



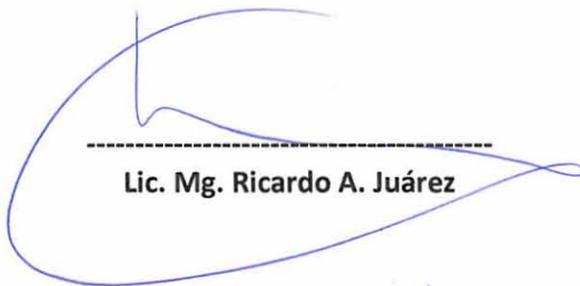
ZONA DE INFLUENCIA DE LA  
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUALEGUAYCHÚ  
2019

Monitoreo en el río Uruguay en la zona de influencia de la desembocadura del río Gualeguaychú. Informe del año 2019.

El presente informe ha sido elaborado por los actuales integrantes del Comité Científico (Iván González, Ricardo Juárez, Eugenio Lorenzo y Emilio Menvielle). De todo el proceso previo que se desarrolló (incluidas la preparación y la ejecución de los monitoreos, el acondicionamiento y procesamiento de las muestras, y la compilación y almacenamiento de resultados) ha participado activamente personal de diversas áreas de CARU, incluidas las Secretarías Técnica y Administrativa, los órganos subsidiarios Puente Gral. Artigas y Puente Libertador General San Martín, y especialmente, el Equipo de Apoyo del Comité Científico.



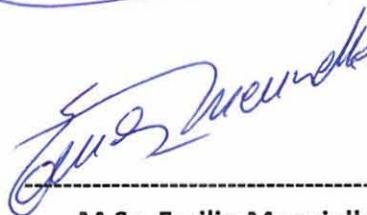
Dr. Iván González Bergonzoni



Lic. Mg. Ricardo A. Juárez



Ing. Eugenio Lorenzo



M.Sc. Emilio Menvielle

**Citar como:**

**Comité Científico CARU. 2023. Monitoreo en el río Uruguay en la zona de influencia de la desembocadura del río Gualeguaychú. Informe del año 2019. 222 páginas. Comisión Administradora del Río Uruguay.**

[www.caru.org.uy](http://www.caru.org.uy)



## Resumen Ejecutivo

Se reportan en el presente informe los resultados de las acciones de monitoreo desarrolladas durante el año 2019 en el marco del programa de monitoreo denominado “en el Río Uruguay en la zona de influencia de la desembocadura del río Gualedguaychú” según las directivas impartidas mediante el Acuerdo por intercambio de Notas Reversales (30 de agosto de 2010) en su apartado 4.

Este monitoreo abarcó múltiples matrices ambientales (agua, sedimento y biota), a partir de las campañas de monitoreo discreto desarrolladas en enero, abril, julio y octubre de 2019, más el monitoreo continuo realizado mediante una boya con sonda multiparamétrica fondeada en la zona de interés.

Respecto del objetivo general planteado para esta actividad de monitoreo, la evaluación de las condiciones ambientales en el medio acuático del río Uruguay en la zona de influencia de la desembocadura del río Gualedguaychú, para identificar si existen alteraciones en los niveles de calidad del río, se puede resumir lo siguiente:

Para la matriz agua, en las zona de influencia de la desembocadura del río Gualedguaychú se observaron cambios estadísticamente significativos con respecto a la condición del río Uruguay atribuibles a la descarga del río Gualedguaychú en los parámetros: amoníaco, antimonio, alcalinidad, aluminio, AOX, arsénico, azufre, bario, boro, calcio, cloruro, cobalto, carbono orgánico total y disuelto, cromo, DQO, dureza, estroncio, fluoruro, fósforo, litio, molibdeno, manganeso, níquel, ortofosfato, plomo, potasio, silicio, sodio, uranio, vanadio y zinc, nitrato y nitrito + nitrato. Cabe mencionar que para la mayoría de los parámetros los valores aumentan al recibir aportes del río Gualedguaychú, con la excepción de los parámetros nitrato y nitrito + nitrato cuyas concentraciones decrecen hacia la zona de afectación de la desembocadura del río Gualedguaychú.

Se observó una alta variabilidad entre los sitios de estudio, principalmente respecto a los contemplados en las zonas Cercana y Lejana a desembocadura. Entre estos, destaca la condición observada en el sitio denominado G3, el que presentó valores particularmente elevados para 31 de los parámetros que resultaran en diferencias significativas en la zona Cercana a desembocadura (este sitio se encuentra ubicado en una bahía donde las condiciones de flujo son más lentas, lo que a su vez genera una zona propicia para la sedimentación de la carga de finos que accede hasta ese lugar). Complementariamente, y mediante la aplicación de análisis multivariados, se observó que los patrones espaciales de los parámetros de calidad de agua responden en gran medida a la condición hidrológica del río Uruguay en cada instancia de monitoreo: en escenarios de caudales más altos del río Uruguay, todos los sitios a excepción de G3 presentaron condiciones similares de calidad de agua a las del canal principal del río Uruguay, mientras que en escenarios de caudales más bajos se observaron condiciones particulares en los sitios afectados por la descarga del río Gualedguaychú.

Se reportan incumplimientos respecto a la normativa de aplicación (Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay) para los parámetros oxígeno disuelto, pH y hierro (en la mayoría de los sitios de estudio) y para el manganeso en una ocasión y en lejano cercano a la desembocadura. En el caso de los parámetros oxígeno disuelto y pH, los incumplimientos reportados sólo fueron observados durante periodos de altos caudales circulantes por los ríos Uruguay y Gualeguaychú (en el caso del oxígeno, los incumplimientos también se observaron mediante el monitoreo continuo durante un periodo total de 12 días entre fines de enero y principios de febrero de 2019).

Respecto a la matriz sedimento, se observó una alta variabilidad en las proporciones más finas entre los sitios e instancias de estudio, lo que a su vez se condice con las mayores concentraciones en carbono orgánico total y materia orgánica (condición que cambia corrigiendo los valores de la muestra completa según la granulometría determinada en cada instancia). En el sitio Referencia se observaron los valores más elevados para fósforo y cromo, lo que podría ser indicador de la presencia en esa zona de aportes provenientes de poblaciones, actividades agrícolas o industriales.

No se constataron incumplimientos normativos para los parámetros analizados en sedimento, en tanto por una parte CARU no contaba con normativa propia al momento de la realización de esta actividad y por otra parte los valores registrados están aún por debajo de límites de referencia internacional utilizada por el Comité en otros casos.

Se realizaron ensayos de bioacumulación en almejas y en músculo de peces. Los compuestos detectados (dos metales y tres del grupo de los clorofenoles) no parecen tener un origen directamente atribuible a los aportes del río Gualeguaychú, y no se han detectado incumplimientos normativos respecto al parámetro dioxinas y furanos (único parámetro para el que se dispone de referencia normativa internacional). Complementariamente se evaluó el crecimiento durante el plazo de exposición de las almejas, resultando en que se observó una mayor tasa de crecimiento en el sitio Referencia respecto al único sitio ubicado en la zona de influencia de la desembocadura donde se obtuvo muestra.

Se desarrollaron índices de estado fisiológico utilizando la especie *Iheringichthys labrosus*, donde los resultados preliminares indican que los individuos colectados en la zona de influencia de la desembocadura presentaron una mayor condición corporal que los de la zona Referencia, mientras que los individuos hembra de esta especie colectados en esta última presentaron un mayor desarrollo gonadal, aunque la carencia de datos de línea de base no permite, con los datos disponibles hasta el momento, concluir respecto a las causas de esas diferencias. No se registraron diferencias en los índices de funcionamiento hepático entre los individuos colectados en las diferentes zonas.

Los estudios realizados de macroinvertebrados en bentos reflejaron una alta variabilidad entre los distintos sitios e instancias de monitoreo, con predominancias de grupos como los oligoquetos y los quironómidos (especies tolerantes a alta carga de materia orgánica y a menores concentraciones de oxígeno).

Se realizaron múltiples ensayos de toxicidad sobre muestras de agua y de sedimentos tomadas en la zona de estudio en distintos niveles tróficos. No se detectó toxicidad aguda ni efectos estadísticamente significativos sobre la supervivencia de los distintos tipos de organismos en ninguna de las muestras analizadas durante el periodo informado. Respecto a la toxicidad crónica, se puede concluir que el agua y los sedimentos en la zona del río no afectan la supervivencia de los organismos acuáticos analizados. Sin embargo, se han detectado consistentes efectos crónicos sobre el crecimiento tanto para los anfípodos como para larvas de peces que fueran expuestas al agua tomada del sitio Lejana a desembocadura (G5) durante el monitoreo de octubre de 2019, registrando menores tasas de crecimiento en este sitio que en el Control para ambos tipos de organismos. Esto podría deberse a una disponibilidad diferencial de nutrientes o a la incorporación de sustancias químicas que de alguna manera perjudiquen los mecanismos de crecimiento de los organismos en la zona Lejana a la desembocadura, debiendo esto ser profundizado con una mayor disponibilidad de datos.

## ÍNDICE

Resumen Ejecutivo .....	3
GLOSARIO DE SIGLAS .....	8
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	10
CAPÍTULO II: GENERALIDADES .....	14
2.1. OBJETIVOS DEL PROGRAMA .....	14
2.2. ÁREA DE ESTUDIO .....	14
2.3. METODOLOGÍA GENERAL .....	16
CAPÍTULO III: MATRIZ AGUA .....	20
3.1. METODOLOGÍA ESPECÍFICA .....	20
3.2. RESULTADOS DE LAS CAMPAÑAS DE MONITOREO .....	24
3.2.1. Parámetros de detección frecuente .....	25
3.2.2. Parámetros de baja frecuencia de detección .....	122
3.2.3. Parámetros no detectados .....	123
3.3. ANÁLISIS MULTIVARIADO .....	123
3.4. MONITOREO CONTINUO CON BOYA .....	136
3.4.1. Sobre la boya instalada .....	136
3.4.2. Resultados obtenidos .....	138
3.4.3. Comentarios finales sobre esta sección .....	145
3.5. CONCLUSIONES DE LA MATRIZ AGUA .....	147
CAPÍTULO IV: MATRIZ SEDIMENTO .....	152
4.1. METODOLOGÍA ESPECÍFICA .....	152
4.2. RESULTADOS DE LAS DETERMINACIONES DE CAMPO .....	155
4.2.1. Parámetros de detección frecuente .....	155
4.2.2. Parámetros no detectados .....	164
4.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	165
4.4. CONCLUSIONES DE LA MATRIZ SEDIMENTO .....	165
CAPÍTULO V: MATRIZ BIOTA .....	167
5.1. ALMEJAS .....	167
5.1.1. Metodología específica .....	167
5.1.2. Resultados de las determinaciones de campo .....	173
5.1.3. Conclusiones de la matriz biota-almejas .....	180
5.2. PECES .....	182

5.2.1.	Metodología específica .....	182
5.2.2.	Análisis de datos .....	186
5.2.3.	Análisis de la información .....	187
5.2.4.	Conclusiones de la matriz biota-peces.....	194
5.3.	<b>DIVERSIDAD DE BENTOS EN SEDIMENTO .....</b>	<b>197</b>
5.3.1.	Metodología específica .....	197
5.3.2.	Resultados de las determinaciones de campo .....	198
5.3.3.	Conclusiones sobre la matriz bentos en sedimento.....	200
<b>CAPÍTULO VI: ENSAYOS DE TOXICIDAD .....</b>		<b>201</b>
6.1.	<b>TOXICIDAD AGUDA.....</b>	<b>201</b>
6.1.1.	Metodología específica .....	201
6.1.2.	Resultados.....	201
6.1.3.	Conclusiones respecto a la toxicidad aguda .....	202
6.2.	<b>TOXICIDAD CRÓNICA EN MUESTRAS DE AGUA .....</b>	<b>202</b>
6.2.1.	Metodología específica .....	202
6.2.2.	Resultados.....	203
6.2.3.	Conclusiones respecto a la toxicidad crónica en agua .....	207
6.3.	<b>TOXICIDAD CRÓNICA EN MUESTRAS DE SEDIMENTO .....</b>	<b>208</b>
6.3.1.	Metodología específica .....	208
6.3.2.	Resultados.....	209
6.3.3.	Conclusiones respecto a la toxicidad crónica en sedimento.....	212
6.4.	<b>CONCLUSIONES RESPECTO A LOS ESTUDIOS DE TOXICIDAD .....</b>	<b>213</b>
<b>CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES.....</b>		<b>215</b>
<b>ANEXO I: RECOMENDACIONES PARA LA PROSECUCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE MONITOREO .</b>		<b>221</b>

## GLOSARIO DE SIGLAS

Del Organismo:

- CARU: Comisión Administradora del Río Uruguay.
- Digesto: Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay.
- SET: Secretaría Técnica de CARU.
- CC: Comité Científico de CARU.
- RA: República Argentina.
- ROU: República Oriental del Uruguay.

Analíticas:

- LC: Límite de cuantificación.
- LD: Límite de detección.
- ND: No detectado.
- NA: No analizado.
- NTK: Nitrógeno total de Kjeldahl.
- DBO<sub>5</sub>: Demanda bioquímica de oxígeno en 5 días.
- DQO: Demanda química de oxígeno.
- COT: Carbono orgánico total.
- COD: Carbono orgánico disuelto
- µg: microgramo.
- mg: miligramo.
- ng: nanogramo.
- L: litro.
- Kg: kilogramo.
- m<sup>3</sup>: metro cúbico.
- s: segundo.
- UFC: Unidades formadoras de colonias.
- WHO-TEQs: Equivalentes tóxicos.

Tratamiento estadístico:

- ANOVA: Análisis de varianza.
- ACP: Análisis de componentes principales.
- PERMANOVA: Análisis de varianza multivariante permutacional.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) es un organismo internacional integrado por la República Argentina y la República Oriental del Uruguay, concebido como concreción de la voluntad de ambos Estados de institucionalizar un sistema de administración global del río Uruguay en el tramo que comparten.

El Comité Científico de la CARU (CC) es un órgano subsidiario de la Comisión creado a partir del Acuerdo Presidencial de Olivos suscripto en julio de 2010 y las Notas Reversales intercambiadas por los Cancilleres en Montevideo en agosto de 2010, que tiene por cometido monitorear el río Uruguay y todos los establecimientos industriales, agrícolas y centros urbanos que vuelcan sus efluentes al río Uruguay y sus áreas de influencia y para lo cual se le ha asignado la Dirección Técnica de los monitoreos que CARU realiza.

El Comité está integrado por cuatro miembros (dos argentinos y dos uruguayos) que son los autores del presente reporte, y cuenta para el desarrollo de sus cometidos con un equipo de apoyo (EAC) conformado por 8 técnicos, 4 funcionarios de soporte a los que se suman profesionales externos que asisten en tareas específicas y becarios que realizan pasantías de 6 meses a medio tiempo en el Comité. También se dispone del apoyo de las Secretarías Técnica y Administrativa de CARU para aspectos específicos de la ejecución de campañas de monitoreo, de la logística de traslados de personal y de muestras y para apoyo en actividades administrativas y de gestión de los servicios analíticos y de otros proveedores del CC.

Las directivas de monitoreo del río Uruguay se encuentran definidas mediante el Acuerdo por intercambio de Notas Reversales (30 de agosto de 2010), según las instrucciones presidenciales (impartidas el 2 de junio de 2010 en Anchorena, Uruguay, y 28 de julio en Olivos, Argentina), y en el marco de lo dispuesto por la Corte Internacional de Justicia (en su sentencia del 20 de abril de 2010). En el enunciado introductorio se referencia al acuerdo presidencial de Olivos suscripto el 28 de Julio de 2010 por los presidentes de ambos países. Allí se establece "... el fin de monitorear el río Uruguay y todos los establecimientos industriales, agrícolas y centros urbanos que vuelcan sus efluentes al río Uruguay y sus áreas de influencia".

El apartado número cuatro de las Notas Reversales establece los lineamientos para el desarrollo de las actividades de monitoreo de la desembocadura del río Gualeguaychú en el río Uruguay. Este plan, por razones operativas, se desglosa en principio, en dos grupos de actividades específicas: uno que prevé acciones en el río Gualeguaychú, en una zona próxima a su desembocadura en el río Uruguay, y otro para el monitoreo del río Uruguay en la zona de influencia de la desembocadura del río Gualeguaychú.

Respecto a estas actividades, en las Notas Reversales se establece que "Los objetivos de este plan de monitoreo de la CARU serán:

1. Atender de forma continua a la evaluación de las condiciones ambientales existentes en el medio acuático del Río Uruguay en zona de influencia de la

- desembocadura del Río Guauguaychú, para identificar si existen alteraciones en los niveles de calidad del medio acuático del Río Uruguay establecidos por la CARU.
2. Verificar que la evacuación del Río Guauguaychú, considerado como efluente en su desembocadura, cumpla la normativa de la CARU y la normativa que Argentina ha dispuesto en su jurisdicción para proteger y preservar el medio acuático previniendo su contaminación.
  3. Alertar en forma temprana en caso de apartamientos de las normativas que sean de aplicación, ya sea en las condiciones del Río Guauguaychú o en las resultantes en el Río Uruguay, a fin de que las Autoridades Competentes adopten las medidas pertinentes”.

Del desglose de actividades enunciado, el presente informe atiende exclusivamente a las actividades desarrolladas en el medio acuático del Río Uruguay en zona de influencia de la desembocadura del Río Guauguaychú y por ello aplican los objetivos 1 y 3 arriba mencionados. Este informe es complementado con los informes mensuales para el mismo periodo de la actividad del río Guauguaychú en su desembocadura en el río Uruguay, integrando así las dos componentes de una única actividad de monitoreo, según lo acordado mediante el canje de Notas Reversales.

El programa de “Monitoreo en el río Uruguay en la zona de influencia de la desembocadura del río Guauguaychú” ha sido concebido en diciembre de 2018, una vez culminadas las actividades previstas para ese año 2018 en el marco del Procedimiento “PRD.010: Procedimiento para las mediciones in situ y toma de muestras de las aguas del Río Uruguay en la zona de influencia de la Planta Orión y de la desembocadura del Río Guauguaychú”, el que había sido elevado a CARU mediante Memorando 83/12. Aquella actividad precedente se ejecutó entre septiembre de 2012 y diciembre de 2018, y sus resultados fueron recopilados en cuatro informes emitidos en octubre de 2016 (campañas de 09/2012 a 04/2015), julio de 2017 (campañas de 05/2015 a 12/2016), febrero de 2019 (campañas de 01/2017 a 12/2017) y septiembre de 2020 (campañas de 01/2018 a 12/2018).

Para diciembre de 2018, pese a que no habían sido publicados aún los dos últimos reportes de aquel programa anterior (el penúltimo estaba en elaboración en ese momento), se tenía ya información suficiente producto de todos los monitoreos en la matriz agua desarrollados en la zona desde septiembre de 2012, como para poder rediseñar y racionalizar el esfuerzo de muestreo en esa matriz y extender los monitoreos hacia otras matrices ambientales consideradas de relevancia.

En tal sentido se elaboró una propuesta de reformulación de aquel anterior programa bajo la premisa de la existencia de dos zonas disjuntas donde mayormente se focalizan los efectos de ambas descargas (la de efluentes de UPM y la desembocadura del río Guauguaychú), que ameritan su seguimiento por separado. Adicionalmente se planteó la reducción de la frecuencia de monitoreo para las condiciones de calidad de agua del río Uruguay, visto el esfuerzo de monitoreo que se mantiene sobre los efluentes de la planta

UPM y sobre la desembocadura del río Gualedguaychú, la focalización de las determinaciones analíticas de laboratorio sobre aquellos parámetros que los monitoreos previos habían detectado como potencialmente más sensibles (a los efectos de las descargas objeto de interés y en función de la actividad específica que ese está relevando), y la integración de las actividades de monitoreo con otras históricamente planteadas en CARU como forma de optimizar los recursos que se disponen para tales fines.

Surgieron así en diciembre de 2018 dos programas diferentes, el “Monitoreo del Río Uruguay en la zona de potencial influencia la planta Orión (UPM-ex Botnia)” y el “Monitoreo del Río Uruguay en la zona de potencial influencia de la desembocadura del río Gualedguaychú”, que tienen muchos aspectos en común en cuanto a matrices relevadas, frecuencias de monitoreo y metodologías aplicadas, pero que también tienen sus particularidades individuales en lo que refiere a sitios de muestreo y parámetros analizados. Este informe se centra sobre el segundo de estos programas nombrados, presentando los resultados de las acciones de monitoreo desarrolladas en ese marco durante el año 2019.

El presente reporte compendia entonces los resultados de las acciones de monitoreo desarrolladas durante 2019 en las tres matrices ambientales objeto de trabajo en el marco de este programa (agua, sedimento y biota), a partir de las campañas de monitoreo discreto desarrolladas en enero, abril, julio y octubre de 2019, más el monitoreo continuo que realiza la boya fondeada en la zona de interés (equipada con una sonda multiparámetro para determinaciones de calidad de agua) desde enero de 2019.

La actividad de monitoreo de la matriz agua ha implicado el relevamiento de 69 parámetros diferentes, en conjunto con determinaciones simultáneas del caudal circulante por la zona, en el transcurso de cuatro campañas de monitoreo desarrolladas con frecuencia trimestral. Sobre la base de los resultados obtenidos se ha realizado la comparación contra la normativa establecida en el Digesto de CARU y análisis estadísticos univariados y multivariados (incluidos análisis de correlación y de componentes principales).

Como parte de las acciones de monitoreo de la matriz agua se ha relevado también la toxicidad aguda (con frecuencia trimestral) y la toxicidad crónica (con frecuencia semestral), sobre distintos organismos y niveles tróficos. Adicionalmente se ha desarrollado una medición continua de las condiciones de calidad de parámetros básicos (pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez y clorofila) en agua, en una zona situada en el río Uruguay frente a la desembocadura del río Gualedguaychú, mediante el empleo de una boya allí fondeada a tales efectos.

En cuanto al monitoreo de la matriz sedimento, se han relevado 10 parámetros de calidad en dos campañas de monitoreo de periodicidad semestral y comparado los resultados obtenidos con normativa de referencia internacional. Para los compuestos orgánicos se ha realizado además una corrección granulométrica de los resultados analíticos, a fin de cuantificar la presencia de estos compuestos en la fracción fina. También para esta matriz se ha relevado toxicidad crónica sobre el crustáceo anfípodo *Hyalella curvispina*.

Para las acciones de monitoreo de bioacumulación de la matriz biota se ha trabajado, por una parte, con especies locales de peces colectados en la zona, y por otra parte con almejas colocadas en cajas, las que se preparan en laboratorio y se exponen sobre el fondo por un lapso de aproximadamente 90 días, para evaluar la bioacumulación de contaminantes en músculo de algunos compuestos. En muestras de músculo de peces se realizaron determinaciones de compuestos fenólicos, dioxinas y furanos, y EOX; mientras que en muestras de tejido de almejas se analizaron compuestos fenólicos, EOX, cromo y níquel.

Para el caso de las almejas se buscó además evaluar la respuesta diferencial en su crecimiento durante el plazo de exposición que pudiera existir entre los sitios en función de la influencia de la desembocadura del río Gualaguaychú. Adicionalmente, en peces se ha podido relevar la estructura y composición de la comunidad, a partir del monitoreo realizado en el mes de octubre de 2019.

El informe se encuentra estructurado en siete capítulos, iniciando con este capítulo introductorio y luego un capítulo donde se abordan aspectos generales acerca de las actividades de monitoreo desarrolladas. Seguidamente se incluyen tres capítulos dedicados a la presentación de resultados de los monitoreos de las matrices específicas (agua, sedimento y biota), utilizando herramientas de representación gráfica y de análisis estadístico, más un capítulo específico que recoge los distintos estudios de toxicidad realizados tanto en la matriz agua como en la matriz sedimento. Por último, un capítulo final en el que se integran las conclusiones de la actividad para todo el periodo reportado.

