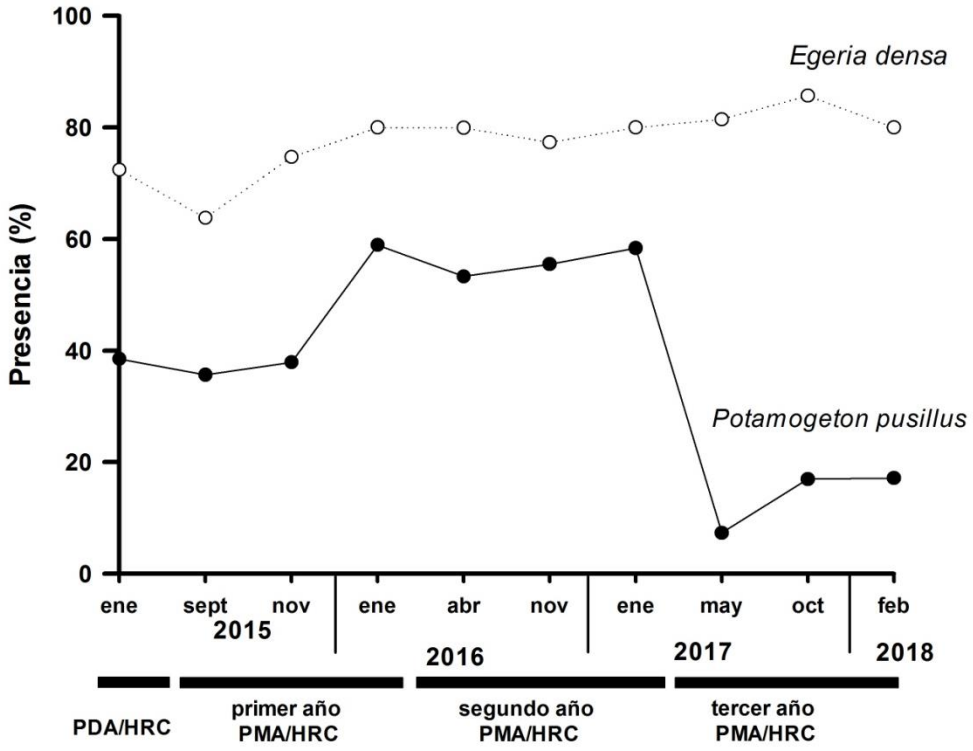


Figura 6.1. Presencia en porcentaje del Luchecillo (*Egeria densa*) y del Huiro (*Potamogeton pusillus*) en el HRC (para Metodología ver punto 4.2.7.1.3 (Material y métodos en Capítulo 4.2.7 Avifauna) pero aplicable a macrófitas acuáticas).

iii) se observó una notoria disminución de la presencia y distribución espacial de la Flecha de agua (*Sagittaria montevidensis*) (Fig. 6.2), especie que en su momento llevó a hipotetizar una eventual interacción competitiva por el espacio con el Luchecillo.