Se agrega un anexo con recomendaciones para la prosecución de la actividad de monitoreo.

## **CAPÍTULO II: GENERALIDADES**

### **2.1. OBJETIVOS DEL PROGRAMA**

#### **Objetivo general**

El objetivo de esta actividad es atender de forma continua a la evaluación de las condiciones ambientales existentes en el medio acuático del río Uruguay en la zona de influencia de la desembocadura del río Gualeguaychú, para identificar si existen alteraciones en los niveles de calidad del medio acuático del río Uruguay establecidos por la CARU.

### **2.2. ÁREA DE ESTUDIO**

Se determinaron tres zonas de monitoreo adoptando un subconjunto de las estaciones relevantes en el programa precedente. Una primera zona denominada “zona Referencia” con sitios ubicados sobre el curso principal del río Uruguay, en sectores que se presume suficientemente alejados de la descarga del río Gualeguaychú (aguas arriba y aguas abajo de esta) como para no verse afectados por la misma. Una segunda zona denominada “Cercana a desembocadura” con sitios directamente debajo e inmediatos a la desembocadura del río Gualeguaychú, ubicados uno en la ensenada del Bellaco y otro en el extremo sur de esta última con el río Uruguay (Punta Laguna), en los que a partir del conocimiento previo del área se presume resultan receptoras de la descarga del río Gualeguaychú la mayor parte del tiempo. Una tercera zona denominada “Lejana a desembocadura” con sitios ubicados en la bahía de Ñandubayzal y sobre la margen derecha del río Uruguay, en los que a partir del conocimiento previo del área se presume resultan receptoras de la descarga del río Gualeguaychú en menor medida o solo en algunas circunstancias.

Para el monitoreo de calidad de agua cada una de las zonas se compone de dos sitios de monitoreo G1 y G6 constituyen la zona Referencia, los puntos G3 y G4 en la zona Cercana a desembocadura y los puntos G2 y G5 en la zona denominada Lejana a la desembocadura. En cada uno de estos sitios se realizaron determinaciones in situ y se extrajo una muestra integrada en la vertical (siempre que esto fuera posible) para posteriores determinaciones analíticas en laboratorio. Complementariamente, se definió un punto para evaluación ecotoxicológica (coincidente con el punto G2). Adicionalmente se mantuvo una boya con sonda multiparamétrica para la medición continua de las condiciones de calidad de agua denominada T7A (Figura 1).

Para la evaluación de las matrices biota y sedimentos se determinó un sitio para cada una de las zonas previamente referidas denominadas GByS 1, 2 y 3.

## Sitios de monitoreo

En la siguiente tabla se describen las coordenadas teóricas establecidas para cada sitio de muestreo:

*Posiciones teóricas de los sitios de monitoreo de agua.*

Zona	Sitio	Coordenada E	Coordenada S
Referencia	G1	0374729	6335899
	G6	0371088	6329600
Cercano a desembocadura	G3	0367457	6336937
	G4	0369205	6334720
Lejano a desembocadura	G2	0371854	6338328
	G5	0367514	6329491

*Posición teórica de boya con sonda multiparamétrica.*

Sitio	Coordenada E	Coordenada S
T7A	0371963	6334242

*Posición teórica del sitio para toxicidad aguda.*

Sitio	Coordenada E	Coordenada S
G2	0371854	6338328

*Posición teórica de los sitios de monitoreo de biota y sedimento.*

Sitio	Coordenada E	Coordenada S
GByS1	0374445	6336170
GByS2	0368821	6334613
GByS3	0367270	6330750

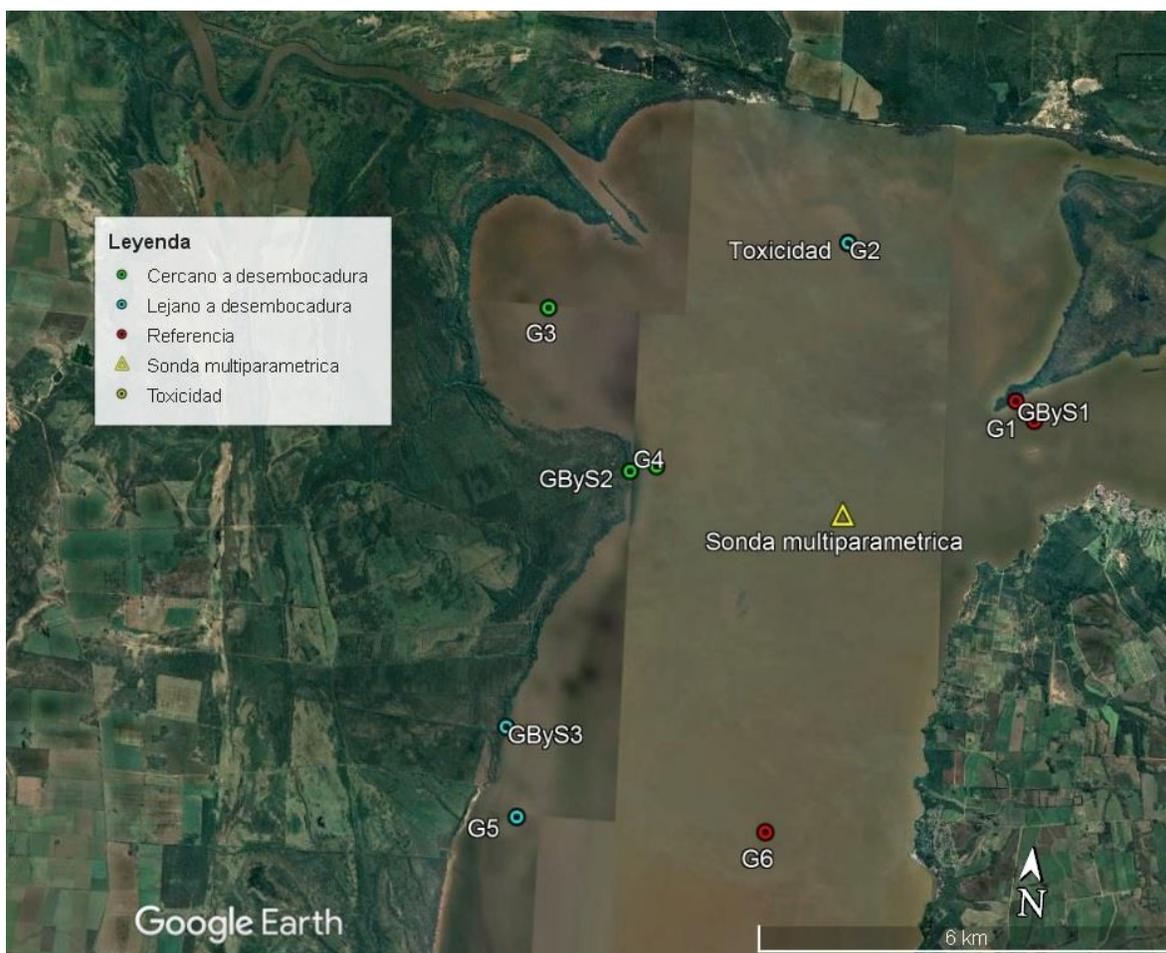


Figura 1: Sitios y zonas de muestreo.

### 2.3. METODOLOGÍA GENERAL

Para el monitoreo que aquí se informa se realizaron determinaciones de calidad de agua utilizando tres matrices ambientales: agua, sedimento y biota, además de bioensayos de toxicidad con organismos de referencia. Cada matriz fue monitoreada con una frecuencia específica, atendiendo al tipo de información que brinda.

Para la matriz agua el monitoreo se realizó de forma trimestral en seis puntos distribuidos a lo largo de aproximadamente 10 km entre las zonas Referencia y Lejana a desembocadura. En los sitios en los que ello no fue posible debido a la escasa profundidad, la muestra se tomó aproximadamente a la mitad de la columna de agua. En el punto G2 se colectaron muestras de agua para realizar ensayos de toxicidad aguda con *Daphnia magna* y Microtox® (*Vibrio fischeri*).

En el caso de la matriz sedimento el muestreo fue semestral, las muestras se tomaron con una draga tipo Van Veen. Para el muestreo de sedimento se seleccionaron sitios con presencia de sedimentos finos, preferentemente arena fina, limo y arcilla. Además de la caracterización físico-química, con las muestras obtenidas se realizaron ensayos de toxicidad utilizando *Hyalella curvispina* y se determinó además la diversidad y abundancia de invertebrados en el sedimento en cada sitio.

Para la matriz biota los muestreos fueron semestrales; en ellos se realizaron estudios de bioacumulación y crecimiento en almejas (*Corbicula fluminea*) y determinación de contaminantes en músculos de peces de especies centinelas (preferentemente *Iheringichthys labrosus* y *Hoplias argentinensis*)

Además, se realizaron ensayos de toxicidad crónica en *Hyalella curvispina* y *Pimephales promelas* con muestras de agua obtenidas semestralmente en los sitios de muestreo de la matriz sedimento.

### **Análisis de datos**

Uno de los diseños más adecuados y ampliamente utilizado para detectar potenciales impactos ambientales derivados de acciones específicas es el diseño BACI, así denominado por su sigla en inglés (Before-After; Control-Impact assesement) (Underwood, 1991).

Este tipo de diseño implica la obtención de valores de referencia (o control) de parámetros que sirvan para cuantificar un potencial impacto previo a la ocurrencia del mismo, tanto en el sitio potencialmente impactado como también en otro sitio de similares características ambientales pero ubicado fuera de la zona de potencial impacto, caracterizando así un estado de línea de base.

De ese modo el diseño BACI implica comparar los valores de cada uno de los parámetros seleccionados entre un estado previo a la acción de la que deriva la ocurrencia del potencial impacto y un estado posterior a esa ocurrencia, y entre una zona o sitio empleado como control y una zona receptora del potencial impacto, así como también testear la existencia de una interacción entre los factores tiempo y localización; es decir analizar si la variabilidad existente en el estado de línea de base entre la zona control y la zona receptora se mantiene incambiada luego de la ocurrencia de la acción de la que deriva el potencial impacto que se analiza.

En el marco de un diseño BACI la existencia de un determinado nivel de impacto ambiental se evidencia en caso de que los valores de los parámetros analizados en la zona o sitio control y en la zona receptora se vean significativamente alterados con respecto a la situación previa a la acción de la que deriva el potencial impacto. En términos de análisis estadístico esto se evalúa realizando un análisis de la varianza (ANOVA) factorial de dos vías,

en donde se hace foco en analizar la existencia de una interacción significativa ( $\alpha=0,05$ ) entre los dos aspectos o factores analizados: el tiempo (previo vs. posterior a la existencia de la acción de la que deriva el potencial impacto) y el sitio (zona control vs. zona receptora). En el caso del no cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, el test a utilizar puede ser un modelo lineal generalizado utilizando la distribución que mejor ajuste a los datos (Zuur et al., 2009).

El presente programa de bio-monitoreo se ha concebido siguiendo al máximo posible un diseño BACI clásico, con algún ajuste en tanto no se cuenta con datos de línea de base de similar fiabilidad a los obtenidos mediante este programa en matriz agua, sedimento o bioacumulación en peces previo a este programa. Para estas dimensiones mencionadas el ajuste está en que se compara una zona referencia con dos zonas con distinto grado de afectación esperada por la descarga del río Gualeguaychú. Nótese que en el caso de la matriz sedimento, si bien se ejecutan muestreos en una zona de referencia, al existir únicamente dos muestreos anuales no se cuenta con réplicas suficientes al momento del presente informe como para realizar un análisis estadístico tal como el previsto para las restantes dimensiones.

En el caso de los bioensayos con bivalvos en cajas se cumple completamente con un diseño BACI clásico, ya que se cuenta con muestras de tejido de almejas pertenecientes a la misma población analizadas previo a su exposición en zona de control y en zonas receptoras, las que se emplean a modo de condición de línea de base en las comparaciones que se realizan. Es así como en esta dimensión los análisis estadísticos apuntan a comparar las concentraciones pre-exposición y post-exposición a la misma vez que comparar los valores entre zonas referencia y receptoras luego del periodo de exposición. Por problemas logísticos, se carece de réplicas para la muestra pre-exposición (primer muestreo de 2019) por lo cual consecuentemente solamente se alcanza a reportar los valores de los parámetros analizados en los sitios post-exposición y a cotejarlos con los valores obtenidos pre-exposición, pero sin poder contar con apoyo estadístico para el análisis de las diferencias existentes entre las determinaciones realizadas.

### **Aclaraciones sobre la presentación de resultados**

En las tablas de datos se destacan en color naranja aquellos parámetros que incumplen la normativa del Digesto de CARU vigente a la fecha de la ejecución del monitoreo. En todos los casos se ha optado por contemplar la condición que impone el Uso más exigente, independientemente de que exista o no zonificación aplicable para el sitio informado.

Los resultados de las determinaciones realizadas sobre parámetros de calidad de agua y sedimento se presentan tal como fueran enviados por el correspondiente laboratorio analítico, con sus respectivos símbolos y valores de detección y cuantificación. Se hace notar que para algunos parámetros los límites de detección y cuantificación variaron en el tiempo.

Sólo se representaron gráficamente y fueron incluidos en los análisis estadísticos aquellos parámetros que fueron detectados en más del 10% de las muestras. Sin embargo, fueron explorados todos los parámetros que fueron detectados, ya que muchos de ellos aparecen en pocos sitios o en pocas muestras, pero su aparición y sus valores de concentración representan un riesgo potencial para la biota del río.

Para el cálculo de los estadísticos de cada parámetro de calidad de agua se ha utilizado el siguiente criterio: para todos aquellos casos en los que el valor informado por el laboratorio -debido a la técnica analítica utilizada- resulta ser “menor que” un cierto límite de detección o cuantificación (según sea el caso), se ha tomado un valor numérico igual a dicho límite (a modo de ejemplo cuando se informó menor que 0,02 mg/L, se ha tomado 0,02 mg/L como valor a los efectos del cálculo). A los fines de la representación gráfica se ha seguido el mismo criterio.

## CAPÍTULO III: MATRIZ AGUA

### 3.1. METODOLOGÍA ESPECÍFICA

En la matriz agua se tomaron muestras con una frecuencia trimestral, iniciando los monitoreos en el mes de enero de 2019. Se realizaron cuatro muestreos durante el período informado (enero, abril, julio y octubre) en esta matriz.

Para la zona de potencial influencia de la desembocadura del río Gualeguaychú en el río Uruguay se ubicaron dos sitios de Referencia (G1 y G6), dos sitios en la zona Cercana a desembocadura (G3 y G4) y dos sitios en la zona Lejana a desembocadura (G2 y G5), más un sitio adicional (G2) donde se realizaron estudios de toxicidad aguda (cuyos resultados se abordan en el capítulo VI del presente informe).

Las muestras se tomaron compuestas a tres profundidades tal como fuera descripto previamente (siempre que esto fuera posible), para profundidades menores a 3 m se tomó una muestra simple sub-superficial. Se realizaron mediciones in situ con sonda multiparamétrica marca YSI, modelo EXO2, con sensores para la medición de pH, conductividad/temperatura, oxígeno disuelto (OD), turbidez y clorofila. Se registraron de manera independiente las mediciones in situ en la columna de agua denominando los tres niveles como sub-superficial, mitad de columna y fondo. Se determinó además la transparencia con disco de Secchi y la profundidad total y las coordenadas de trabajo con ecosonda.

Para la toma de muestras se adosó al cuerpo de la sonda una manguera para la extracción de la muestra a través de una bomba peristáltica. Las muestras se colectaron en envases plásticos de 25 L de capacidad, que fueron almacenados en frío y oscuridad hasta su arribo al Laboratorio del Comité Científico (LCC), donde fueron fraccionados a sus volúmenes finales y se adicionó conservante en caso de corresponder. Las muestras fueron almacenadas en freezers a 4 °C hasta su envío final a los laboratorios de destino.

La determinación del caudal se realizó mediante el empleo de un equipo perfilador eco-Doppler, que se traslada solidario a la embarcación de monitoreo de una a otra margen relevando el perfil de fondo y las condiciones de velocidad en la vertical. El caudal surge de la integración de esas variables (profundidad y velocidad) a lo largo de la sección, en un cálculo que directamente entrega el equipo. La sección donde se realiza la medición está ubicada inmediatamente aguas abajo de donde se localiza el puente Libertador General San Martín.

Los laboratorios utilizados para esta actividad de monitoreo fueron:

- Laboratorio del Comité Científico (LCC), Binacional.
- Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU), Uruguay.
- Laboratorio de la Universidad Nacional de Entre Ríos, sede Gualeguaychú (UNER), Argentina.
- Laboratorio Pacific Rim (PRL), Canadá
- Laboratorio Exova/Element, Canadá.

- Laboratorio Econotech, Canadá.

## Parámetros

A continuación, se listan los parámetros de calidad de agua analizados junto con los laboratorios intervinientes y los correspondientes límites de detección y cuantificación que estos han informado.

Laboratorio	Parámetro	LD	LC
In situ	Temperatura (°C)	-	0,001
In situ	Conductividad (µS/cm)	-	0,0001
In situ	pH	-	0,01
In situ	OD (mg/L)	-	0,01
In situ	Turbidez (NTU)	-	0,01
In situ	Clorofila (µg/L)	-	0,01
LATU	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	0,5	-
Exova/Element	COT (mg/L)	0,5	-
Exova/Element	COD (mg/L)	0,5	-
Exova/Element	ST (mg/L)	5	-
Exova/Element	SST (mg/L)	2	-
LCC	DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	2,8	5,6
Exova/Element	DQO (mg/L)	5,0	-
Exova/Element	Nitrógeno total de Kjeldahl (mg/L)	0,07	-
Exova/Element	Nitrato (mg/L)	0,01	-
Exova/Element	Nitrito (mg/L)	0,005	-
Exova/Element	Sustancias amoniacales (mg/L)	0,025	-
Exova/Element	Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	1	-
LCC	Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	1,7	4,4
Exova/Element	Fósforo Total (mg/L)	0,003	-
LATU	Fósforo de ortofosfato (µg/L)	13,0	32,0
Exova/Element	Sodio (mg/L)	0,1	-
Exova/Element	Calcio (mg/L)	0,01	-
Exova/Element	Potasio (mg/L)	0,04	-
Exova/Element	Magnesio (mg/L)	0,02	-
Exova/Element	Cromo (mg/L)	0,00005	-
Exova/Element	Estaño (mg/L)	0,0001	-
Exova/Element	Silicio (mg/L)	0,005	-
Exova/Element	Azufre (mg/L)	0,02	-
Exova/Element	Titanio (mg/L)	0,002	-
Exova/Element	Aluminio (mg/L)	0,001	-

Exova/Element	Antimonio (mg/L)	0,00002	-
Exova/Element	Arsénico (mg/L)	0,0001	-
Exova/Element	Bario (mg/L)	0,0001	-
Exova/Element	Berilio (mg/L)	0,00005	-
Exova/Element	Bismuto (mg/L)	0,0001	-
Exova/Element	Boro (mg/L)	0,002	-
Exova/Element	Cadmio (mg/L)	0,00001	-
Exova/Element	Cobalto (mg/L)	0,00002	-
Exova/Element	Cobre (mg/L)	0,0002	-
Exova/Element	Hierro (mg/L)	0,002	-
Exova/Element	Plomo (mg/L)	0,00001	-
Exova/Element	Litio (mg/L)	0,0005	-
Exova/Element	Molibdeno (mg/L)	0,00002	-
Exova/Element	Níquel (mg/L)	0,0002	-
Exova/Element	Selenio (mg/L)	0,0002	-
Exova/Element	Plata (mg/L)	0,00001	-
Exova/Element	Estroncio (mg/L)	0,0001	-
Exova/Element	Teluro (mg/L)	0,00005	-
Exova/Element	Talio (mg/L)	0,00001	-
Exova/Element	Torio (mg/L)	0,00005	-
Exova/Element	Uranio (mg/L)	0,00001	-
Exova/Element	Vanadio (mg/L)	0,00005	-
Exova/Element	Zinc (mg/L)	0,0005	-
Exova/Element	Circonio (mg/L)	0,0001	-
Exova/Element	Sulfato (mg/L)	0,1	-
Exova/Element	Cloruro (mg/L)	0,05	-
Exova/Element	Bromuro (mg/L)	0,02	-
Exova/Element	Fluoruro	0,01	-
Exova/Element	Manganeso (mg/L)	0,001	-
Exova/Element	Compuestos Fenólicos totales (mg/L)	0,001	-
Exova/Element	Permetrina (cis+trans) (µg/L)	0,5	-
Exova/Element	Atrazina (µg/L)	0,1	-
Exova/Element	Hidrocarburos totales de petróleo (EPHw 10-19/EPHw 19-32) (µg/L)	400	-
Pacific Rim	Endosulfán (total) (ng/L)	0,2	-
Pacific Rim	Paratión (ng/L)	1	-
Econotech	AOX (µg/L)	-	-
LATU	Bioensayo de toxicidad aguda con <i>Daphnia magna</i> (EC50, 48 h) (%)	-	-

LATU	Bioensayo de Toxicidad aguda con Microtox <sup>®</sup> ( <i>Vibrio fischeri</i> ) (IC50, 5 min, 15 min, IC 50 30 min) (%)	-	-
------	---	---	---

Adicionalmente, se complementó el monitoreo de la matriz agua a partir de la instalación de una boya con sonda multiparamétrica. Las especificidades operativas respecto a este equipamiento se encuentran detalladas en el apartado 3.4.

### Sitios de muestreo de la matriz agua



Figura 2: Sitios de monitoreo de la matriz agua.

### Análisis estadístico

Con el fin de comparar estadísticamente los valores de cada parámetro entre las tres zonas (Referencia, Cercana a desembocadura y Lejana a desembocadura), se realiza un Análisis de la Varianza (ANOVA) a un  $\alpha=0,05$ . En caso de detectarse diferencias estadísticamente significativas se realiza un test a post Hoc. de comparaciones múltiples de Tukey corregido por Bonferroni. En todas las comparaciones estadísticas realizadas se utiliza cada registro a lo largo del período de estudio como una réplica, tratando la identidad de cada mes como un efecto aleatorio. En el caso particular de los parámetros in situ registrados con sonda a tres profundidades se compararon adicionalmente los valores obtenidos a cada profundidad (Sub-superficial, mitad de columna y fondo) dentro de cada zona. Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete “nlme” en el software libre R.

### **Reporte de resultados**

En todos los casos se presenta la tabla de resultados obtenidos, acompañados –cuando corresponde– de una representación gráfica de su variación espacial, en la que se representa además mediante boxplot la mediana, los percentiles 25 y 75 y el último de los datos que se encuentra comprendido dentro de un intervalo que dista tres desviaciones estándar de la media. En caso de existir datos por fuera de esos intervalos (outliers), son representados con un símbolo específico, pero contemplados en todos los análisis estadísticos realizados. En este último tipo de gráfico se ha incluido también la existencia de diferencias significativas entre los distintos grupos conformados, identificando con letras los grupos que presentan diferencias significativas respecto a los otros grupos. Cada grupo presenta diferencias significativas con todos aquellos grupos que no estén identificados con la misma letra. En caso de que las diferencias no resulten estadísticamente significativas no se utilizan letras en las figuras.

Para los parámetros relevados se incluye una representación gráfica adicional de los valores obtenidos en cada sitio y en cada instancia de monitoreo, agrupando los sitios según la zona a la que pertenecen. En caso de corresponder, esta figura incorpora también mediante una línea roja punteada el límite normativo establecido para el parámetro en cuestión.

### **3.2. RESULTADOS DE LAS CAMPAÑAS DE MONITOREO**

Seguidamente se presentan los resultados de las muestras obtenidas y las mediciones directas realizadas en cada una de las campañas trimestrales de monitoreo ejecutadas durante 2019.