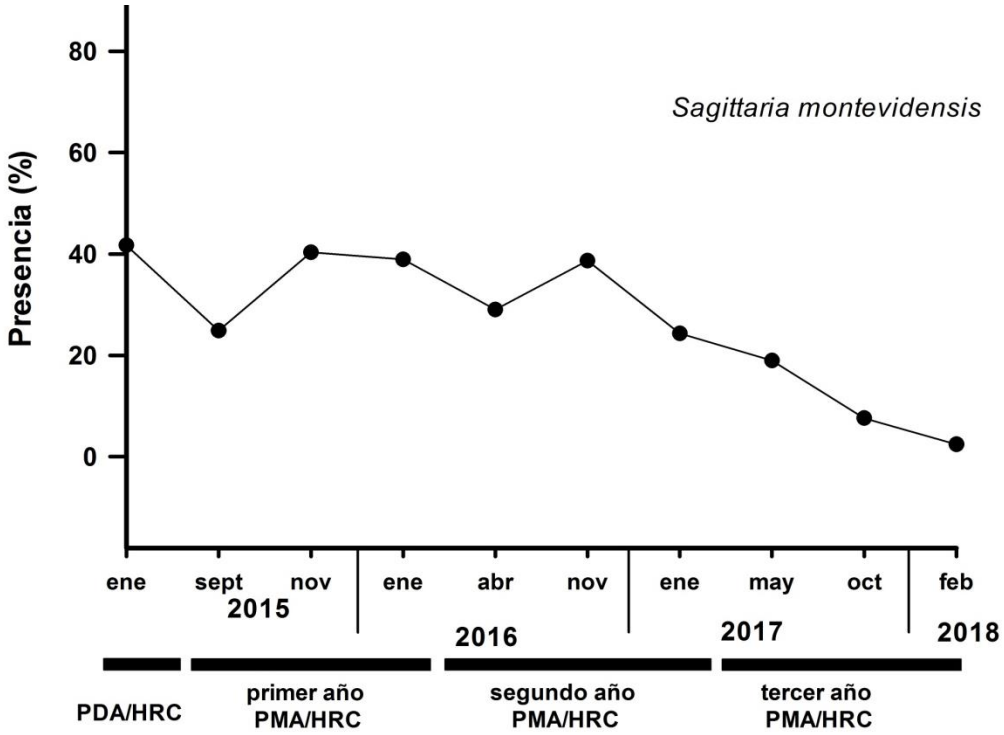


Figura 6.2. Presencia en porcentaje de la Flecha de agua (*Sagittaria montevidensis*) en el HRC (para Metodología ver punto 4.2.7.1.3 (Material y métodos en Capítulo 4.2.7 Avifauna) pero aplicable a macrófitas acuáticas).

iv) se ha constatado la expansión espacial del Duraznillo de agua (*Ludwigia peploides)* en el HRC (Fig. 6.3). Esto no es trivial, ya que observaciones recientes muestran que esta especie crece sobre las plantas de Luchecillo (Fig. 6.4 y Fig 6.5), 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 (ver por ejemplo: Dandelot, S., Robles, C., Pech, N., Cazaubon, A., Verlaque, R. 2008. Allelopathic potential of two invasive alien *Ludwigia* spp. Aquatic Botany 88: 311-316). Esta situación debe observarse con atención.

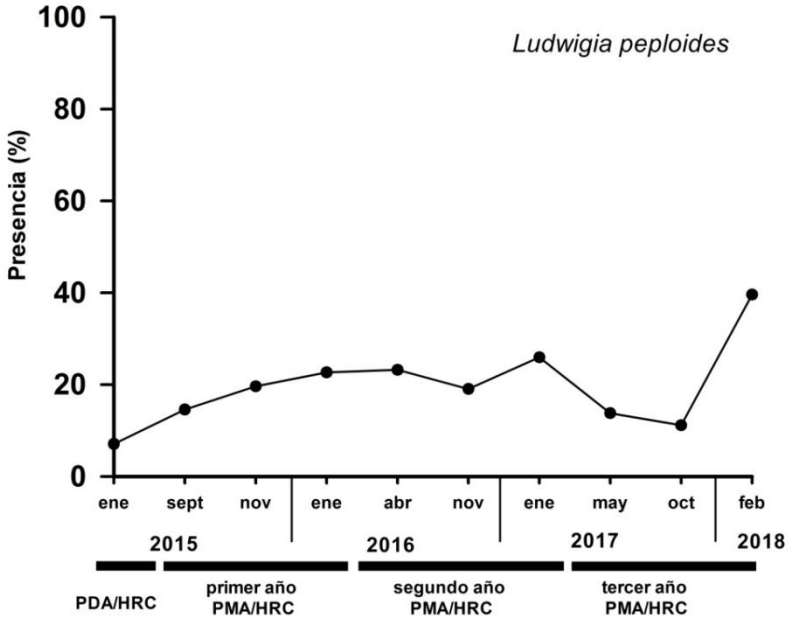


Figura 6.3. Presencia en porcentaje del Duraznillo de agua (*Ludwigia plepoides*) en el HRC (para Metodología ver punto 4.2.7.1.3 (Material y métodos en Capítulo 4.2.7 Avifauna) pero aplicable a macrófitas acuáticas).

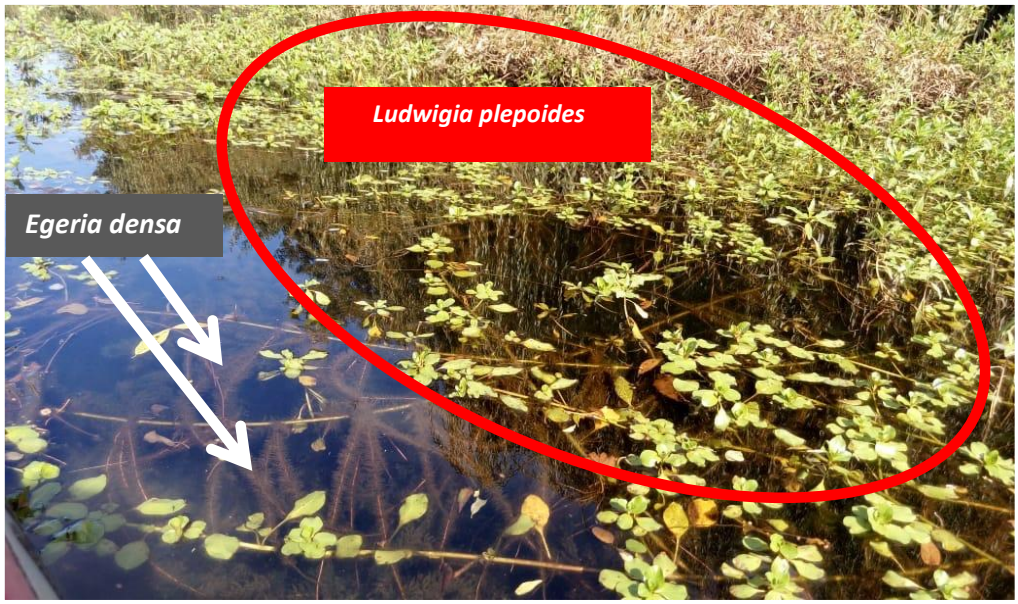


Figura 6.4. Sobre crecimiento de *Ludwigia plepoides* sobre el Luchecillo en el sector del río Cayumapu (fotografía obtenida en marzo 2018)

La Figura 6.5 muestra la notoria expansión de *Ludwigia plepoides* durante los años recientes (2015-2018) en el HRC.