Los resultados se presentan segregando aquellos parámetros de calidad de agua con detección frecuente de los que tienen una baja frecuencia de detección, identificando finalmente aquellos parámetros para los que nunca se obtuvo valores por sobre el límite

de detección analítico empleado. En los casos puntuales en los que no se cuente con un resultado válido en las tablas de resultados se informa con la expresión s/d (sin dato).

### 3.2.1. Parámetros de detección frecuente

#### Caudal

La determinación del caudal circulante en ocasión de cada instancia de monitoreo, pese a no ser estrictamente un parámetro de calidad de agua, es altamente relevante vista la innegable vinculación que existe entre las condiciones de calidad y cantidad de agua. Por ello es pertinente conocer la condición hidrológica existente en oportunidad de cada campaña de monitoreo, a los fines de posibilitar una mejor interpretación de los resultados obtenidos.

Durante el mes de enero se registraron condiciones particularmente altas de caudal (21379 m<sup>3</sup>/s); mientras que las condiciones en los meses restantes resultaron similares, con caudales bajos, siendo el caudal mínimo de 1751 m<sup>3</sup>/s durante el mes de abril.

Corresponde hacer notar que en el mes de abril, por dificultades técnicas con el equipo ADCP, no se pudo realizar la medición directa del caudal. Subsidiariamente entonces se realizó un cálculo estimativo a partir de un promedio de los valores de caudales erogados por la represa de Salto Grande durante los dos días previos a la realización de las actividades de monitoreo. Esta estimación fue ajustada mediante un factor de corrección calculado a partir del promedio de error replicando la metodología en las instancias de condiciones hidrológicas similares (bajo caudal) para las que se realizaron aforos durante el desarrollo de las actividades de monitoreo.

Los valores de caudal circulante por el río Uruguay en la zona de influencia de desembocadura del Río Gualeguaychú en cada campaña han sido los siguientes:

*Valores de caudal.*

<b>CAMPAÑA</b>	<b>CAUDAL m<sup>3</sup>/s</b>
<b>Enero</b>	21379
<b>Abril</b>	1751
<b>Julio</b>	3655
<b>Octubre</b>	1765

#### Profundidad total

El sitio que presentó mayor profundidad media durante el periodo de estudio fue G6, en la zona Referencia, con una media de 7,18 m y con un rango entre los 8,7 m de profundidad en el mes de enero y los 6,4 m en los meses de julio y octubre. Por el contrario, el sitio que presentó las profundidades más someras fue el sitio G4 (Cercana a desembocadura), con una media de 2 m y un rango que osciló entre los 3,6 m de máxima en el mes de enero y los 1,2 m de mínima en los meses de julio y octubre. La profundidad mínima registrada se vio en el sitio G3, en el mes octubre (1 m de profundidad).

*Profundidad total del río durante la realización de las campañas de monitoreo.*

<b>Fecha de muestreo</b>	<b>Enero</b>	<b>Abril</b>	<b>Julio</b>	<b>Octubre</b>
<b>G1</b>	9,4	5,1	5,3	5,5
<b>G2</b>	4,6	2,4	2,1	1,5
<b>G3</b>	3,9	2,2	1,4	1
<b>G4</b>	3,6	2	1,2	1,2
<b>G5</b>	3,8	2,2	1,6	1,4
<b>G6</b>	8,7	7,2	6,4	6,4

## **Clorofila**

Los valores aquí reportados son los obtenidos in situ mediante el empleo de sonda multiparamétrica. En tal sentido, estos valores deben interpretarse como estimaciones consistentes entre sí, pudiendo diferir de lo que resultaran determinaciones analíticas de laboratorio sobre muestras de agua tomadas en esos mismos sitios.

Los valores de clorofila observados durante el periodo de estudio resultaron en una media de 4,04 µg/L. Se observó un máximo de 11,06 µg/L a nivel sub-superficial en el mes de octubre en el sitio G4 (Cercana a desembocadura), mientras que la mínima concentración, de 1,39 µg/L, fue observada en el sitio G6 (Referencia) en el mes de julio.

No se observaron diferencias significativas entre las zonas de estudio con respecto a la clorofila (ANOVA,  $p > 0,05$ , Figura 3). En todos los casos, los valores de clorofila más elevados se observaron durante los meses de primavera-verano (octubre y enero).

*Valores de clorofila.*

<b>Fecha de muestreo</b>	<b>Posición</b>	<b>Enero</b>	<b>Abril</b>	<b>Julio</b>	<b>Octubre</b>
G1	Sub-superficial	3,3	2,26	1,68	3,32
G1	Mitad Columna	3,3	2,02	1,64	3,38
G1	Fondo	2,9	1,94	1,63	3,47

G2	Sub-superficial	6,6	4,69	2,12	9,26
G2	Mitad Columna	4,6	s/d	s/d	s/d
G2	Fondo	3,3	s/d	s/d	s/d
G3	Sub-superficial	9,8	5,74	4,07	9,46
G3	Mitad Columna	7,3	s/d	s/d	s/d
G3	Fondo	8	s/d	s/d	s/d
G4	Sub-superficial	5,9	2,56	2,36	11,06
G4	Mitad Columna	4,6	s/d	s/d	s/d
G4	Fondo	4,5	s/d	s/d	s/d
G5	Sub-superficial	4,9	5,8	2,87	10,07
G5	Mitad Columna	4,5	s/d	s/d	s/d
G5	Fondo	4,7	s/d	s/d	s/d
G6	Sub-superficial	3	1,55	1,39	3,23
G6	Mitad Columna	2,4	1,62	1,39	3,16
G6	Fondo	2,9	1,68	1,49	3,29

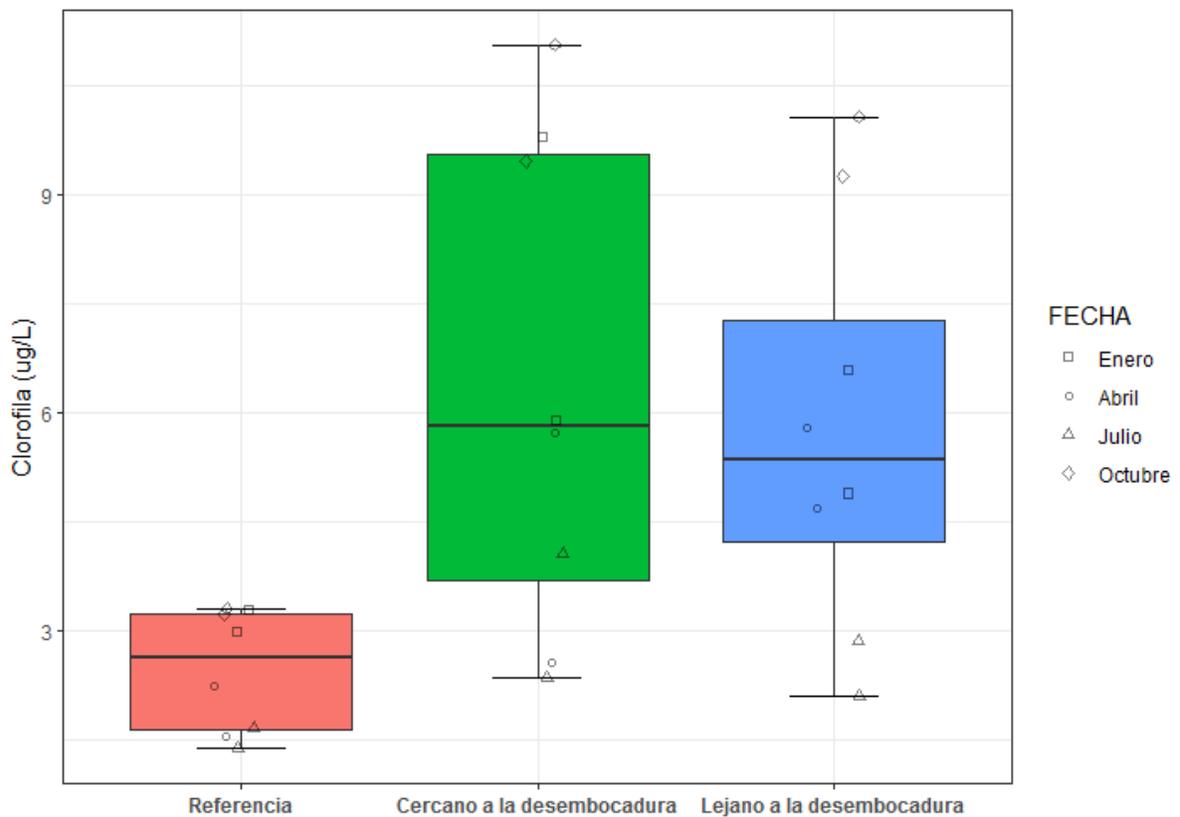


Figura 3: Variación espacial de clorofila.

## Conductividad

Durante el periodo de estudio se observó una conductividad media de 86,04  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , siendo 285  $\mu\text{S}/\text{cm}$  la conductividad más alta observada en G3 (zona Cercana a desembocadura), en la posición sub-superficial de la columna de agua, en el mes de octubre. Por el contrario, la conductividad más baja observada durante el periodo de estudio fue 46  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y corresponde a la medición realizada en el sitio G1 (Referencia, en todas las posiciones) y en G2 (Lejana a desembocadura; medida en el fondo) en el mes de enero.

No se observaron diferencias significativas entre las zonas de estudio respecto a la conductividad (ANOVA,  $p > 0,05$ , Figura 4).

*Valores de conductividad.*

<b>Fecha de muestreo</b>	<b>Posición</b>	<b>Enero</b>	<b>Abril</b>	<b>Julio</b>	<b>Octubre</b>
G1	Sub-superficial	46	66,3	71,8	81,4
G1	Mitad Columna	46	66,8	71,9	81,4
G1	Fondo	46	66,8	71,8	81,6
G2	Sub-superficial	51	75,1	73,3	74,8
G2	Mitad Columna	47	s/d	s/d	s/d
G2	Fondo	46	s/d	s/d	s/d
G3	Sub-superficial	73	97,8	112,7	285
G3	Mitad Columna	80	s/d	s/d	s/d
G3	Fondo	82	s/d	s/d	s/d
G4	Sub-superficial	51	67,7	85,6	199
G4	Mitad Columna	48	s/d	s/d	s/d
G4	Fondo	48	s/d	s/d	s/d
G5	Sub-superficial	49	118,4	85	230,5
G5	Mitad Columna	49	s/d	s/d	s/d
G5	Fondo	49	s/d	s/d	s/d
G6	Sub-superficial	50	75,9	77,7	89,2
G6	Mitad Columna	50	75,9	77,9	88,7
G6	Fondo	50	75,8	78,1	88,2

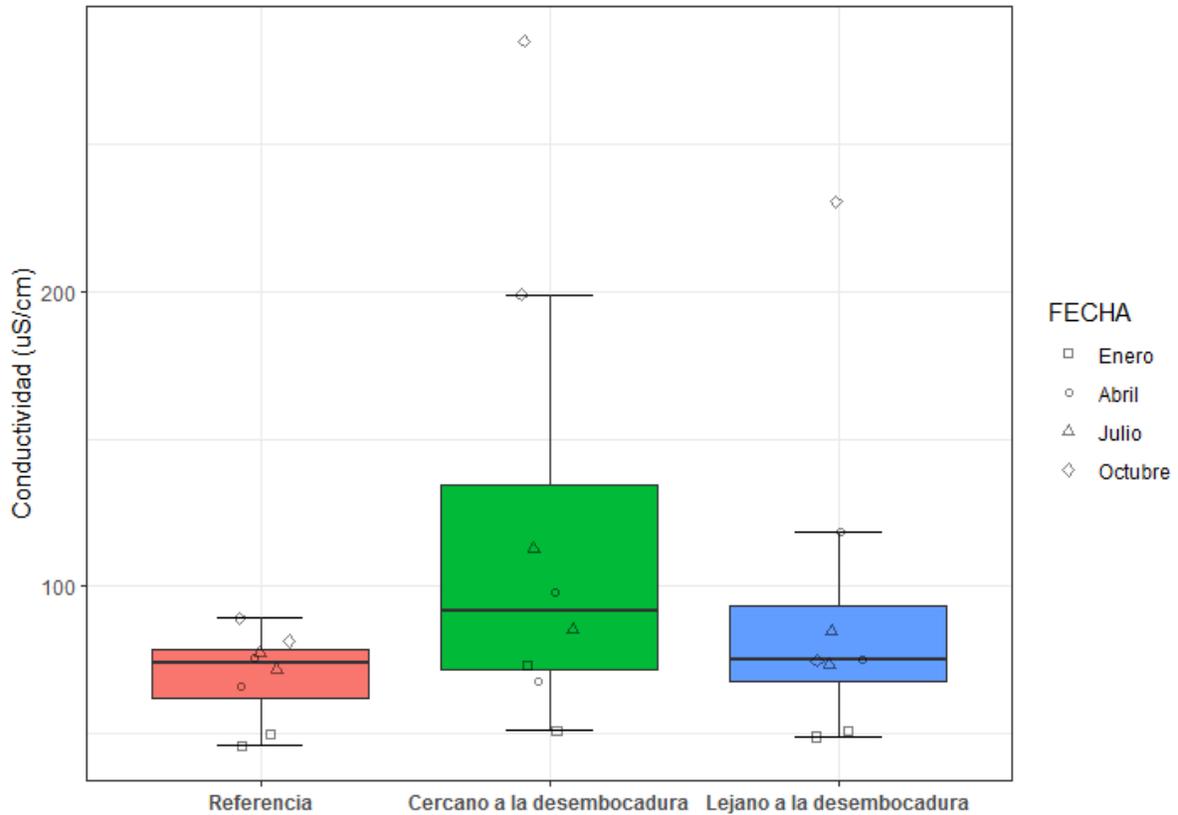


Figura 4: Variación espacial de conductividad.

### Oxígeno disuelto

La media de oxígeno disuelto observada durante el periodo de estudio fue 7,20 mg/L, detectando una concentración máxima de 10,53 mg/L en la ubicación sub-superficial de G2 (zona Lejana a desembocadura) durante el mes de julio. Por el contrario, la concentración mínima observada durante el periodo de estudio fue 1,52 mg/L, medida en el mes de enero en la posición fondo de G3 (Cercana a desembocadura).

Para el mes de enero se registraron incumplimientos (identificados en naranja) respecto a la concentración de oxígeno disuelto en todos los sitios (a excepción de G6) para todas las profundidades medidas en la columna de agua (5,6 mg/L, según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 4).

No se observaron diferencias significativas entre las zonas de estudio respecto al oxígeno disuelto (ANOVA,  $p > 0,05$ , Figura 5).

Valores de oxígeno disuelto.

Fecha de muestreo	Posición	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	Sub-superficial	4,87	8,36	9,84	8,1
G1	Mitad Columna	4,81	8,31	9,81	8,07
G1	Fondo	4,7	8,3	9,78	8,04
G2	Sub-superficial	3,39	9,03	10,53	9,31
G2	Mitad Columna	3,51	s/d	s/d	s/d
G2	Fondo	3,58	s/d	s/d	s/d
G3	Sub-superficial	4,79	8,91	10,45	7,75
G3	Mitad Columna	2,5	s/d	s/d	s/d
G3	Fondo	1,52	s/d	s/d	s/d
G4	Sub-superficial	4,09	8,92	10,04	8,35
G4	Mitad Columna	4,21	s/d	s/d	s/d
G4	Fondo	4,29	s/d	s/d	s/d
G5	Sub-superficial	4,13	9	10,35	8,03
G5	Mitad Columna	4,03	s/d	s/d	s/d
G5	Fondo	4	s/d	s/d	s/d
G6	Sub-superficial	6,18	8,17	9,87	8,1
G6	Mitad Columna	6,14	8,14	9,85	8,03
G6	Fondo	6,14	8,12	9,82	8,01

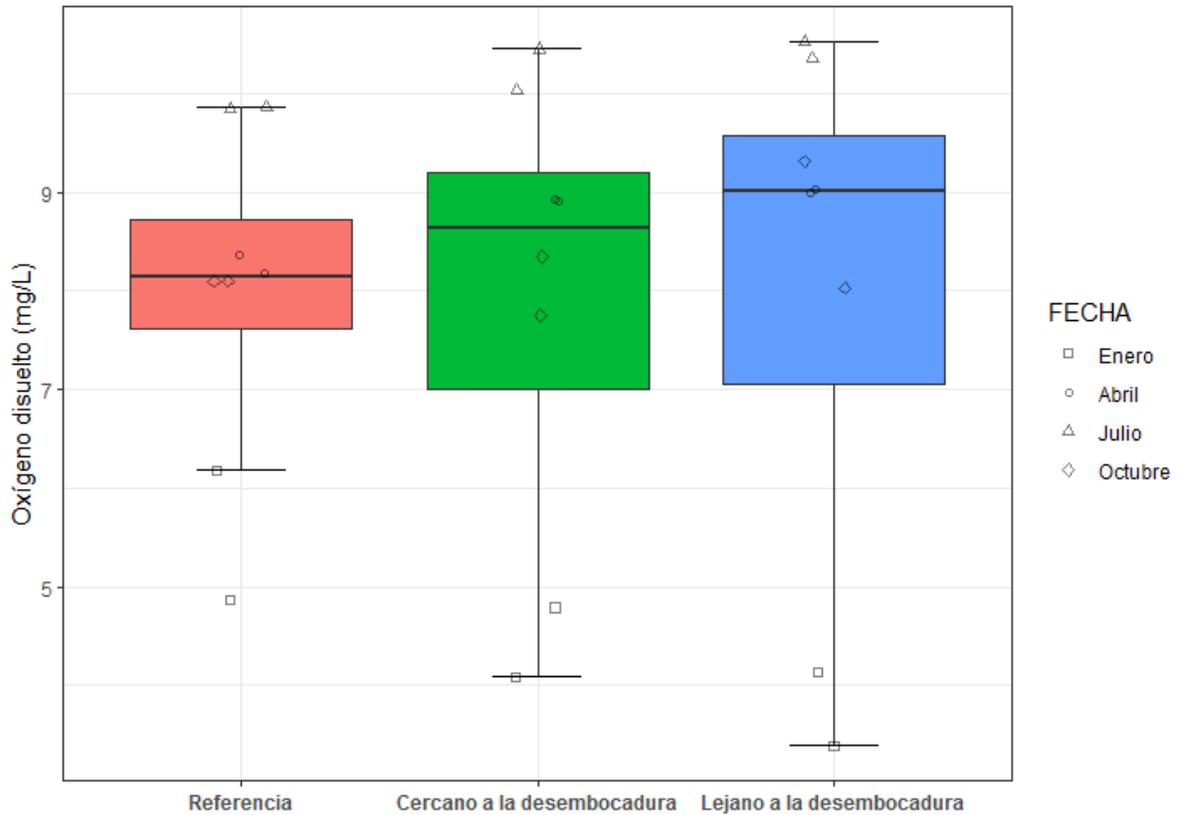


Figura 5: Variación espacial de oxígeno disuelto.

## pH

Durante el periodo de estudio se observó una media de pH de 7,14, registrándose el valor máximo (7,87) en el estrato sub-superficial del sitio G5 (Lejana a desembocadura) en el mes de abril. El valor mínimo (6,16) fue encontrado en G2 (Lejana a desembocadura) en enero.

Al igual que ocurrió con el OD, se observó una destacable variabilidad temporal en el pH, encontrándose valores relativamente más bajos en el mes de enero en todas las zonas y estratos estudiados que podría estar asociado a las variaciones estacionales respecto al caudal y a la temperatura.

Todas las mediciones realizadas durante el mes de enero resultaron en incumplimientos normativos los que se resaltan en naranja en la tabla siguiente (entre 6,5 y 8,3, según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 2, que resulta ser el más exigente para este parámetro).

No se observaron diferencias significativas entre las zonas de estudio respecto al pH (ANOVA,  $p > 0,05$ , Figura 6).

Valores de pH.

Fecha de muestreo	Posición	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	Sub-superficial	6,37	7,56	7,62	7,44
G1	Mitad Columna	6,3	7,5	7,53	7,42
G1	Fondo	6,33	7,49	7,49	7,42
G2	Sub-superficial	6,4	7,79	7,66	7,76
G2	Mitad Columna	6,23	s/d	s/d	s/d
G2	Fondo	6,16	s/d	s/d	s/d
G3	Sub-superficial	6,46	7,82	7,55	7,75
G3	Mitad Columna	6,32	s/d	s/d	s/d
G3	Fondo	6,46	s/d	s/d	s/d
G4	Sub-superficial	6,4	7,71	7,62	7,77
G4	Mitad Columna	6,37	s/d	s/d	s/d
G4	Fondo	6,4	s/d	s/d	s/d
G5	Sub-superficial	6,38	7,87	7,66	7,75
G5	Mitad Columna	6,4	s/d	s/d	s/d
G5	Fondo	6,39	s/d	s/d	s/d
G6	Sub-superficial	6,39	7,57	7,68	7,62
G6	Mitad Columna	6,34	7,49	7,65	7,53
G6	Fondo	6,42	7,48	7,63	7,52

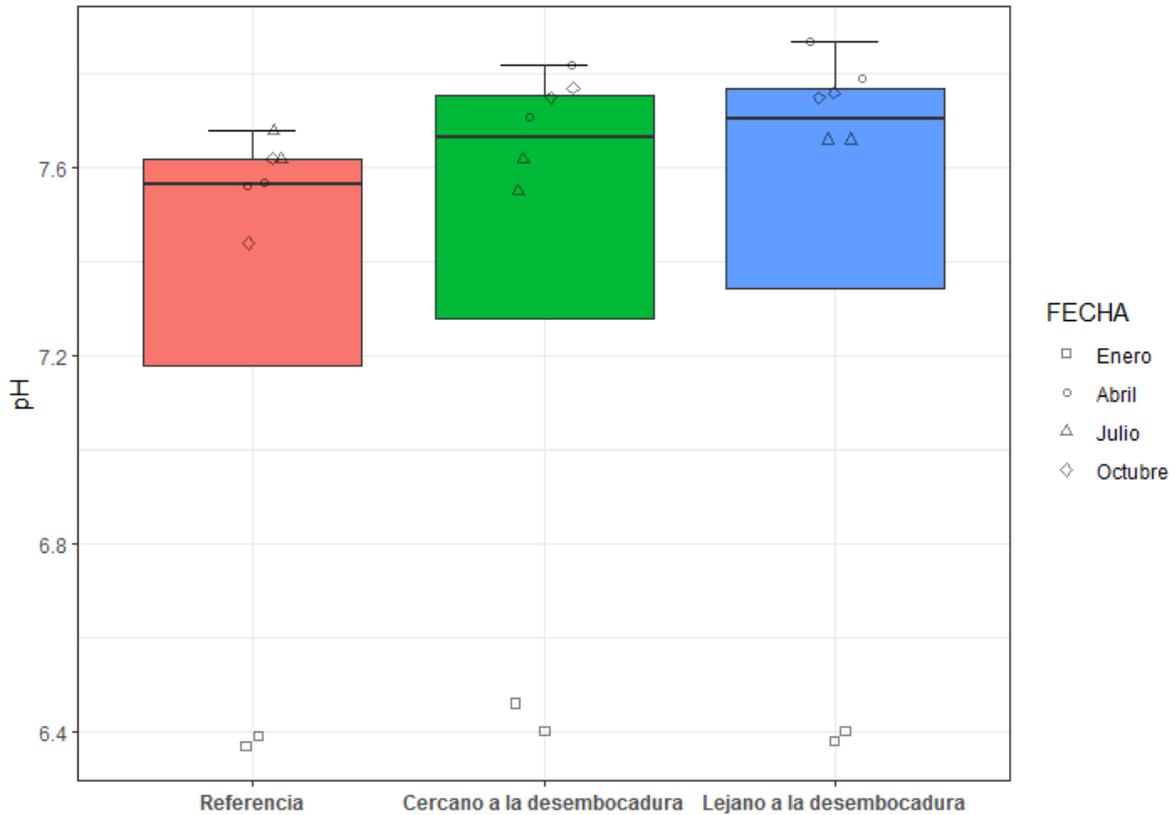


Figura 6: Variación espacial de pH.

### Temperatura

Respecto a la temperatura, se observó una media de 21,29°C a lo largo del periodo de estudio. Los valores máximo y mínimo fueron observados ambos en el sitio G3 en el estrato sub-superficial (Cercana a desembocadura). El valor máximo resultó 29,1 °C registrado en el mes de enero, y el valor mínimo fue 10,37°C observado en el mes de julio (en este caso y debido a la altura del río en esa ocasión, sólo se caracterizó un único estrato).

La exigencia establecida por el Digesto de la CARU es que se deberán mantener las condiciones naturales. En tal sentido, siendo que para este parámetro no se detectan diferencias significativas entre las distintas zonas y los diferentes estratos muestreados, puede afirmarse que no hubo incumplimientos en la normativa vigente.

Para este periodo de estudio, no se observaron diferencias significativas entre las zonas de estudio respecto a la temperatura (ANOVA,  $p > 0,05$ , Figura 7).

Valores de temperatura.

<b>Fecha de muestreo</b>	<b>Posición</b>	<b>Enero</b>	<b>Abril</b>	<b>Julio</b>	<b>Octubre</b>
G1	Sub-superficial	27,29	21,57	13,31	19,82
	Mitad Columna	27,28	21,58	13,24	19,82
	Fondo	27,29	21,54	13,23	19,82
G2	Sub-superficial	28,44	19,35	11,46	18,31
	Mitad Columna	27,74	s/d	s/d	s/d
	Fondo	26,54	s/d	s/d	s/d
G3	Sub-superficial	29,1	19,5	10,37	17,99
	Mitad Columna	27,35	s/d	s/d	s/d
	Fondo	26,44	s/d	s/d	s/d
G4	Sub-superficial	28,51	19,5	12,56	18,28
	Mitad Columna	27,93	s/d	s/d	s/d
	Fondo	28,03	s/d	s/d	s/d
G5	Sub-superficial	28,04	19	12,48	18,22
	Mitad Columna	28,05	s/d	s/d	s/d
	Fondo	28,04	s/d	s/d	s/d
G6	Sub-superficial	26,84	21,52	13,4	19,91
	Mitad Columna	26,86	21,52	13,4	19,92
	Fondo	26,86	21,51	13,4	19,93

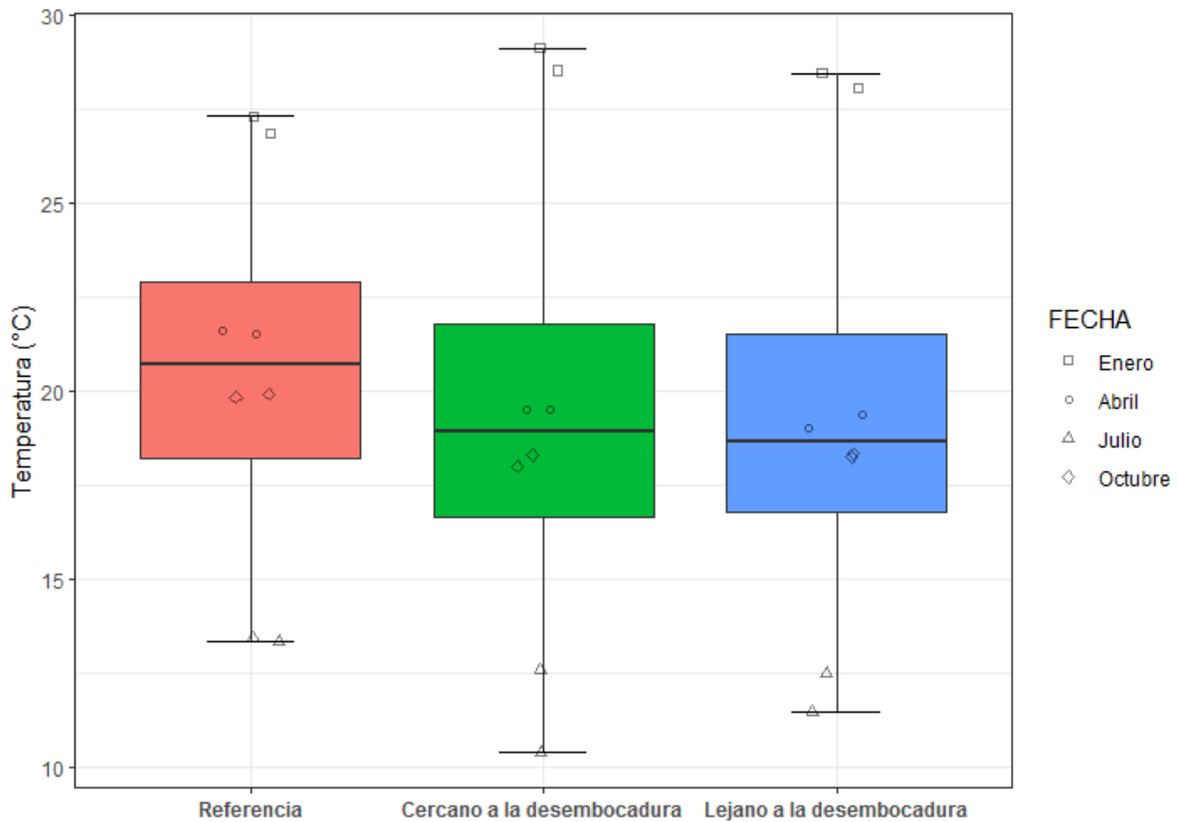


Figura 7: Variación espacial de temperatura.

### **Transparencia**

Durante el periodo de estudio los valores de transparencia resultaron en una media de 0,46 m. El valor máximo registrado fue 0,65 m correspondiente al sitio G1 (Referencia) en el mes de abril. Por el contrario, se registró el valor mínimo de 0,2 m durante el mes de octubre en los sitios G3, G4 (Cercana a desembocadura) y G5 (Lejana a desembocadura).

No se observaron diferencias significativas entre las zonas de estudio respecto a la transparencia (ANOVA,  $p > 0,05$ , Figura 8).

*Valores de transparencia.*

Fecha de muestreo	Posición	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	Sub-superficial	0,45	0,65	0,6	0,45
G2	Sub-superficial	0,6	0,3	0,5	0,5
G3	Sub-superficial	0,3	0,3	0,25	0,2

G4	Sub-superficial	0,5	0,35	0,5	0,2
G5	Sub-superficial	0,5	0,3	0,4	0,2
G6	Sub-superficial	0,4	0,5	0,6	0,5

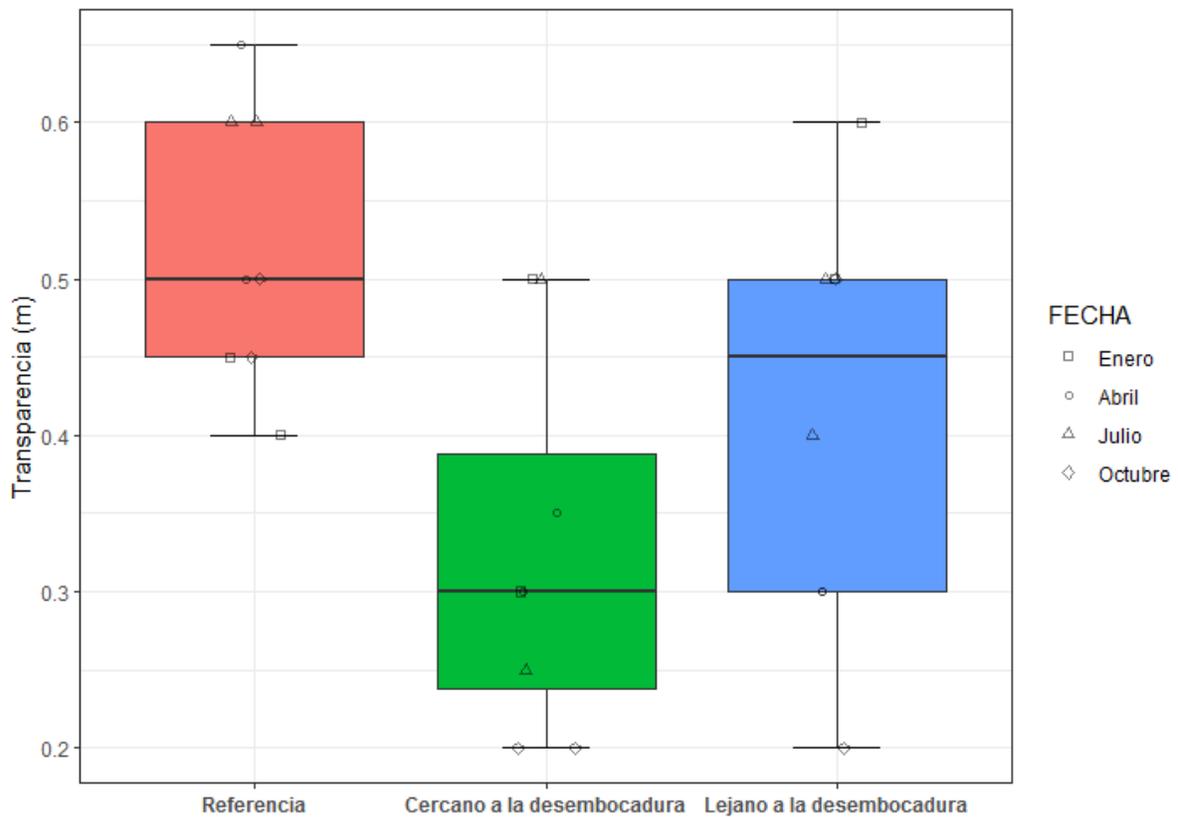


Figura 8: Variación espacial de transparencia.

## **Turbidez**

Las mediciones de turbidez resultaron en una media de 25,76 NTU, registrándose el valor más alto de 69,35 NTU en el mes de octubre en la posición sub-superficial de G3 (Cercana a desembocadura), mientras que se registró el valor mínimo de 11 NTU en el mes de enero en la posición sub-superficial del sitio G2 (Lejana a desembocadura).

No se observaron diferencias significativas entre zonas de estudio respecto a la turbidez (ANOVA,  $p > 0,05$ , Figura 9).

Valores de turbidez.

<b>Fecha de muestreo</b>	<b>Posición</b>	<b>Enero</b>	<b>Abril</b>	<b>Julio</b>	<b>Octubre</b>
G1	Sub-superficial	22,2	19,85	16,25	19,27
G1	Mitad Columna	22,2	45,01	16,32	19,49
G1	Fondo	23,4	17,44	16,45	19,56
G2	Sub-superficial	11	35,36	20,59	38,27
G2	Mitad Columna	12,2	s/d	s/d	s/d
G2	Fondo	16,3	s/d	s/d	s/d
G3	Sub-superficial	38,3	42,1	48,71	69,35
G3	Mitad Columna	43	s/d	s/d	s/d
G3	Fondo	44	s/d	s/d	s/d
G4	Sub-superficial	16,4	23,45	22,72	60,04
G4	Mitad Columna	18,1	s/d	s/d	s/d
G4	Fondo	19,8	s/d	s/d	s/d
G5	Sub-superficial	14,9	43,07	24,06	54,55
G5	Mitad Columna	15	s/d	s/d	s/d
G5	Fondo	15,3	s/d	s/d	s/d
G6	Sub-superficial	25	16,82	16,72	17,92
G6	Mitad Columna	25,1	16,86	16,02	18,88
G6	Fondo	27,4	16,82	16,3	18,85

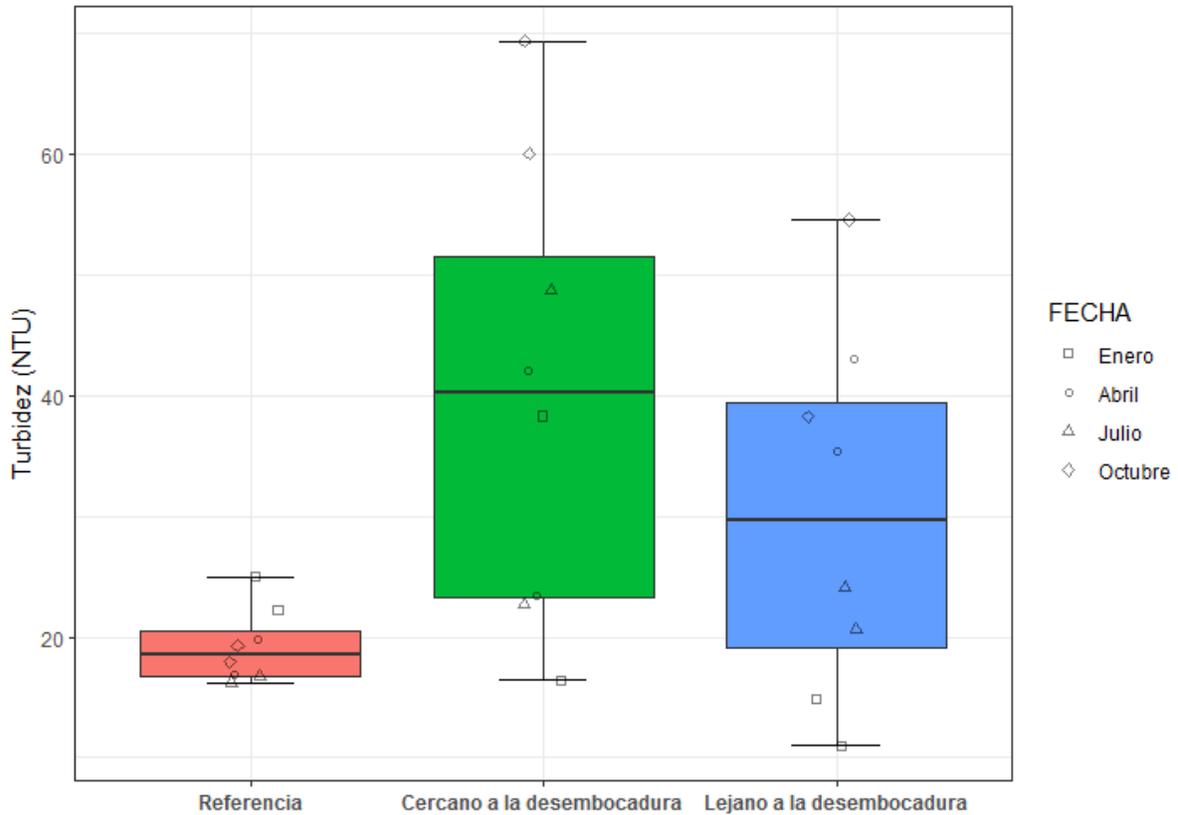


Figura 9: Variación espacial de turbidez.

### **Alcalinidad**

La alcalinidad resultó en una media de 38,74 mg CaCO<sub>3</sub>/L, detectando la mayor concentración en el sitio G3 (Cercana a desembocadura) durante el mes de octubre (114,2 mg CaCO<sub>3</sub>/L) y la menor en G1 (Referencia) en el mes de enero (19,5 mg CaCO<sub>3</sub>/L).

No se registraron incumplimientos respecto a la alcalinidad durante el periodo de estudio (500 mg/L de CaCO<sub>3</sub>, según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 1). En la Figura 10 se ilustra la variación espacial y temporal de alcalinidad junto con este límite normativo.

Se detectaron diferencias significativas entre las zonas de estudio (ANOVA, p<0,05, Figura 11), registrando concentraciones más elevadas en la zona Cercana a desembocadura, con respecto a la zona Referencia.

Valores de alcalinidad (mg/L CaCO<sub>3</sub>).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	19,5	25,5	28,9	33,7
G2	20,8	28,9	28	31,5
G3	34,4	38,1	42,2	114,2
G4	21,1	26,7	34	92,7
G5	21,4	46,2	33,8	90,5
G6	21,6	26,8	30,4	38,9

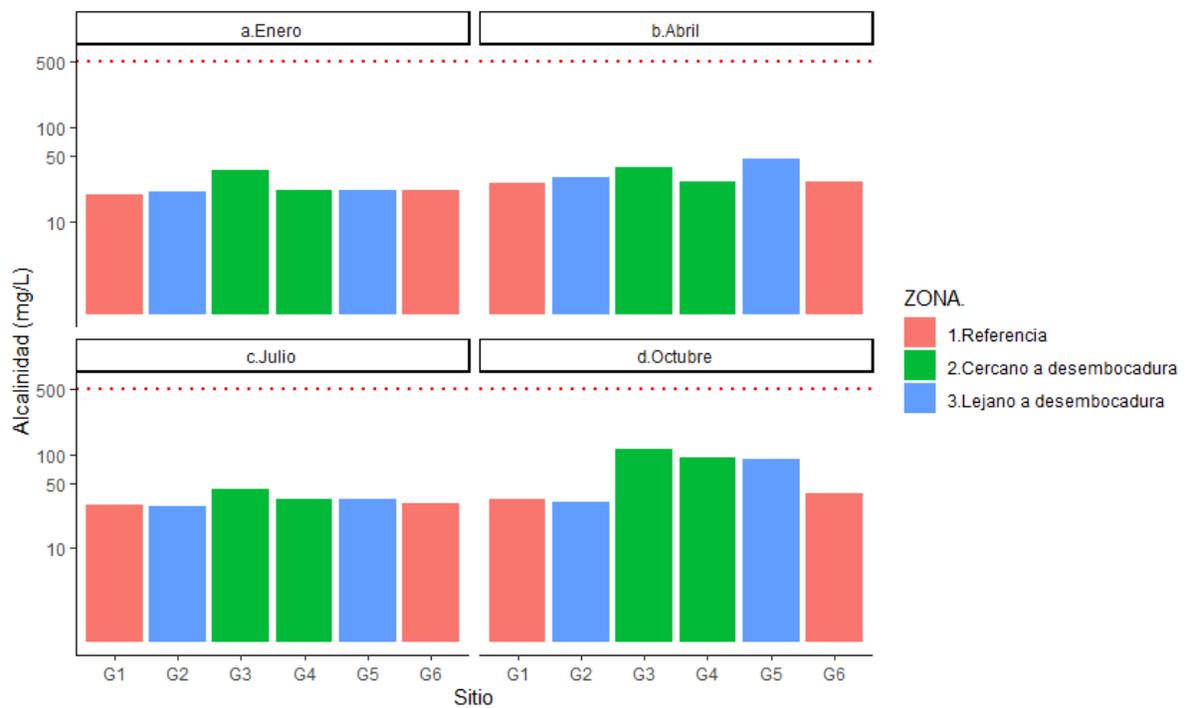


Figura 10: Variación espacial y temporal de alcalinidad.

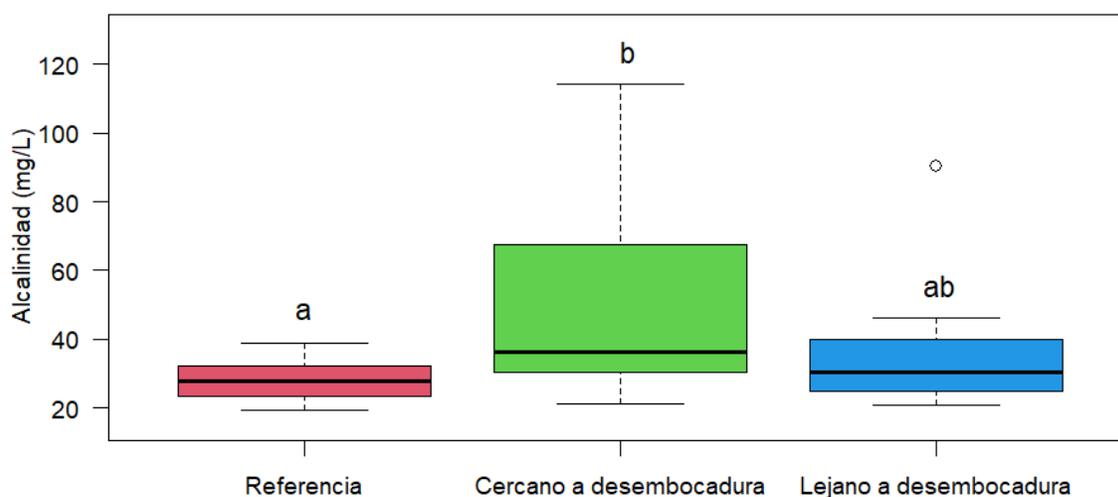


Figura 11: Variación espacial de alcalinidad.

### Aluminio

Se detectó una concentración media de 1,12 mg/L de aluminio durante el periodo de estudio, donde el valor máximo resultó 3,4 mg/L correspondiente al sitio G3 (Cercana a desembocadura) durante el mes de julio. El valor mínimo de aluminio observado fue 0,21 mg/L en el mes de octubre en el sitio G6 (Referencia, Figura 12).

Se detectaron diferencias significativas entre las zonas de estudio (ANOVA,  $p < 0,05$ , Figura 13), registrando concentraciones más elevadas en la zona Cercana a desembocadura, con respecto a la zona Referencia.

Valores de aluminio (mg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	0,9	0,69	0,77	0,31
G2	0,6	1,6	0,83	0,27
G3	3,1	2,4	3,4	0,91
G4	0,75	0,78	1,5	0,87
G5	0,62	1,7	1,3	0,76
G6	1,3	0,69	0,57	0,21

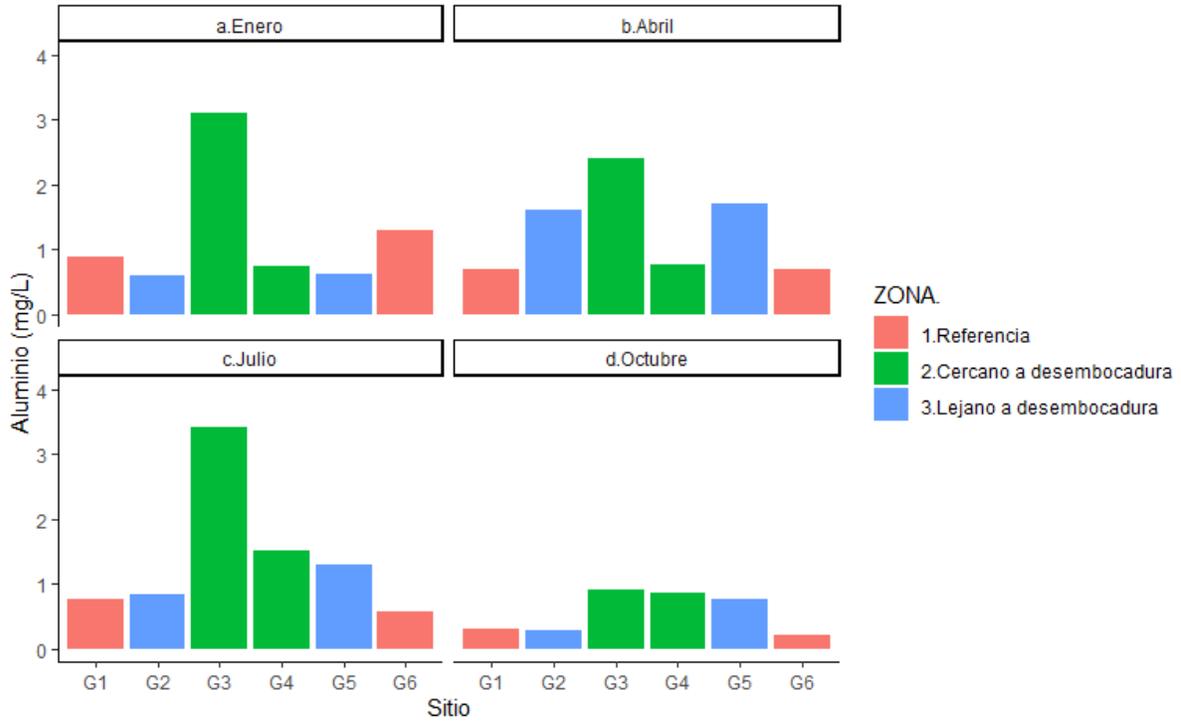


Figura 12: Variación espacial y temporal de aluminio.