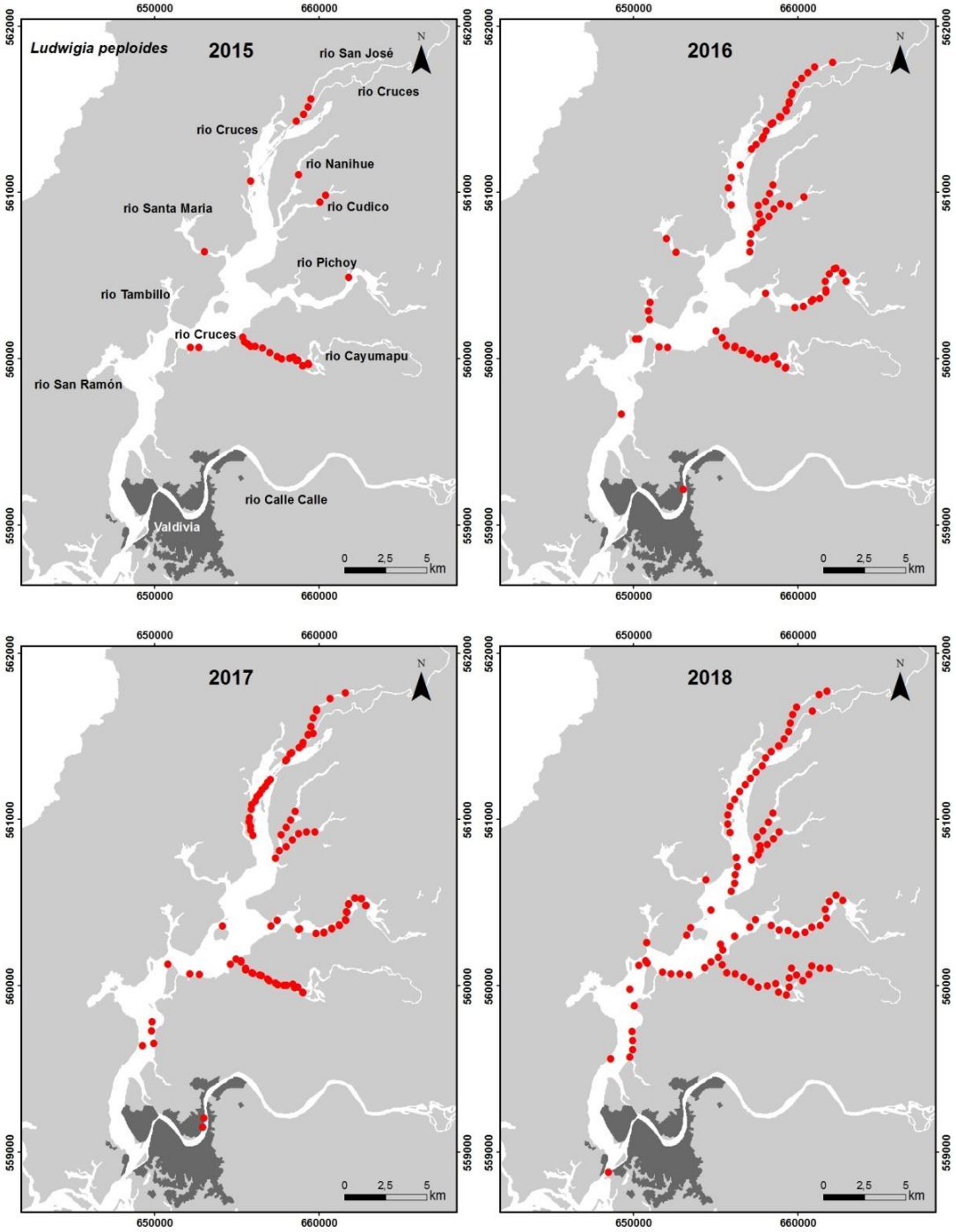


Figura 6.5. Cambios interanuales en la distribución espacial de *Ludwigia plepoides* en el HRC.

Para el caso específico de la **fauna de camarones y peces ribereños** destaca, lo siguiente:

i) Las concentraciones de Dioxinas, Furanos y equivalentes tóxicos (EQTs) en los tejidos del Camarón de río *Samastacus spinifrons*, no han diferido significativamente, ni entre años (2014-2017) ni entre sectores de muestreo (Ciruelos, Rucaco y Calle Calle).

ii) Durante el año 2017 no se detectaron las Dioxinas 2.3.7.8-TCDD y 1.2.3.7.8-PCDD en esos camarones, situación que sí había ocurrido para el primero de estos compuestos en especímenes de Ciruelos y Rucaco recolectados durante el otoño del año 2016. La segunda de esas dioxinas había sido detectada en camarones de Ciruelos durante el otoño de los años 2015 y 2016 y en especímenes de Rucaco durante el otoño del año 2016.

iii) Las concentraciones de Dioxinas presentes en los tejidos del puye *Galaxias maculatus*, fueron significativamente más altas durante la campaña realizada durante el otoño del año 2017, sin mostrar diferencias significativas entre especímenes de Ciruelos y Rucaco.

iv) Durante la campaña otoñal del año 2017 se detectó por primera vez la Dioxina 2.3.7.8-TCDD en los puyes de Ciruelos, Rucaco y Calle Calle. La Dioxina 1.2.3.7.8 también fue detectada durante esa campaña y durante la del año 2014 en especímenes de Ciruelos y Calle Calle y durante la del año 2016 en puyes de Ciruelos.