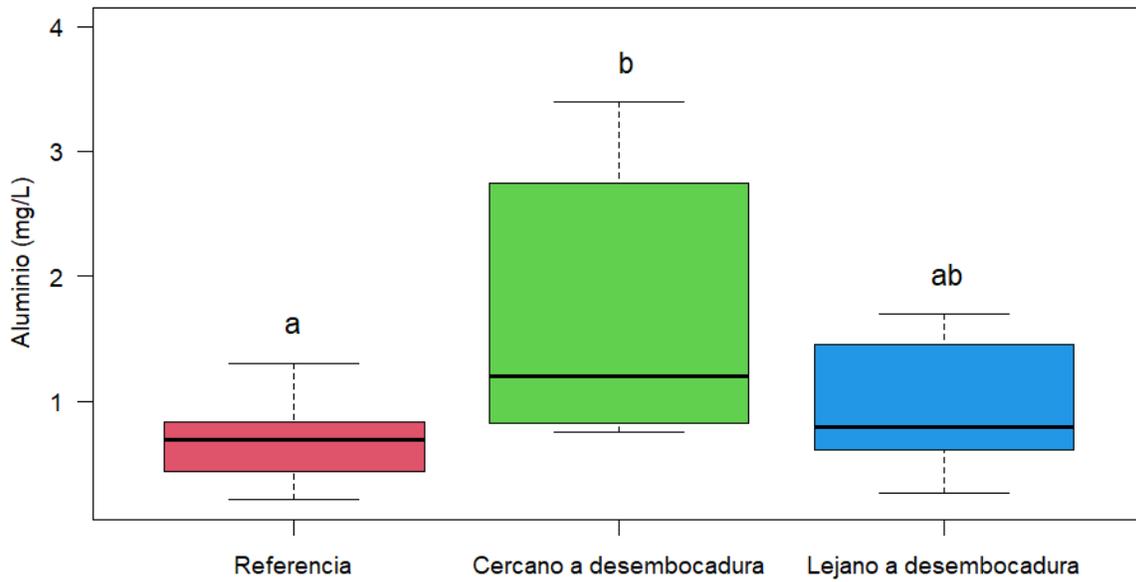


Figura 13: Variación espacial de aluminio.

### **Amoníaco Total – N**

Durante el periodo analizado se observaron nueve detecciones de amoníaco total. En el sitio G1 (Referencia) se detectaron 0,027 mg/L para julio y 0,046 mg/L para octubre. En los sitios G3 y G4 (Cercana a desembocadura) se observaron varias detecciones encontrándose un máximo en G3 para el mes de julio (0,092 mg/L). En G5 (Lejana a desembocadura) se detectaron 0,036 mg/L en el mes de julio, mientras que para el mes de octubre se detectaron 0,052 mg/L (Figura 14).

El ANOVA indica que hay diferencias significativas entre las zonas de estudio ( $p < 0,05$ , Figura 15), donde las mayores concentraciones fueron registradas en la zona Cercana a desembocadura.

*Valores de amoníaco total (mg/L).*

<b>Fecha de muestreo</b>	<b>Enero</b>	<b>Abril</b>	<b>Julio</b>	<b>Octubre</b>
G1	<0,025	<0,025	0,027	0,046
G2	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
G3	0,064	<0,025	0,092	0,084
G4	<0,025	<0,025	0,042	0,07
G5	<0,025	<0,025	0,036	0,052
G6	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025

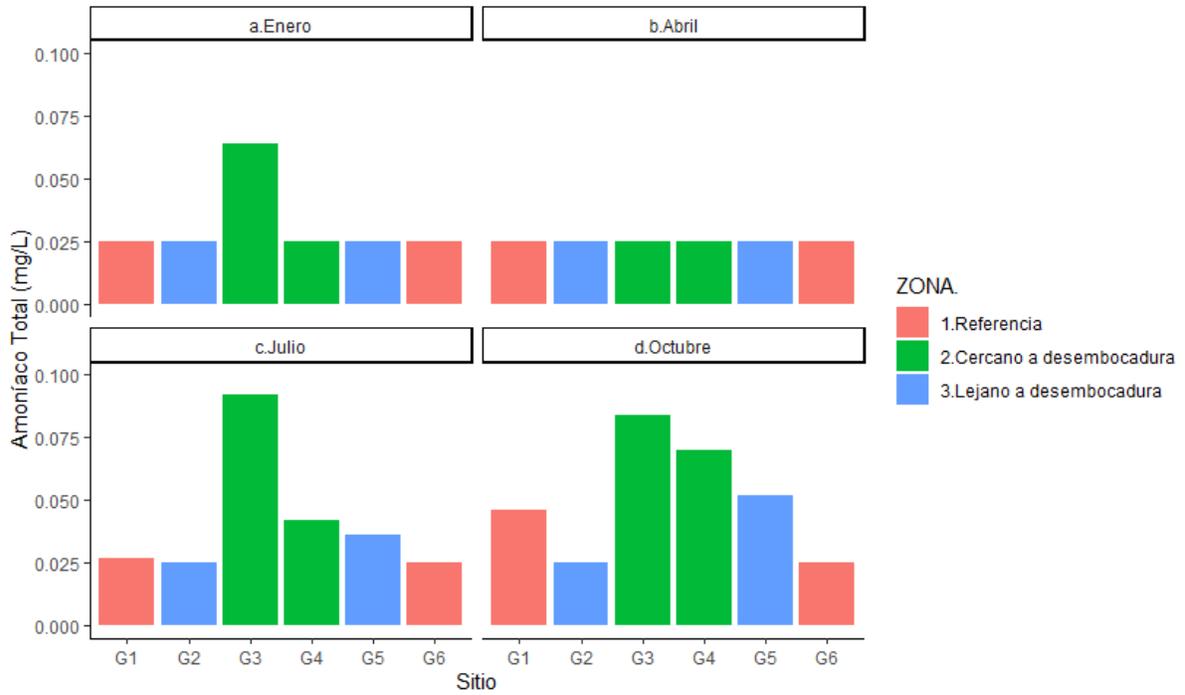


Figura 14: Variación espacial y temporal del amoníaco total.

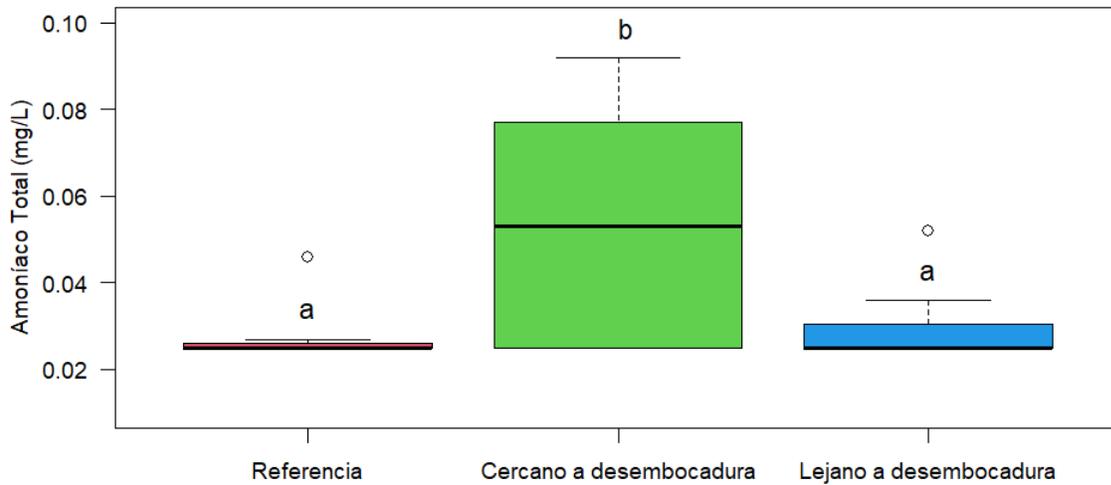


Figura 15: Variación espacial de amoníaco total.

## **Antimonio**

Con respecto al parámetro antimonio, se registraron 12 detecciones. De las detecciones reportadas el máximo observado fue 0,2  $\mu\text{g/L}$  y corresponde al sitio G3 (Cercana a desembocadura) en el mes de octubre. Los mínimos reportados corresponden a análisis por debajo del límite de detección de la técnica ( $<0,02 \mu\text{g/L}$ ) los que ocurrieron en múltiples sitios y fechas (Figura 16). Corresponde hacer notar que el límite de detección analítico del mes de octubre es superior a los reportados previamente, lo cual incide en la representación gráfica subsiguiente.

Finalmente, se detectaron diferencias significativas entre las zonas de estudio (ANOVA,  $p < 0,05$ , Figura 17), donde las mayores concentraciones se registraron en la zona Cercana a desembocadura con respecto a las otras dos zonas de estudio.

Valores de antimonio ( $\mu\text{g/L}$ ).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	<0,02	0,02	0,02	0,1
G2	<0,02	0,03	<0,02	<0,1
G3	0,05	0,04	0,05	0,2
G4	<0,02	0,03	0,03	<0,1
G5	0,02	0,02	0,04	<0,1
G6	<0,02	0,02	0,04	<0,1

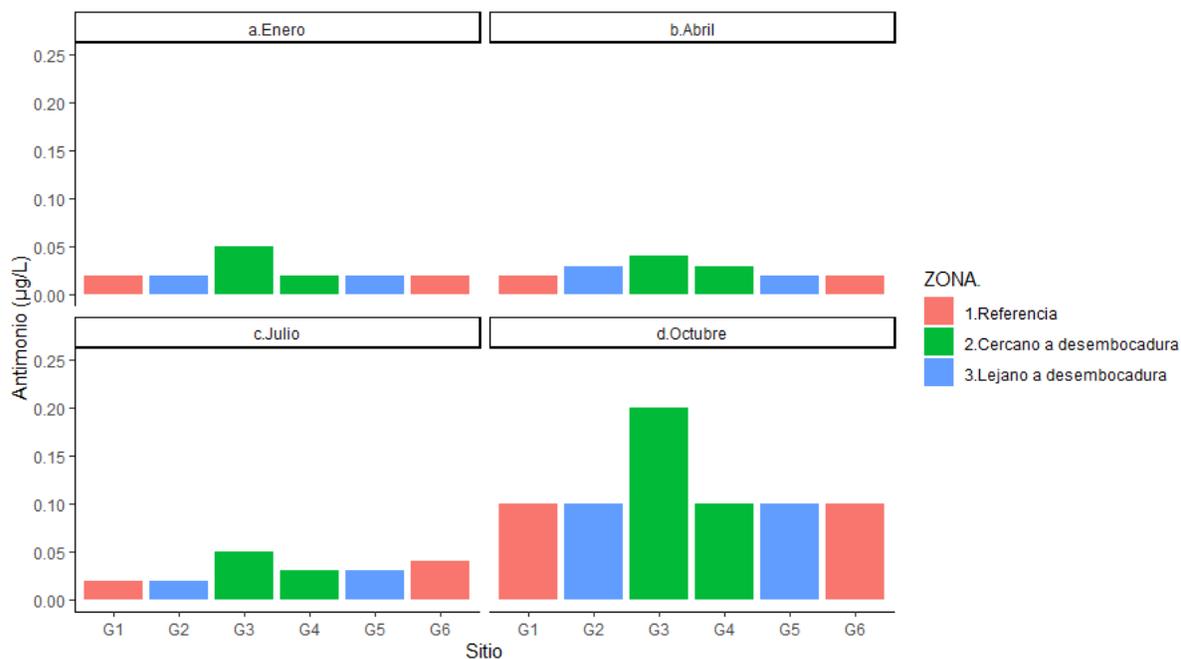


Figura 16: Variación espacial y temporal de antimonio.

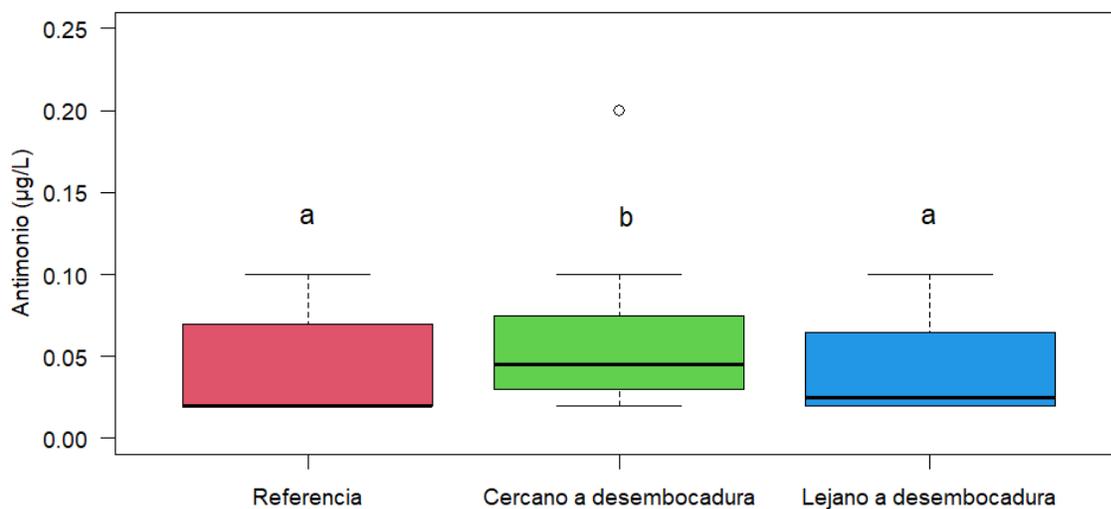


Figura 17: Variación espacial de antimonio.

## AOX

Los compuestos órgano-halogenados (AOX) presentaron una concentración media de 14,03 µg/L, donde la concentración máxima (34 µg/L) fue detectada en el sitio G3 (Cercana a desembocadura) en el mes de octubre. La concentración mínima fue 6,5 µg/L y se observó los sitios G4 (Cercana a desembocadura) y G5 (Lejana a desembocadura) en enero (Figura 18).

Se registraron diferencias significativas entre zonas (ANOVA,  $p < 0,05$ , Figura 19), encontrándose valores más elevados en la zona Cercana a desembocadura con respecto a la zona Referencia.

Valores de AOX (µg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	9,2	10	11	13
G2	8,7	12	12	14
G3	12	12	22	34
G4	6,5	14	13	28
G5	6,5	12	15	27
G6	8,9	14	11	11

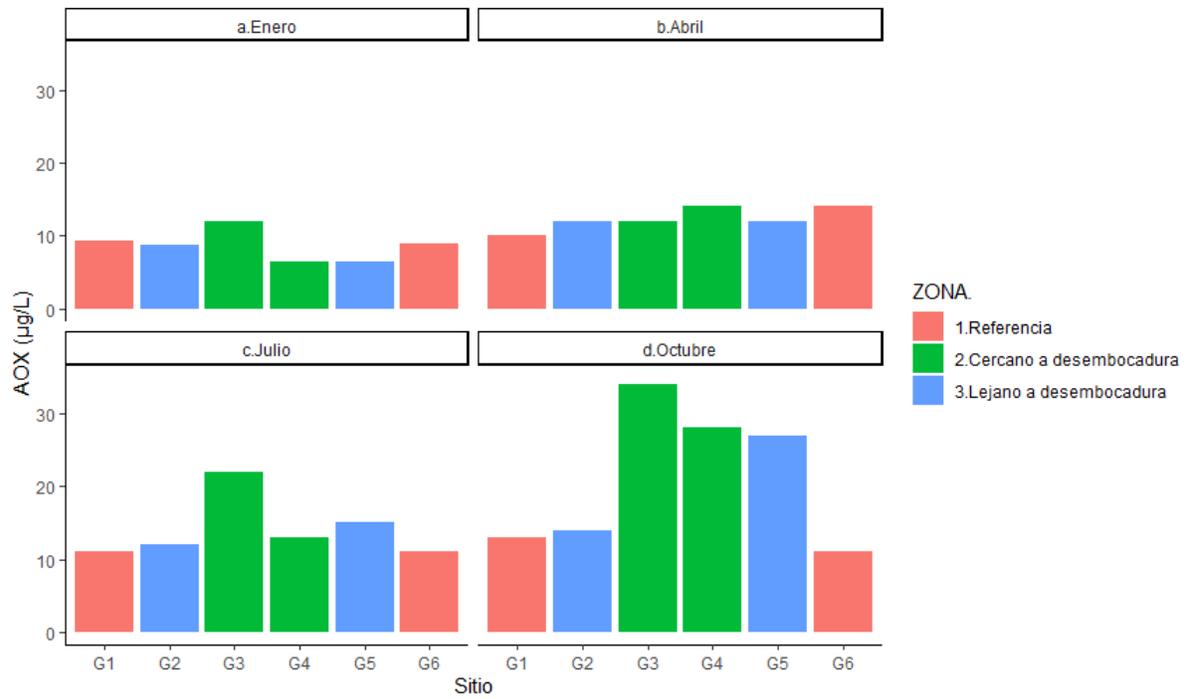


Figura 18: Variación espacial y temporal de AOX.

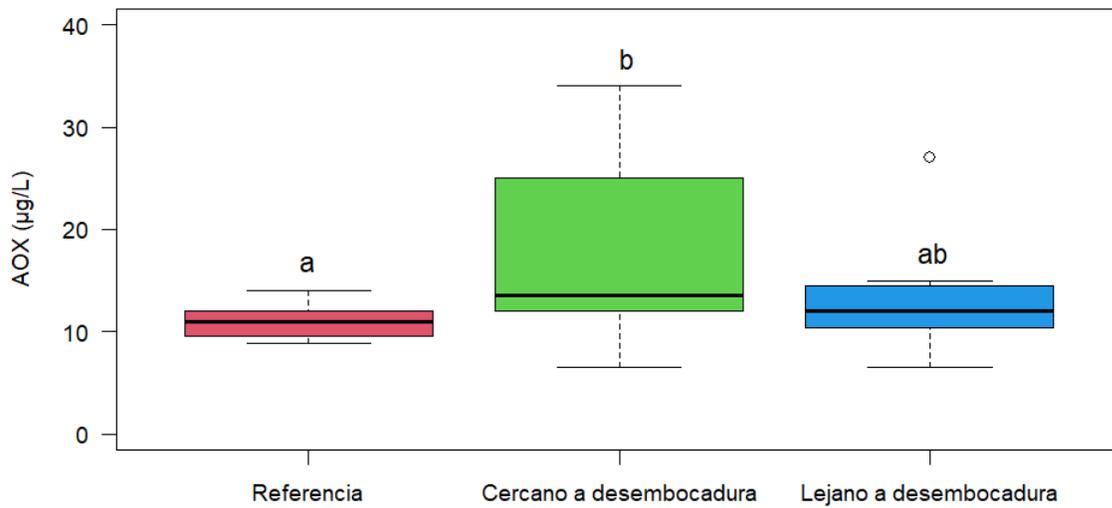


Figura 19: Variación espacial de AOX.

## Arsénico

Respecto al parámetro arsénico, durante el periodo de estudio se observó una media de 1,23 µg/L, siendo 4 µg/L la máxima concentración detectada y corresponde al sitio G3 (Cercana a desembocadura) durante el mes de octubre. La mínima concentración detectada fue de 0,5 µg/L y fue observada en los sitios correspondientes a la zona Referencia (G1 y G6) y a la zona Lejana a desembocadura (G2) en julio y octubre.

Durante el periodo de estudio no se registraron incumplimientos normativos respecto a la concentración de arsénico (15 µg/L, según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 4; Figura 20).

Las concentraciones observadas en la zona Cercana a desembocadura resultaron significativamente más elevadas que las observadas en la zona Referencia (ANOVA,  $p < 0,05$ , Figura 21).

*Valores de arsénico (µg/L).*

<b>Fecha de muestreo</b>	<b>Enero</b>	<b>Abril</b>	<b>Julio</b>	<b>Octubre</b>
G1	0,8	0,6	0,5	0,8
G2	0,9	1,1	0,5	0,8
G3	2,6	1,3	1,5	4
G4	0,9	0,7	0,7	3
G5	0,9	1,5	0,7	3
G6	0,8	0,5	0,5	0,8

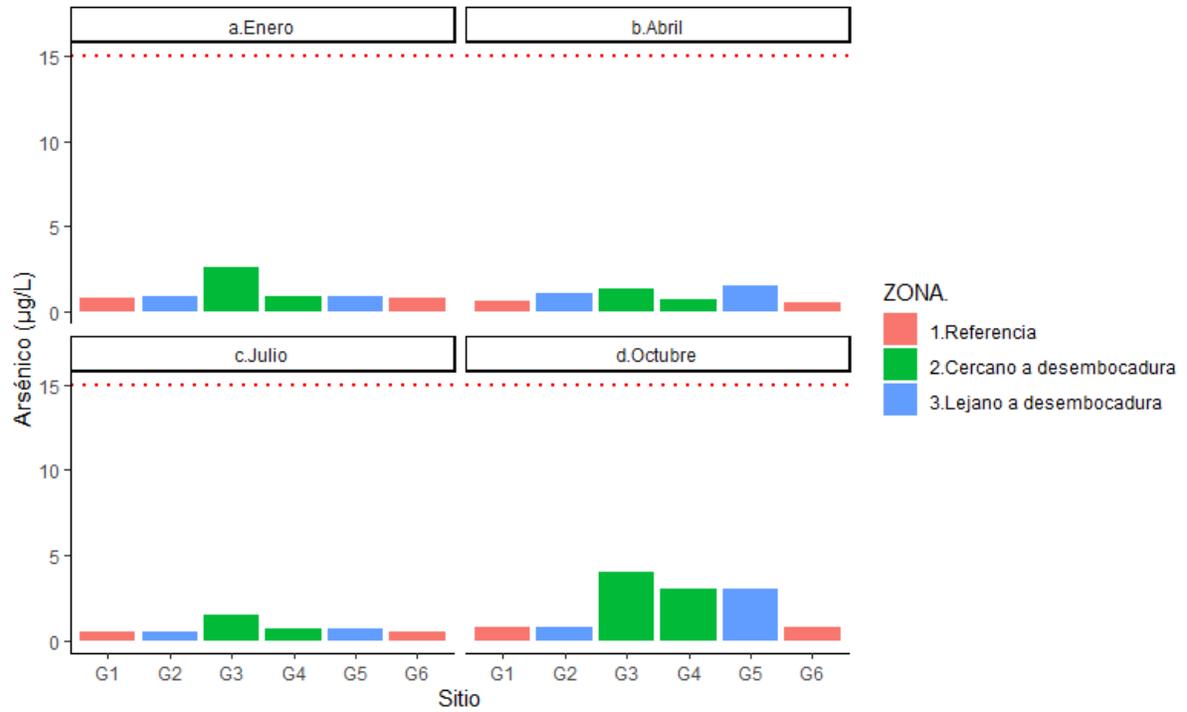


Figura 20: Variación espacial y temporal de arsénico.