Para el caso específico de la **avifauna acuátia** destacan:

i) Las abundancias poblacionales del Cisne de cuello negro siguen al alza, no así las de la Tagua las que han sido muy variables en el tiempo; las cifras actuales para el

año 2017 indican una población de cisnes de aproximadamente XXX ejemplares. la Taguita no muestra señal alguna de recuperación poblacional.

ii) Durante el año 2017, se detectó nuevamente la presencia de las Dioxinas 2,3,7,8-TCDD y 1,2,3,7,8-PCDD en tejidos musculares y hepáticos enla Garza blanca grande.

En relación a los OBJETIVOS del Programa de Monitoreo

Los objetivos 1 y 3 del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC han sido:

i) 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.

ii) Integrar el conocimiento ecológico local (CEL) 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.

No obstante lo anterior, es necesario destacar lo siguiente: i) debido a la magnitud espacial del actual Programa de Monitoreo y a la alta complejidad de algunos laboratorios que procesan muestras del mismo, no es posible integrar los resultados de este programa con los resultados de otros programas cuyos objetivos sean similares, y ii) la integración del CEL con los estudios de los componentes abióticos y bióticos del medio acuático, se traduce en el "Diseño e implementación de un programa de monitoreo ecológico local orientado al fortalecimiento de capacidades y conocimientos de comunidades escolares aledañas al HRC." En primera instancia este programa incorpora aprendizajes científicos en las comunidades locales. Esto con el objetivo de permitir que las mismas comprendan aspectos de la estructura y funcionamiento del ecosistema local. Esto permitirá que las

comunidades generen nuevos aprendizajes, saber que debiera traducirse en nuevas prácticas de relacionamiento tanto con el humedal como con los científicos y técnicos que dirigen su monitoreo.

• 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.
ii) Cambios de uso de suelo debido a expansión urbana y actividades de cultivo.

iii) 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 y 2018 (primer, segundo y tercer 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
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		++	+++	++
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 tercer año del Programa de Monitoreo Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (abril 2016 - marzo 2017).

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., 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
Eduardo Jaramillo, Ph.D.
Camila Gatica, Biólogo Marino
Felipe Navarro, Biólogo Marino
Marcia González, M.Sc.Zoología

Fauna de camarones

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile
Eduardo Jaramillo, Ph.D.
Pamela López, Biólogo Marino
Cesar Barrales, Biólogo Marino
Marcia González, M.Sc., mención Zoología

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
- Marcia González, M.Sc., mención Zoología
- Cesa Barrales, 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
- Carlos Velasquez, Biólogo Marino
- Daniela Caifil, Ingeniera en Conservación Recursos Naturales, Mg. Desarrollo Rural ©

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
- Daniela Caifil, Ingeniera en Conservación Recursos Naturales, Mg. Desarrollo Rural ©
- Cesar Barrales, Biólogo Marino

Análisis comparativos de datos en estudios de riesgo ecológico

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile
- Mario Manzano, Lic. en Ciencias Biológicas, Dr. © Biología Marina

Cambios de uso del suelo

Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile
Adriano Rovira, Geógrafo, Dr. en Geografía

Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales
Víctor Sandoval, Ingeniero Forestal, M.Sc., Inventarios y Monitoreo de BosquesTropicales, Dr. Ciencias Forestales

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)
Pablo Iriarte, Sociólogo, Licenciado en Filosofía, M.Sc. Estudios Latinoamericanos.