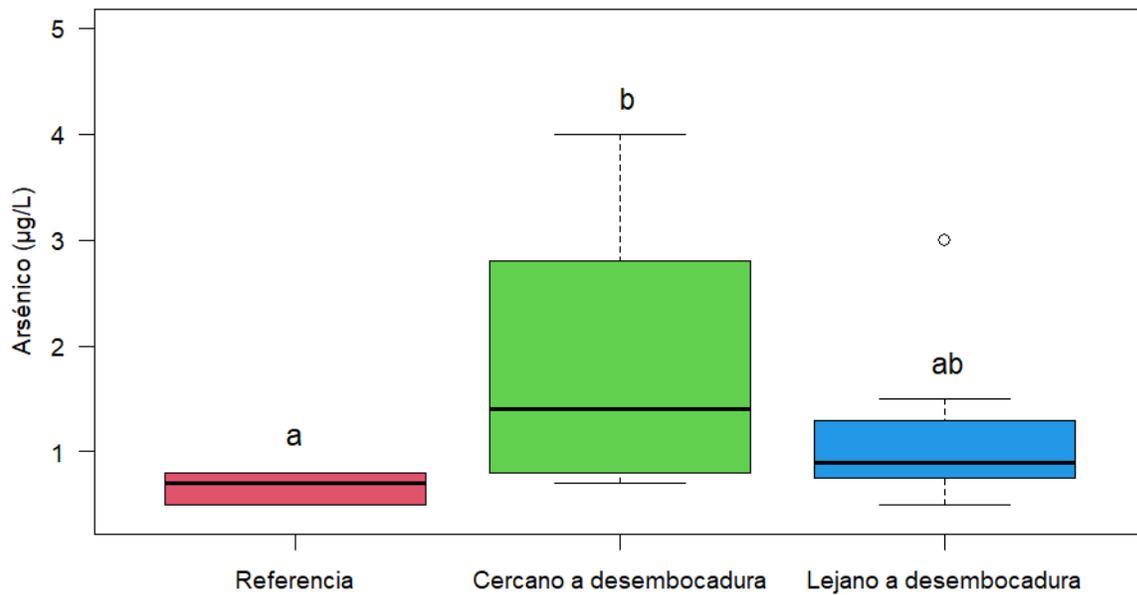


Figura 21: Variación espacial de arsénico.

## Atrazina

Se registraron seis detecciones para atrazina durante el periodo de estudio. La máxima concentración (0,4 µg/L) fue detectada en el sitio G3 (Cercana a desembocadura) en el mes de enero. Los mínimos reportados corresponden a análisis por debajo del límite de detección de la técnica (<0,1 µg/L) los que ocurrieron en múltiples sitios y fechas (Figura 22).

No se encontraron diferencias significativas entre zonas (ANOVA,  $p > 0,05$ , Figura 23).

Valores de atrazina (µg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2
G2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
G3	0,4	<0,1	<0,1	0,1
G4	<0,1	<0,1	<0,1	0,2
G5	<0,1	<0,1	<0,1	0,2
G6	<0,1	<0,1	<0,1	0,1

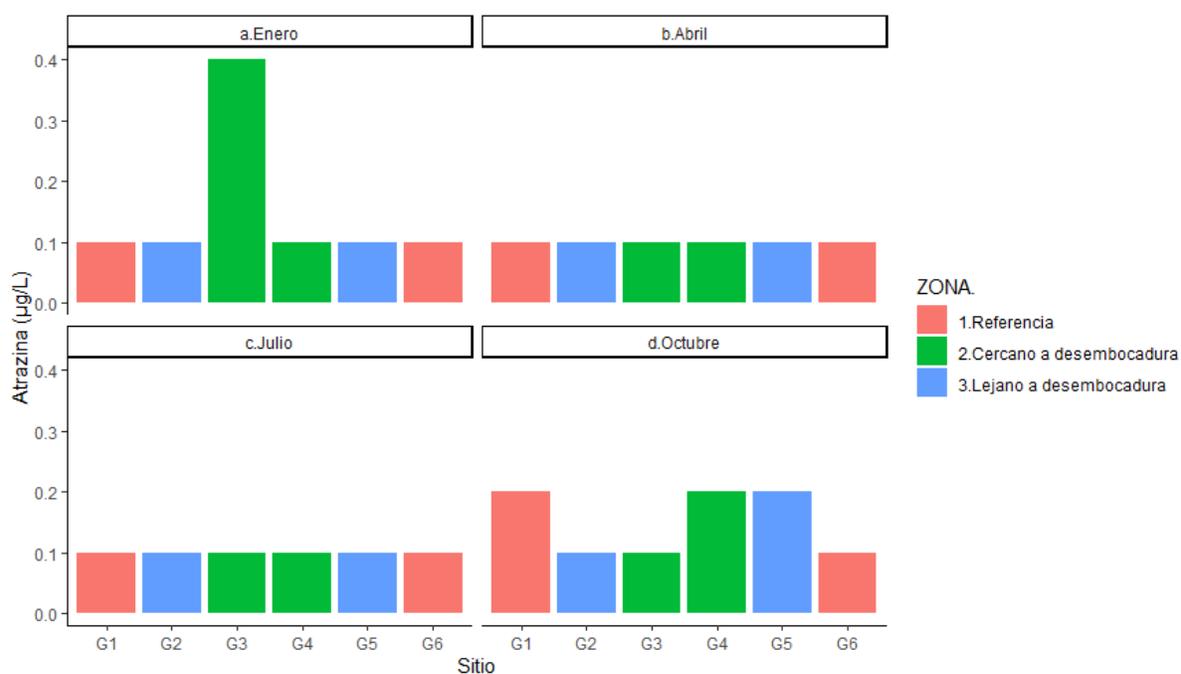


Figura 22: Variación espacial y temporal de atrazina.

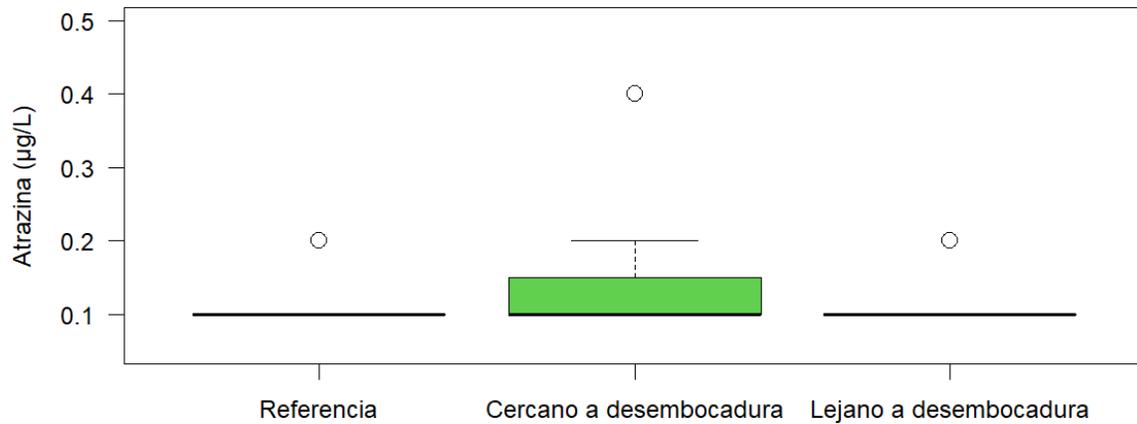


Figura 23: Variación espacial de atrazina.

### Azufre

La media observada de azufre fue 1,23 mg/L, con una concentración máxima de 5,2 mg/L detectada en el sitio G3 (Cercana a desembocadura) durante el mes de octubre. La concentración mínima es 0,36 mg/L, detectada en el sitio G2 (Lejana a desembocadura) durante el mes de enero (Figura 24).

A partir del ANOVA se observa que existe una concentración significativamente mayor de azufre en la zona Cercana a desembocadura con respecto a la zona Referencia ( $p < 0,05$ , Figura 25).

Valores de azufre (mg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	0,37	0,48	0,53	0,88
G2	0,36	0,73	0,61	0,81
G3	0,69	1,2	1,5	5,2
G4	1,2	0,6	0,82	3,7
G5	0,37	1,6	0,83	4
G6	0,38	1,2	0,81	0,76

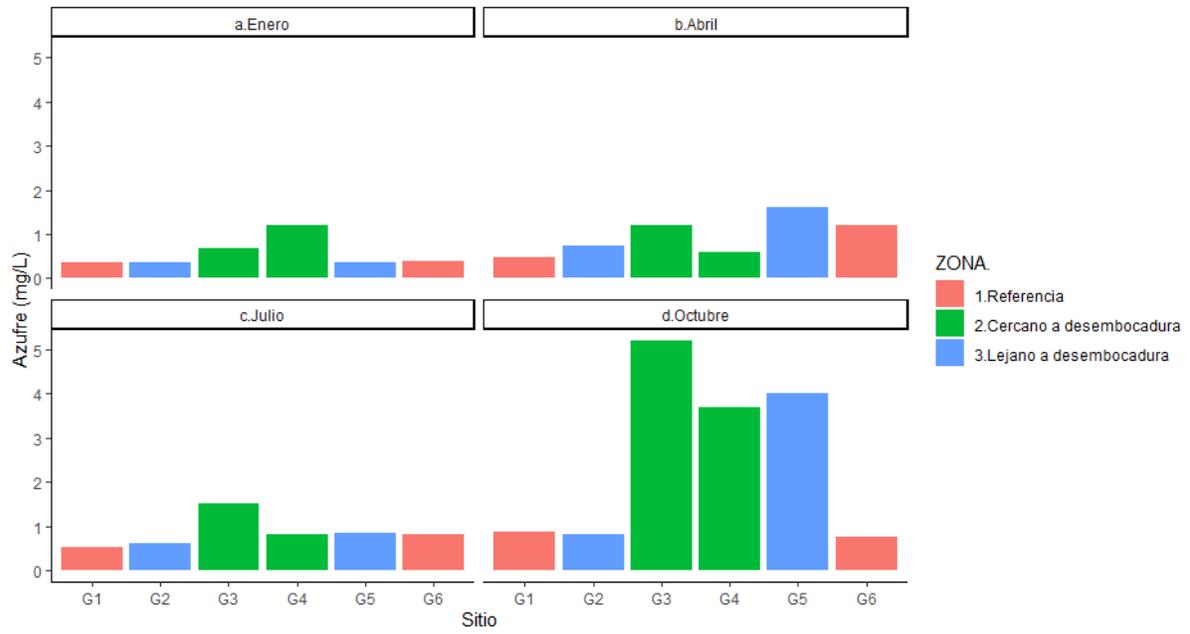


Figura 24: Variación espacial y temporal de azufre.

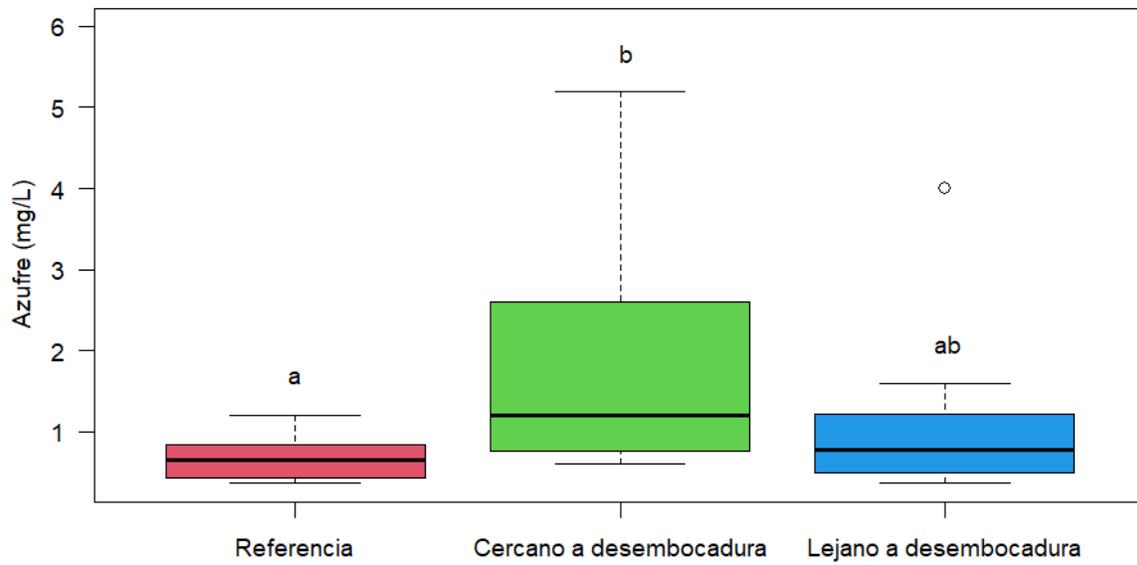


Figura 25: Variación espacial de azufre.

## Bario

Durante el periodo de estudio se observó una media de 0,047 mg/L de bario, donde el valor máximo fue 0,12 mg/L correspondiente al sitio G3 (Cercana a desembocadura) en el mes de octubre; mientras que el valor mínimo fue 0,031 mg/L registrado en varios sitios (a excepción de G3 y G4) y en varias fechas (Figura 26).

Para este periodo se registraron diferencias significativas entre las zonas de monitoreo, encontrando valores significativamente más elevados en los sitios correspondientes a la zona Cercana a desembocadura con respecto a la zona Referencia (ANOVA,  $p < 0,05$ , Figura 27).

Valores de bario (mg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	0,035	0,033	0,031	0,041
G2	0,032	0,045	0,031	0,041
G3	0,052	0,054	0,056	0,12
G4	0,033	0,033	0,038	0,1
G5	0,031	0,047	0,037	0,09
G6	0,035	0,031	0,033	0,048

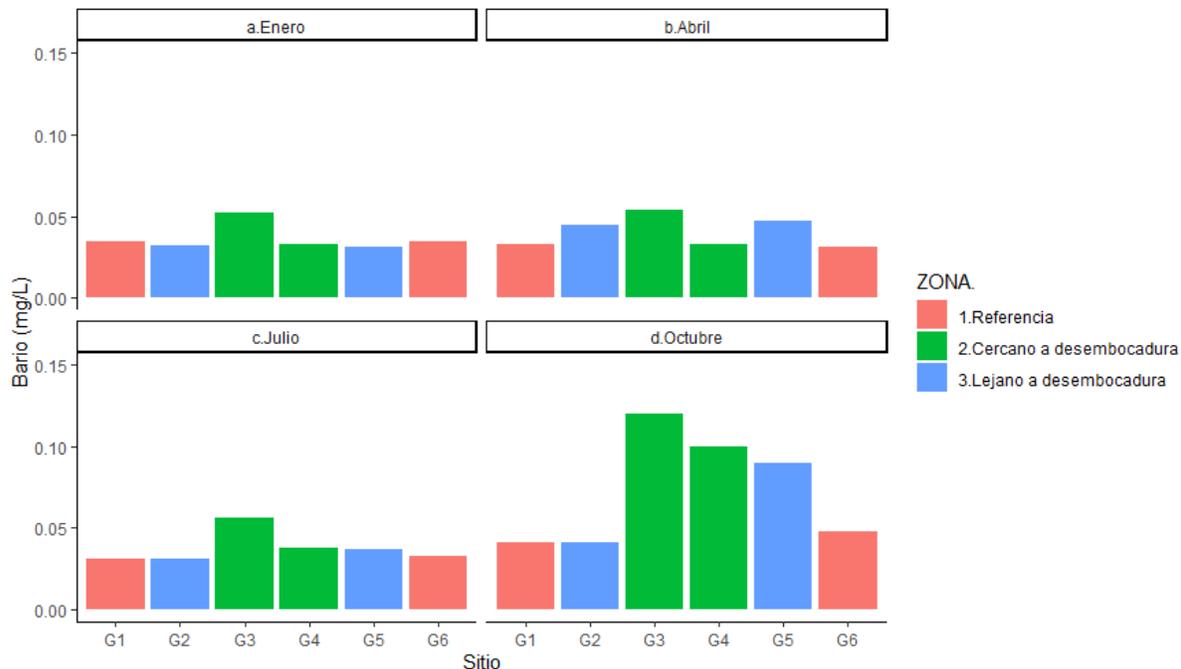


Figura 26: Variación espacial y temporal de bario.

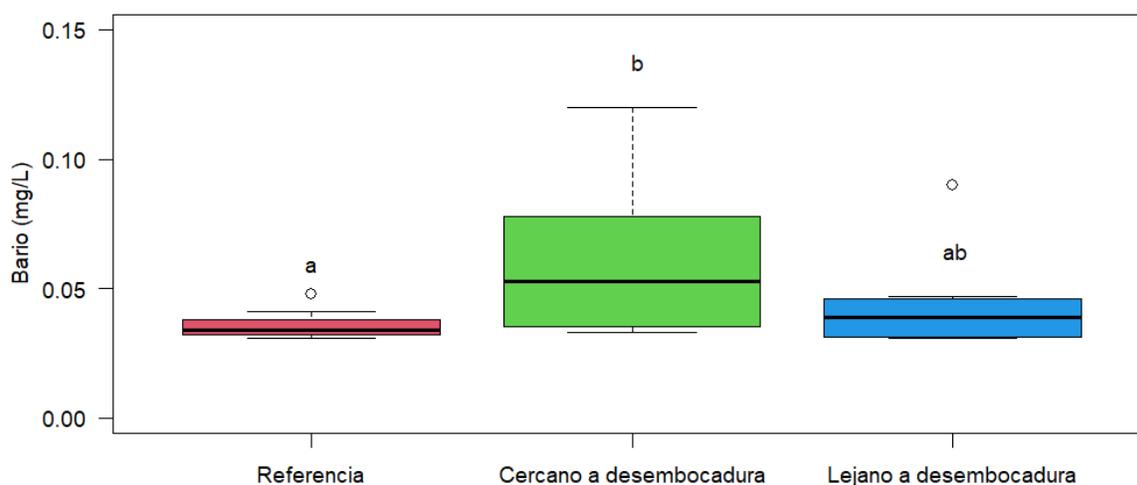


Figura 27: Variación espacial de bario.

## **Berilio**

El valor máximo de berilio (0,3  $\mu\text{g/L}$ ) se observó en los sitios G5 (Lejana a desembocadura) en el mes de octubre. Hubo múltiples resultados por debajo del límite de detección (variable durante el periodo de estudio), lo que a su vez incide en la representación gráfica presentada a continuación (Figura 28).

No se observan diferencias significativas respecto a las concentraciones de berilio entre las zonas de estudio (ANOVA,  $p > 0,05$ , Figura 29).

Valores de berilio ( $\mu\text{g/L}$ ).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	0,11	<0,05	<0,05	<0,3
G2	0,06	0,11	<0,05	<0,3
G3	0,14	0,12	0,22	<0,3
G4	0,06	<0,05	0,06	<0,3
G5	0,07	0,08	0,09	0,3
G6	0,09	<0,05	0,05	<0,3

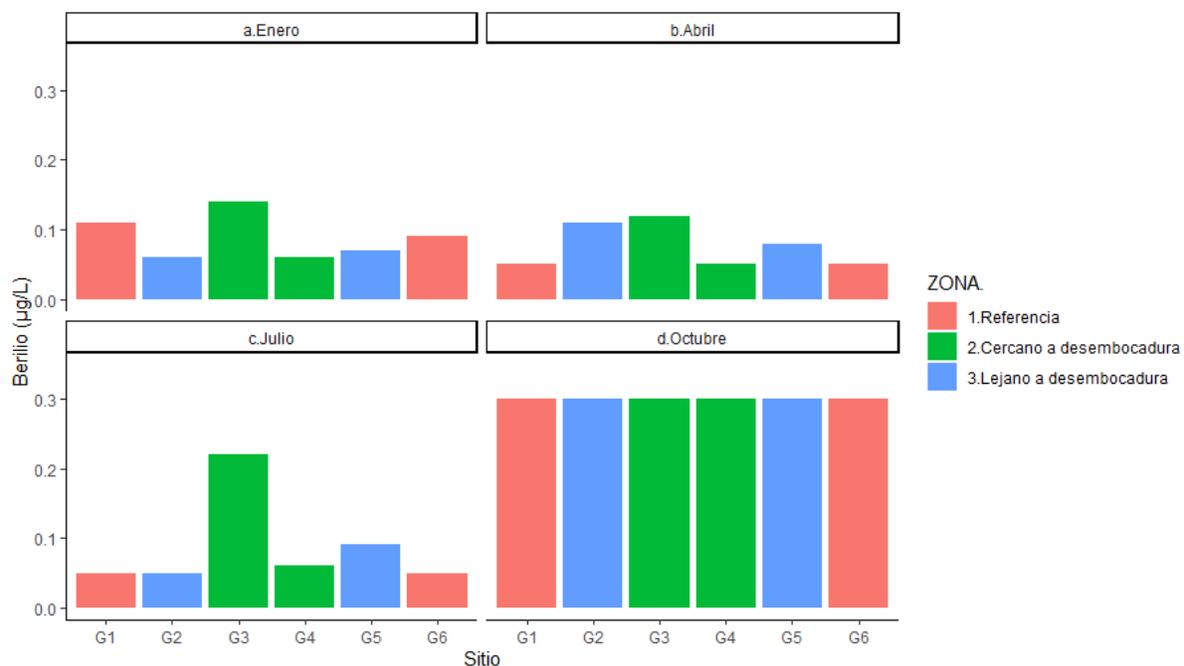


Figura 28: Variación espacial y temporal de berilio.

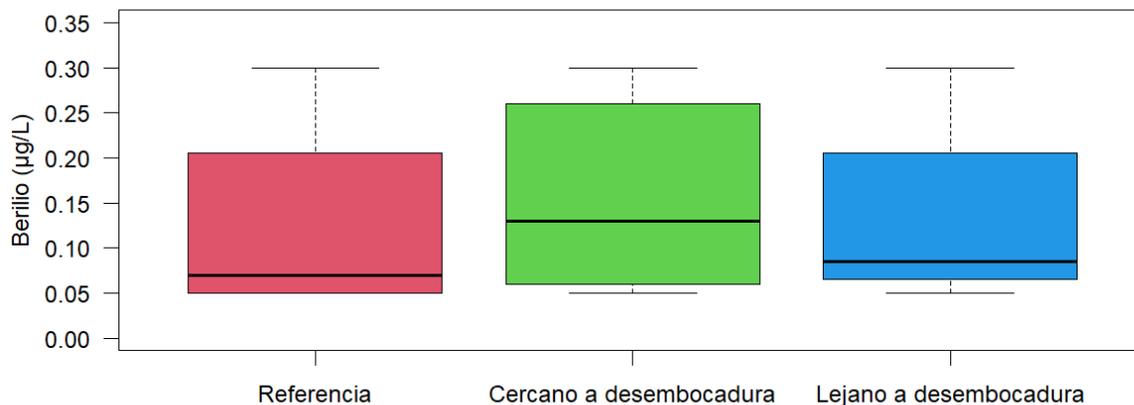


Figura 29: Variación espacial de berilio.

## **Boro**

Durante el periodo de estudio la media registrada para boro fue de 21,9 µg/L. El valor máximo fue de 98 µg/L y corresponde al sitio G3 (Cercana a desembocadura) en el mes de

octubre y el mínimo de 8 µg/L en G2 (Lejana a desembocadura) y en G6 (Referencia) en los meses de abril y junio (Figura 30).

Para el periodo reportado no se detectaron incumplimientos normativos respecto a la concentración de boro (0,5 mg/L o 500 µg/L, según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 2).

Se detectaron concentraciones significativamente más altas de boro en la zona Cercana a desembocadura con respecto a la zona Referencia (ANOVA,  $p < 0,05$ , Figura 31).

Valores de boro (µg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	10	10	9	10
G2	13	12	8	10
G3	33	23	23	98
G4	11	10	14	68
G5	12	32	15	69
G6	11	8	8	10

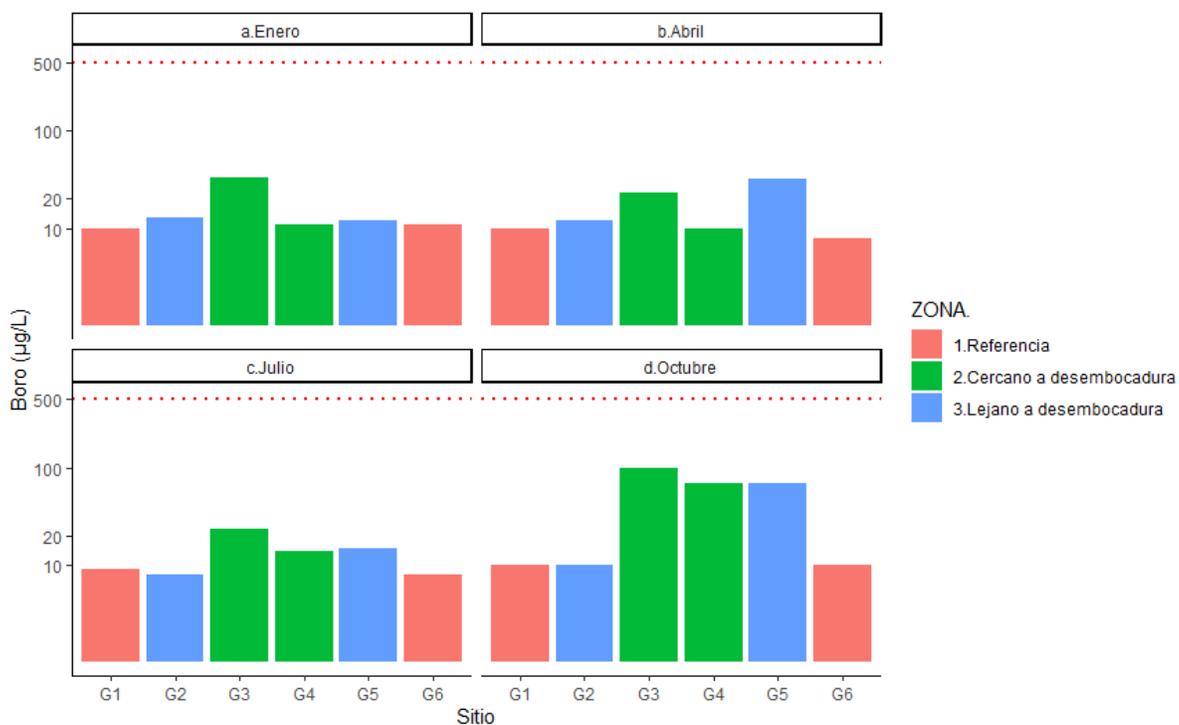


Figura 30: Variación espacial y temporal de boro.

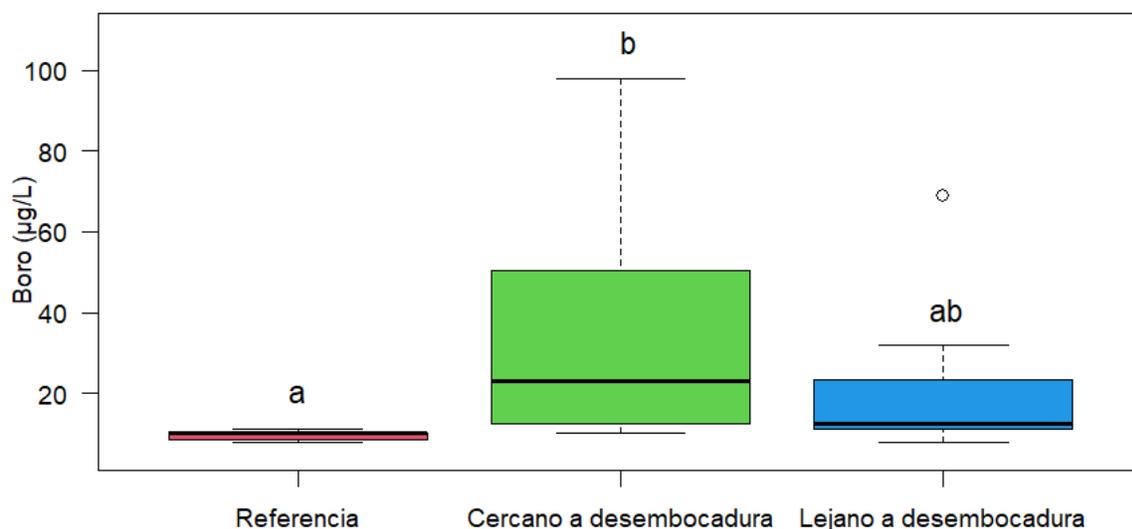


Figura 31: Variación espacial de boro.

### **Bromuro**

El valor máximo registrado para bromuro fue de 60 µg/L y corresponde al sitio G3 (Cercana a desembocadura) en el mes de octubre. Hubo múltiples resultados por debajo del límite de detección (20 µg/L) en varias fechas y sitios (Figura 32).

Según el ANOVA, no se observan diferencias significativas respecto a las concentraciones de bromuro entre las zonas de estudio ( $p > 0,05$ , Figura 33).

Valores de bromuro (µg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	<20	<20	<20	<20
G2	<20	<20	<20	<20
G3	<20	30	<20	60
G4	<20	<20	<20	50
G5	<20	30	<20	40
G6	<20	<20	<20	<20

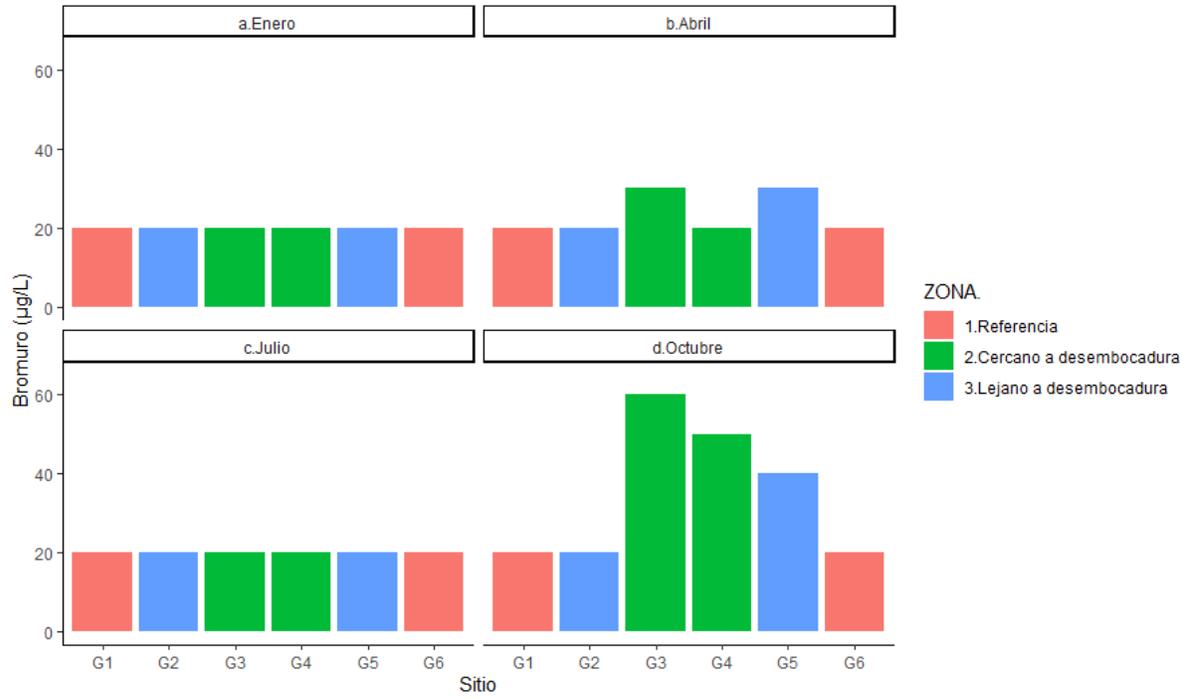


Figura 32: Variación espacial y temporal de bromuro.

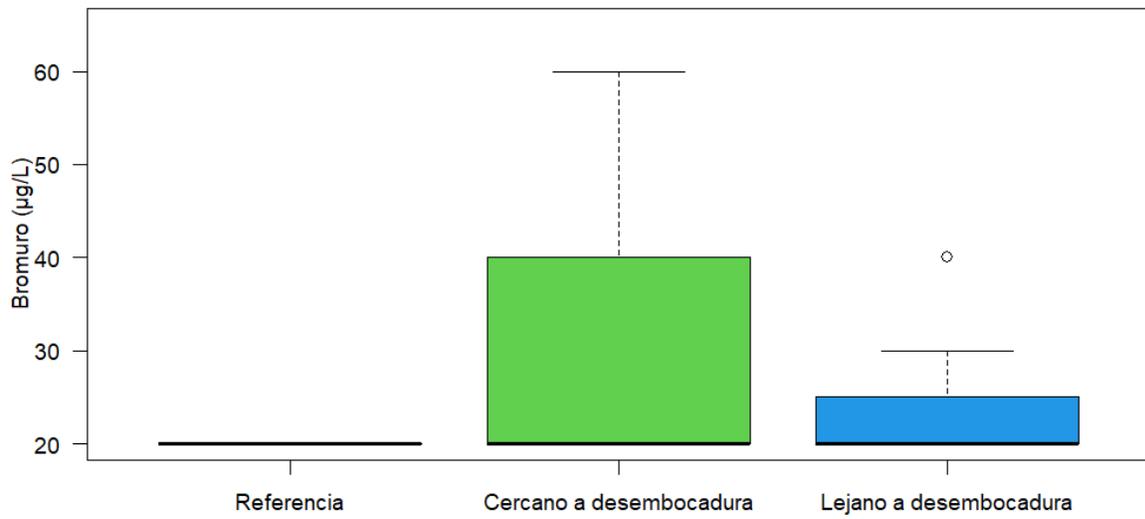


Figura 33: Variación espacial de bromuro.

## Cadmio

Se detectaron concentraciones de cadmio por encima del límite de detección en seis ocasiones, siendo la concentración máxima 0,08  $\mu\text{g/L}$  observada en el sitio G3 (Cercana a desembocadura) durante el mes de octubre (Figura 34). Corresponde hacer notar que el límite de detección analítico del mes de octubre es superior a los reportados previamente, lo cual incide en la representación gráfica subsiguiente.

Ninguna de las concentraciones detectadas resultó por encima del valor establecido en la normativa de aplicación (0,084  $\mu\text{g/L}$ , según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 4).

No se observaron diferencias significativas entre las zonas de estudio respecto a la concentración de cadmio (ANOVA,  $p > 0,05$ ; Figura 35).

Valores de cadmio ( $\mu\text{g/L}$ ).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05
G2	0,02	0,01	<0,01	<0,05
G3	0,01	<0,01	0,01	0,08
G4	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05
G5	0,01	<0,01	<0,01	<0,05
G6	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05

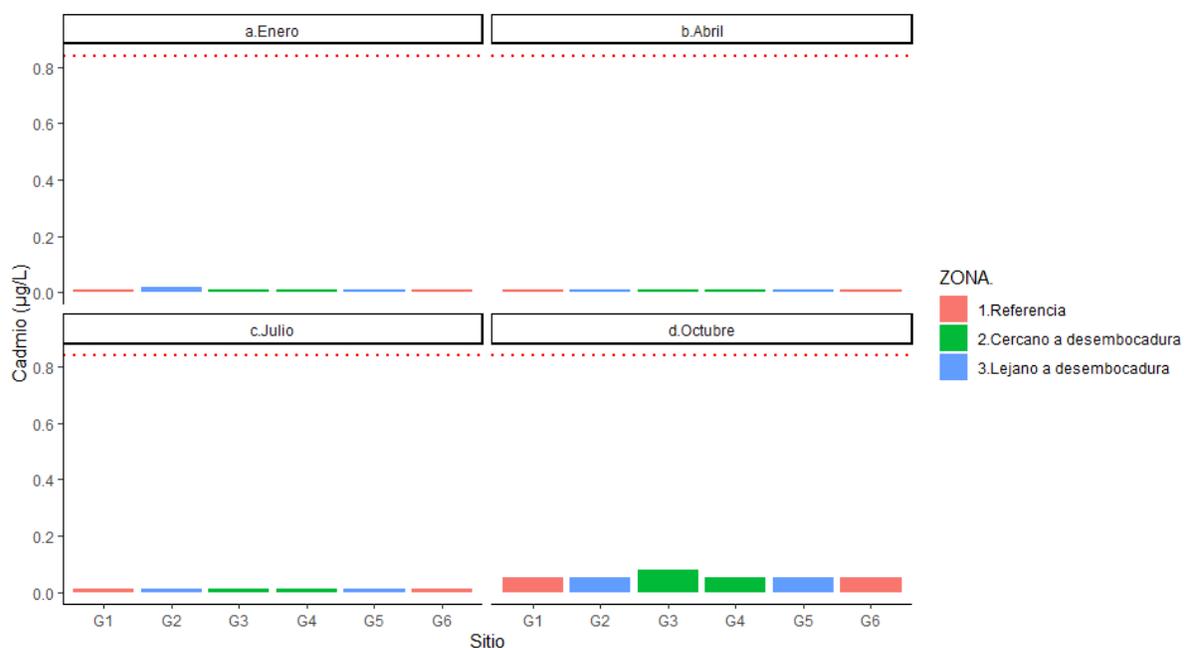


Figura 34: Variación espacial y temporal de cadmio.

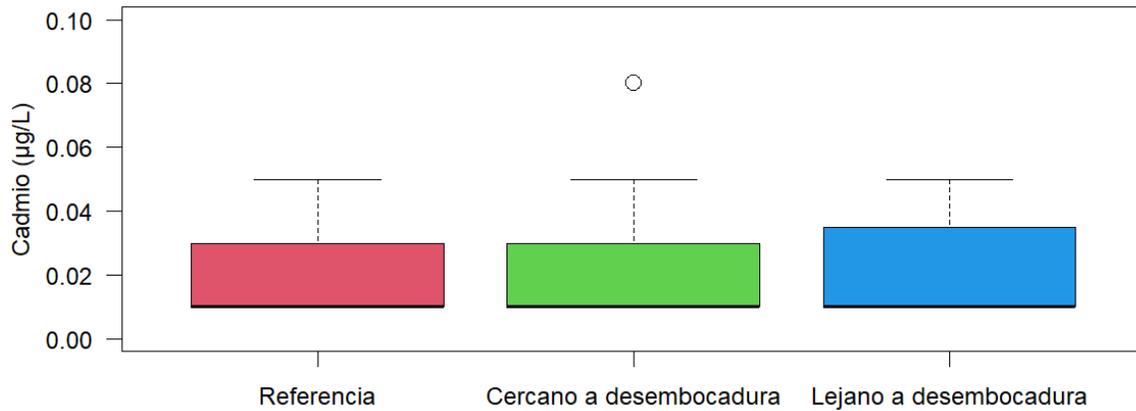


Figura 35: Variación espacial de cadmio.

## Calcio

La concentración media de calcio resultó 9 mg/L, siendo que se detectaron las concentraciones más elevadas durante el mes de octubre en todos los sitios de estudio. De estas, el valor máximo observado fue 25 mg/L correspondiente al sitio G3 (Cercana a desembocadura) y el valor mínimo (4,8 mg/L) fue observado en el sitio G1 (Referencia) en el mes de enero (Figura 37).

Se detectó una concentración de calcio significativamente más alta en la zona Cercana a desembocadura con respecto a la zona Referencia (ANOVA,  $p < 0,05$ ; Figura 38).

Valores de calcio (mg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	4,8	6,1	6,9	7,9
G2	4,9	7	7,4	7,5
G3	8	8,3	10	25
G4	4,9	6,3	8,4	20
G5	5	9,6	8,5	20
G6	5,5	6,2	8	10

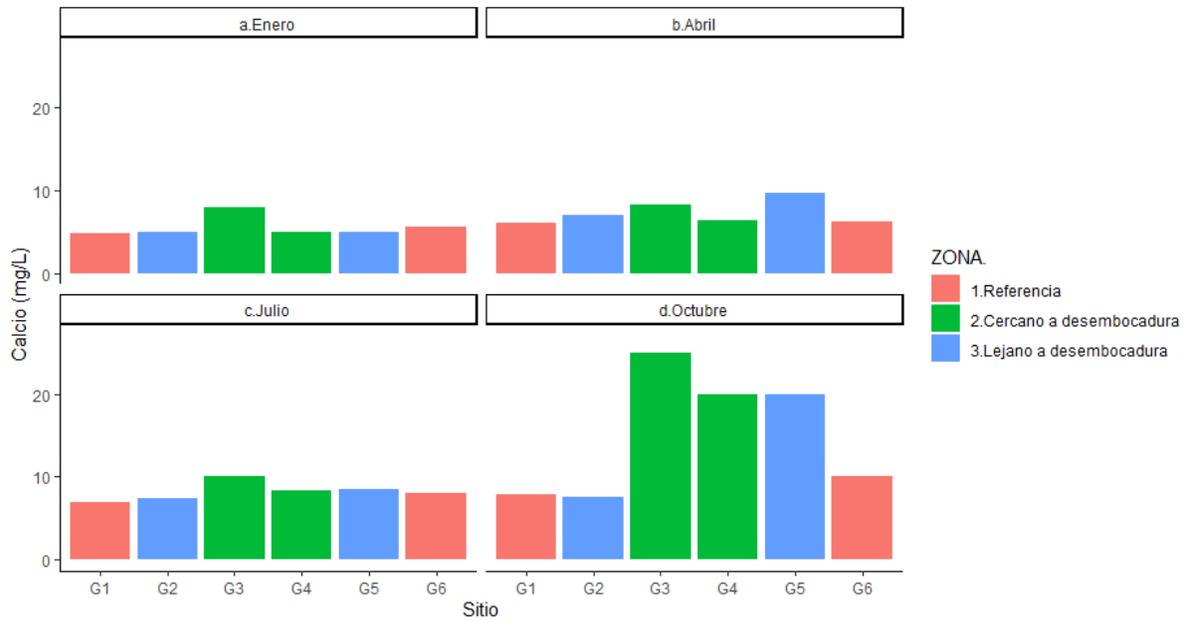


Figura 36: Variación espacial y temporal de calcio.

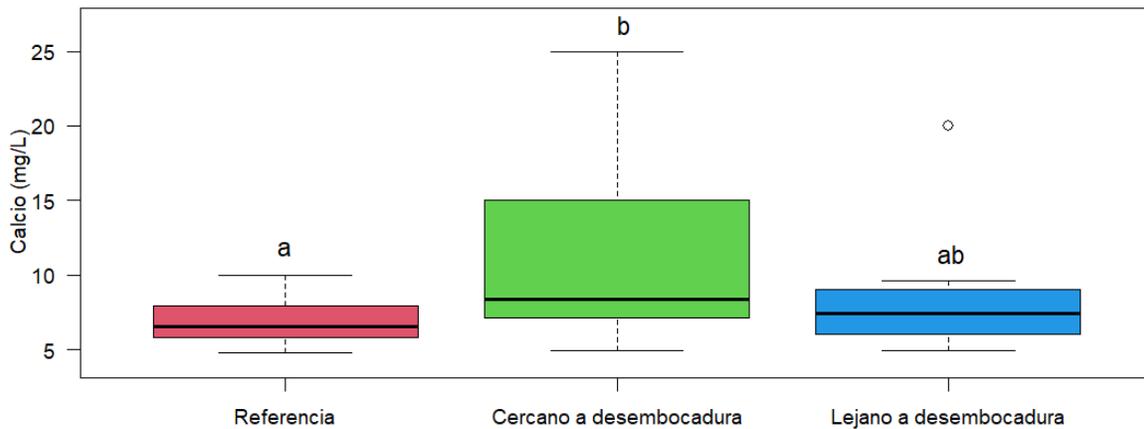


Figura 37: Variación espacial de calcio.

### Carbono Orgánico Disuelto

La concentración media de carbono orgánico disuelto fue 5,76 mg/L, con una concentración máxima de 14,6 mg/L detectada en el sitio G5 (Lejano a desembocadura) en el mes de octubre. Por el contrario, la concentración mínima observada fue 2,3 mg/L correspondiente al sitio G1 (Referencia) en el mes de enero (Figura 38).

A partir del ANOVA se encontró una concentración de carbono orgánico disuelto significativamente más alta en la zona Cercana a desembocadura con respecto a la zona Referencia ( $p < 0,05$ ; Figura 39).

Valores de carbono orgánico disuelto (mg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	4,7	2,3	2,9	s/d
G2	10,9	2,9	2,9	4
G3	7,8	3,5	9,4	11,8
G4	5,3	2,6	6,2	12,6
G5	5	4,1	3,3	14,6
G6	6,1	2,9	2,4	4,3

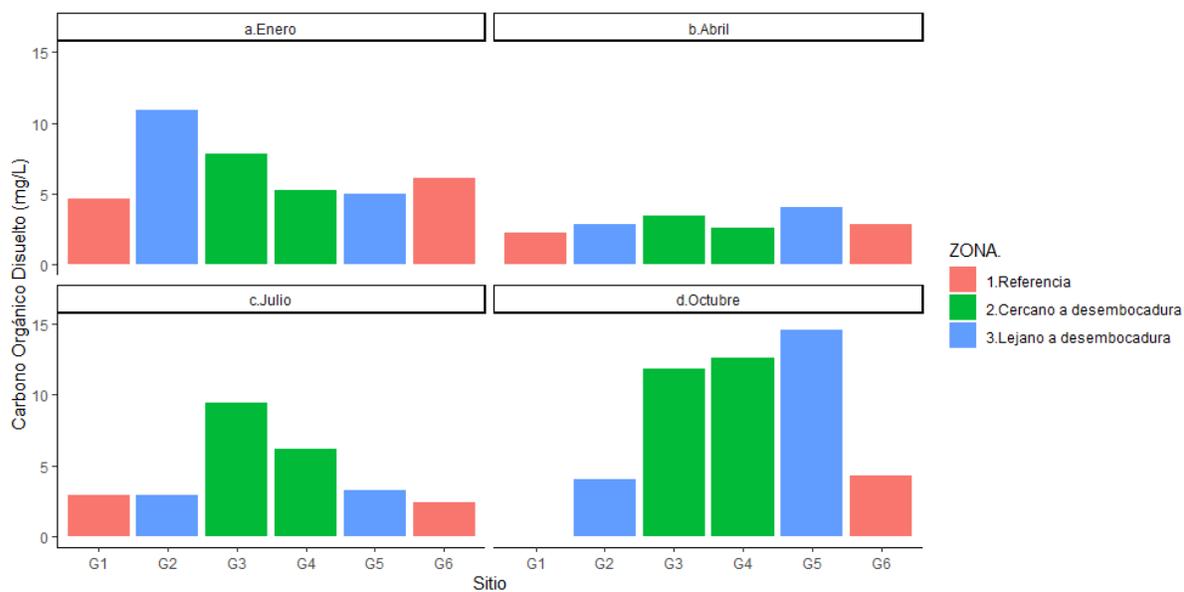


Figura 38: Variación espacial y temporal de carbono orgánico disuelto.

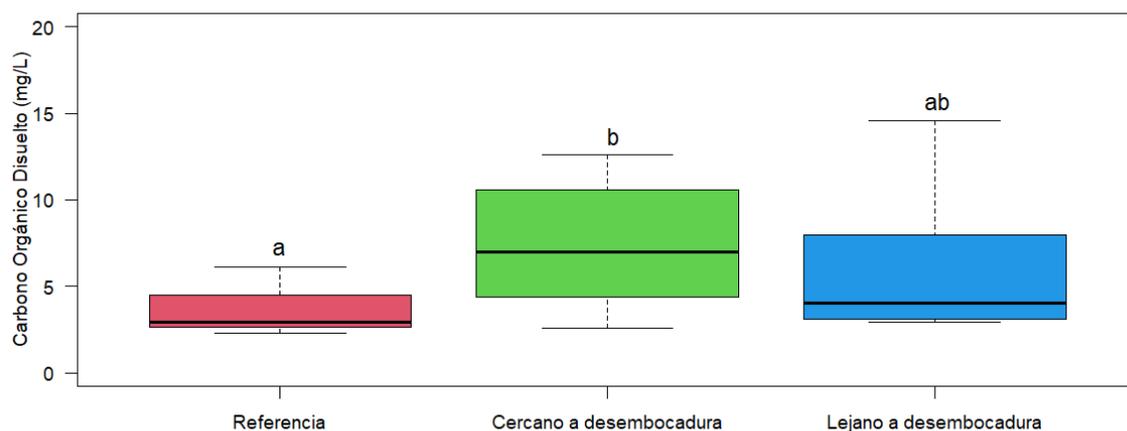


Figura 39: Variación espacial de carbono orgánico disuelto.

### **Carbono Orgánico Total**

Durante el periodo de estudio la concentración media de carbono orgánico total fue 5,53 mg/L, siendo la concentración máxima de 13,7 mg/L correspondiente al sitio G3 (Cercana a desembocadura) en el mes de octubre. La concentración mínima fue 2,5 mg/L observada en el mes de abril, en el sitio G1 y en el mes de julio en el sitio G6 (ambos en zona Referencia, Figura 40).

Se detectaron diferencias significativas entre zonas de estudio respecto a la concentración de carbono orgánico total (ANOVA,  $p < 0,05$ ; Figura 41), registrando mayores concentraciones en la zona Cercana a desembocadura con respecto a la zona Referencia.

Valores de carbono orgánico total (mg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	5,7	2,5	3,2	4,3
G2	5,8	4	3,6	3,3
G3	10,2	3,8	6,4	13,7
G4	5,9	3	4,2	12,1
G5	5,6	4,3	4,6	12,3
G6	4,5	2,9	2,5	4,4

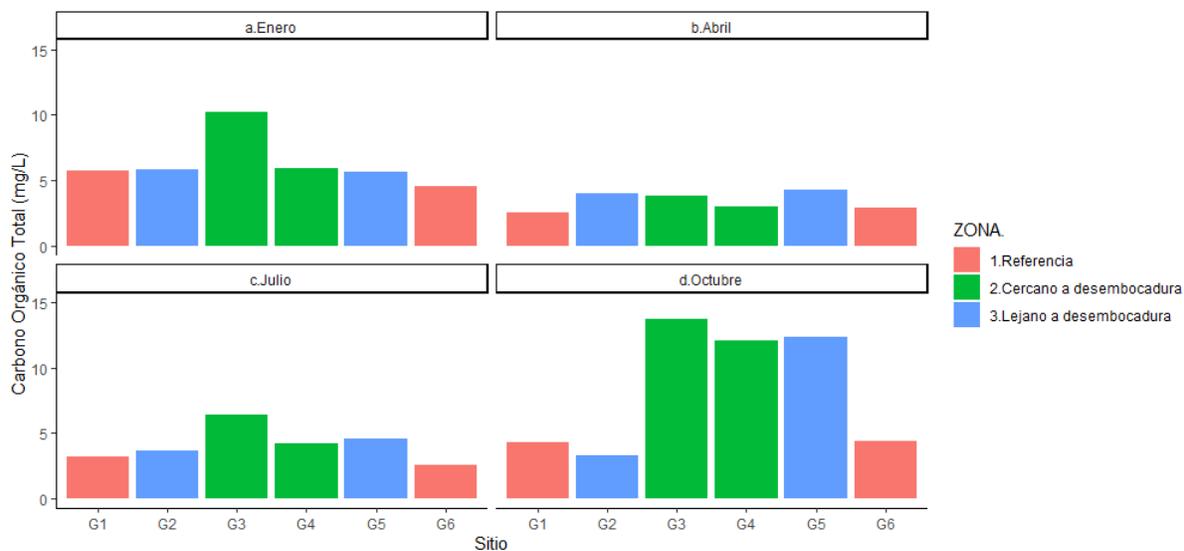


Figura 40: Variación espacial y temporal de carbono orgánico total.

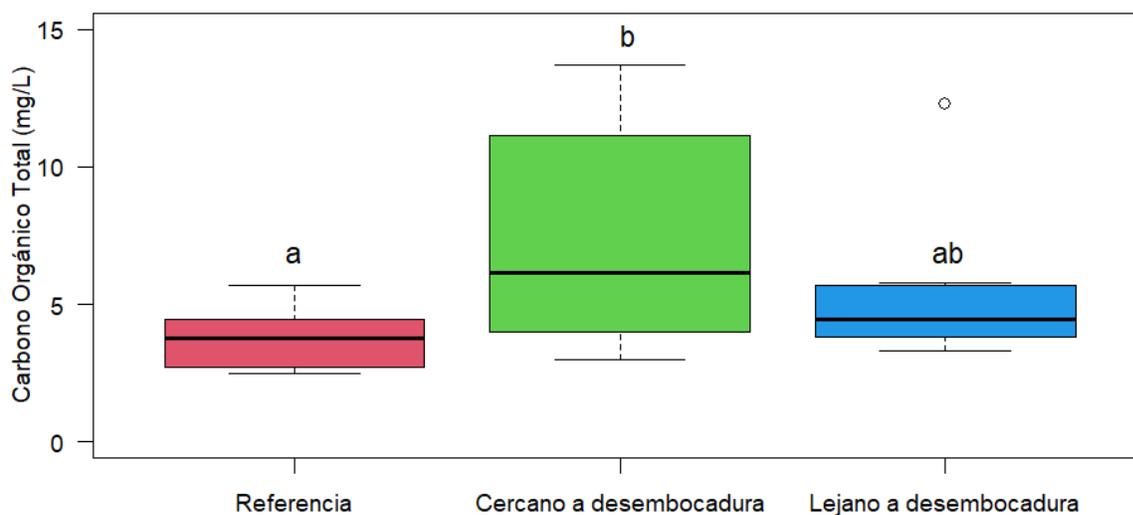


Figura 41: Variación espacial de carbono orgánico total.

### Circonio

La concentración promedio de circonio fue de 0,81  $\mu\text{g/L}$ , detectando el valor máximo para este parámetro (2,3  $\mu\text{g/L}$ ) en el sitio G3 (Cercana a desembocadura) en el mes de enero. Hubo resultados por debajo del límite de detección en el mes de octubre en los sitios G1 y

G6 (Referencia) y G2 (Lejana a desembocadura). El valor mínimo detectado resultó 0,3  $\mu\text{g/L}$  en el mes de julio en el sitio G6 (Referencia, Figura 42). Corresponde hacer notar que el límite de detección analítico del mes de octubre es superior a los reportados previamente, lo cual incide en la representación gráfica subsiguiente.

Con respecto al circonio, no se observan diferencias significativas entre las zonas de estudio analizadas (ANOVA,  $p > 0,05$ ; Figura 43).

Valores de circonio ( $\mu\text{g/L}$ ).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	0,7	0,4	0,5	<0,5
G2	0,5	0,5	0,6	<0,5
G3	2,3	0,8	1,1	2
G4	0,5	0,4	0,7	1
G5	0,4	0,6	0,9	1
G6	1,4	0,4	0,3	<0,5

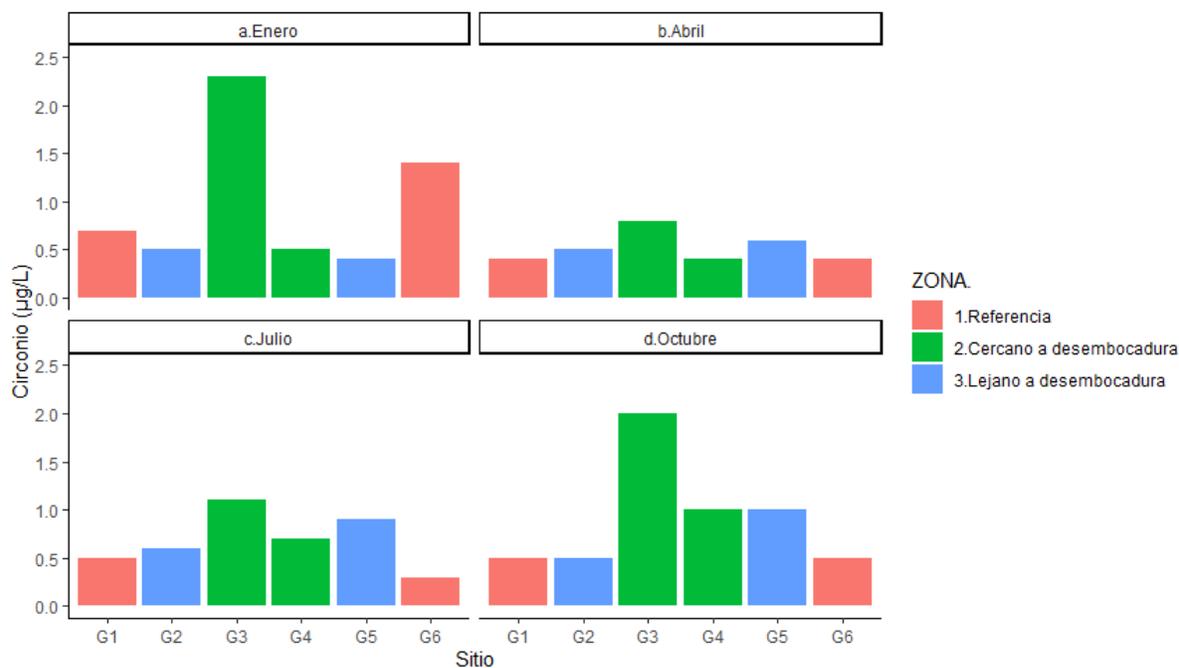


Figura 42: Variación espacial y temporal de circonio.

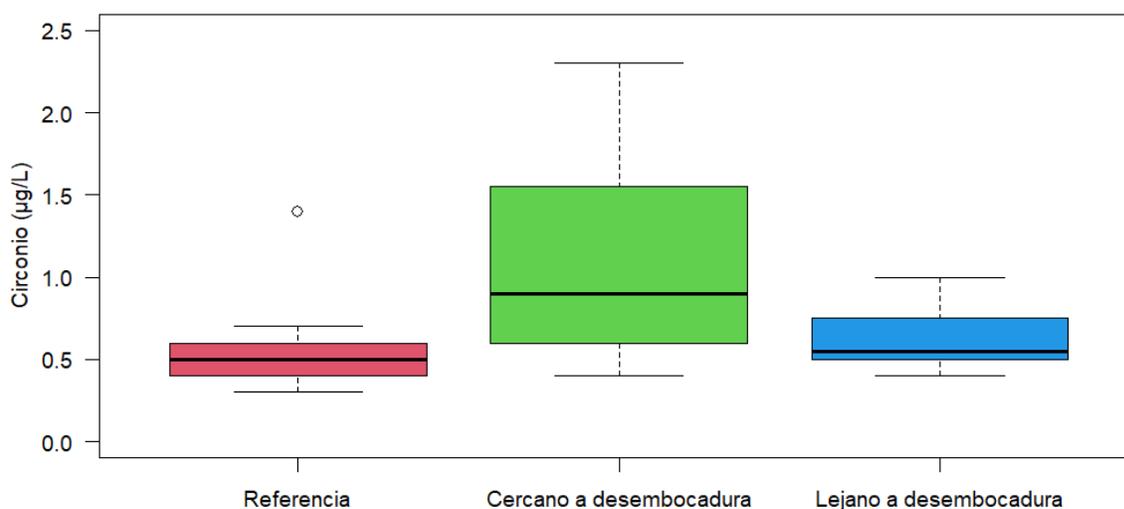


Figura 43: Variación espacial de circonio.

## **Cloruro**

La concentración media de cloruro fue 3,17 mg/L, detectando un valor máximo de 11,1 mg/L en el mes de octubre en el sitio G3 (Cercana a desembocadura). El valor mínimo de cloruro fue 1,1 mg/L y corresponde a la muestra obtenida en el mes de enero en el sitio G6 (Referencia, Figura 44).

Durante este periodo no se registraron incumplimientos normativos respecto a la concentración de cloruro (250 mg/L Cl, según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 1).

A partir del análisis de varianza se observa que hay diferencias significativas entre zonas, registrando concentraciones mayores en la zona Cercana a desembocadura con respecto a la zona Referencia (ANOVA,  $p < 0,05$ , Figura 45).

Valores de cloruro (mg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	1,17	2,13	1,98	2,26
G2	1,27	3,02	2,27	2,62
G3	1,72	3,6	3,92	11,1
G4	1,27	2,43	2,56	8,09
G5	1,24	4,31	2,58	8,87

G6                      1,1                      2,53                      2,06                      2,07

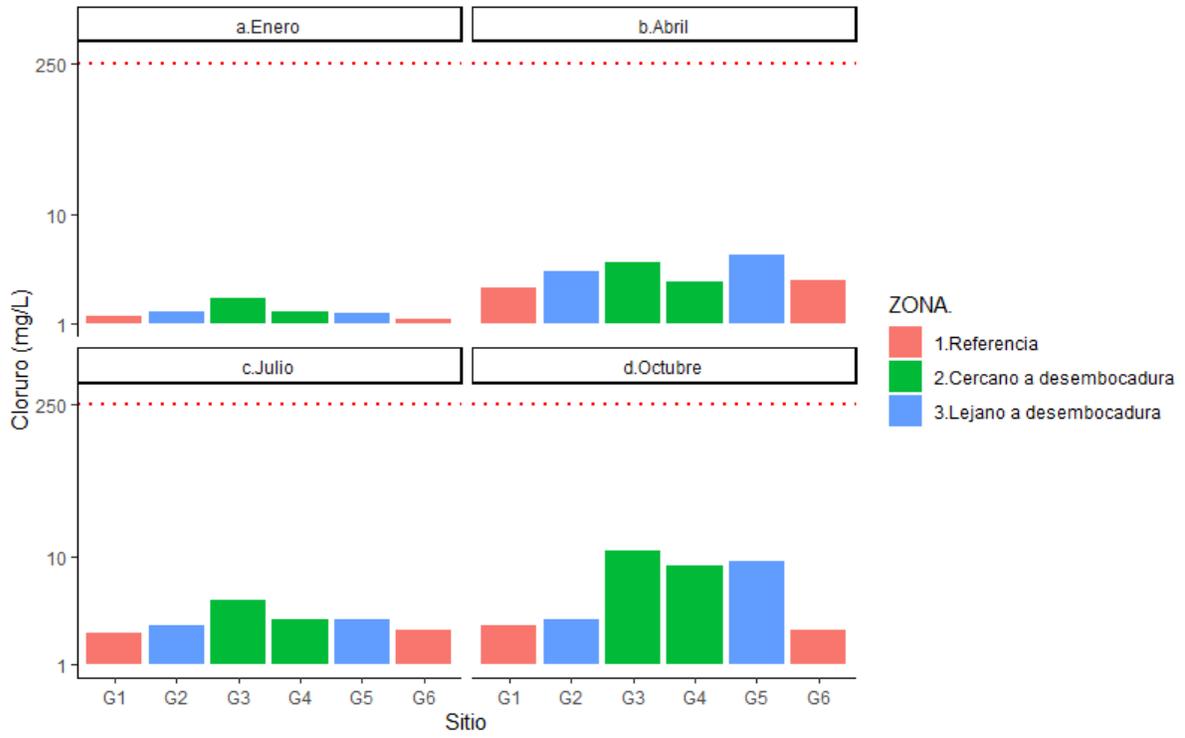


Figura 44: Variación espacial y temporal de cloruro.

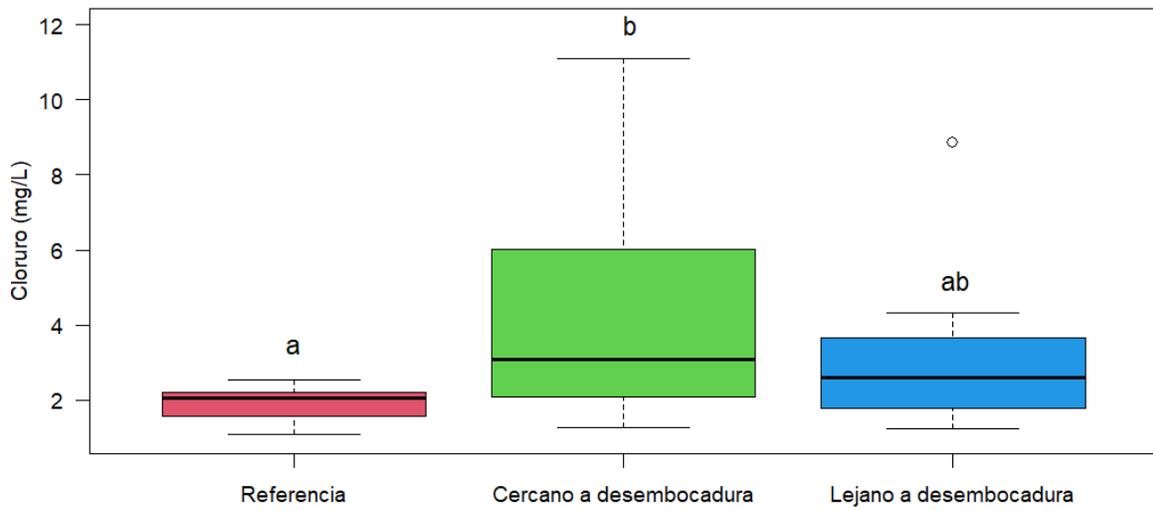


Figura 45: Variación espacial de cloruro.

## **Cobalto**

La concentración media de cobalto fue 0,52 µg/L siendo que el valor máximo fue 1,1 µg/L detectado en el mes de abril para los sitios G2 (Lejana a desembocadura) y G3 (Cercana a desembocadura). La concentración mínima resultó 0,2 µg/L correspondiente a la determinación realizada en el mes de octubre en los sitios G1 y G6 (Referencia, Figura 46).

La zona Cercana a desembocadura presentó concentraciones significativamente más elevadas de cobalto con respecto a la zona Referencia (ANOVA,  $p < 0,05$ ; Figura 47).

*Valores de cobalto (µg/L).*

<b>Fecha de muestreo</b>	<b>Enero</b>	<b>Abril</b>	<b>Julio</b>	<b>Octubre</b>
G1	0,61	0,49	0,27	0,2
G2	0,45	1,1	0,32	0,5
G3	0,55	1,1	0,73	0,88
G4	0,53	0,44	0,35	0,8
G5	0,36	0,7	0,33	0,5
G6	0,6	0,27	0,25	0,2

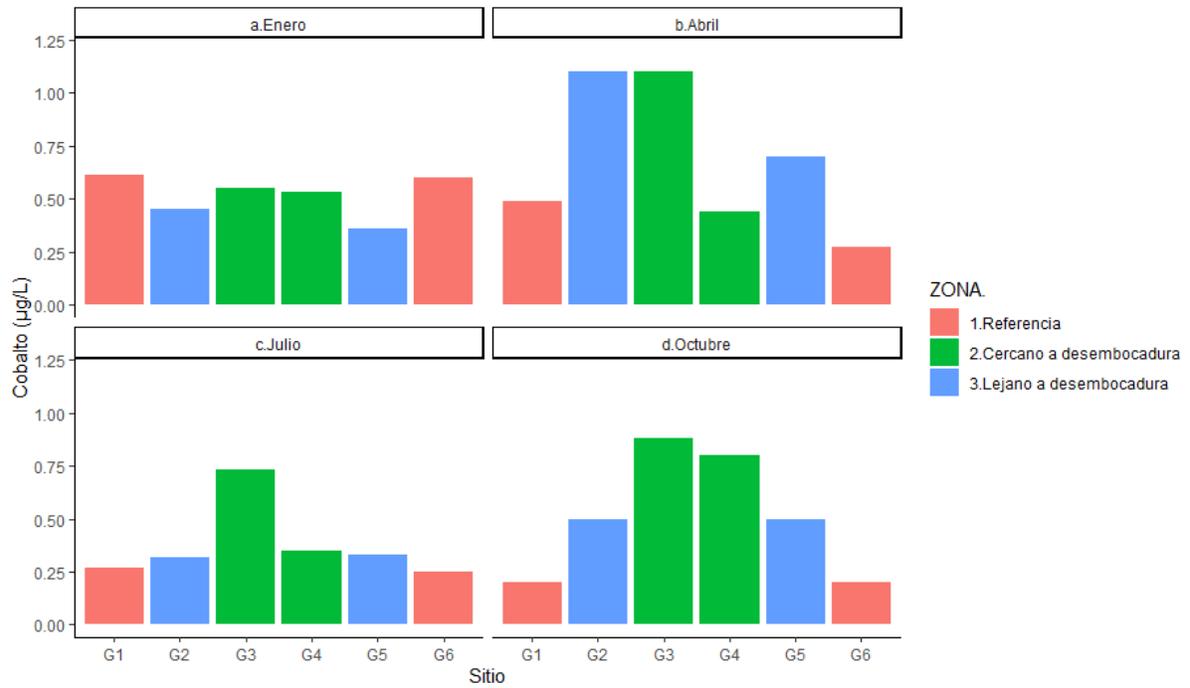


Figura 46: Variación espacial y temporal de cobalto.

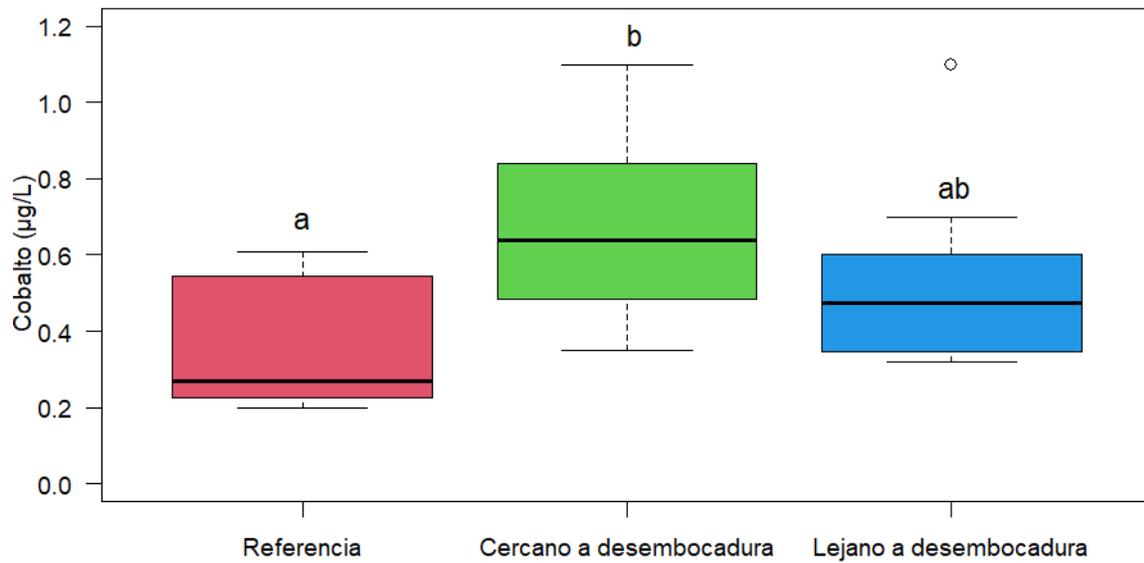


Figura 47: Variación espacial de cobalto.

## Cobre

Con una media de 3,6  $\mu\text{g/L}$ , la concentración de cobre varió entre un máximo de 9,1  $\mu\text{g/L}$  en el sitio G3 (Cercana a desembocadura) en el mes de octubre, y un mínimo de 2  $\mu\text{g/L}$  en el sitio G6 (Referencia), también para el mes de octubre (Figura 48).

Para el periodo de estudio no se registraron incumplimientos normativos respecto a la concentración de cobre (0,01 mg/L, según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 4).

Para el parámetro cobre no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio (ANOVA,  $p > 0,05$ ; Figura 49).

Valores de cobre ( $\mu\text{g/L}$ ).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	3,8	3,5	2,6	3
G2	2,7	4,9	3	4
G3	3,2	4,7	4,2	9,1
G4	3,1	3,4	3	5
G5	2,7	3,9	2,8	4
G6	4,1	3	2,5	2

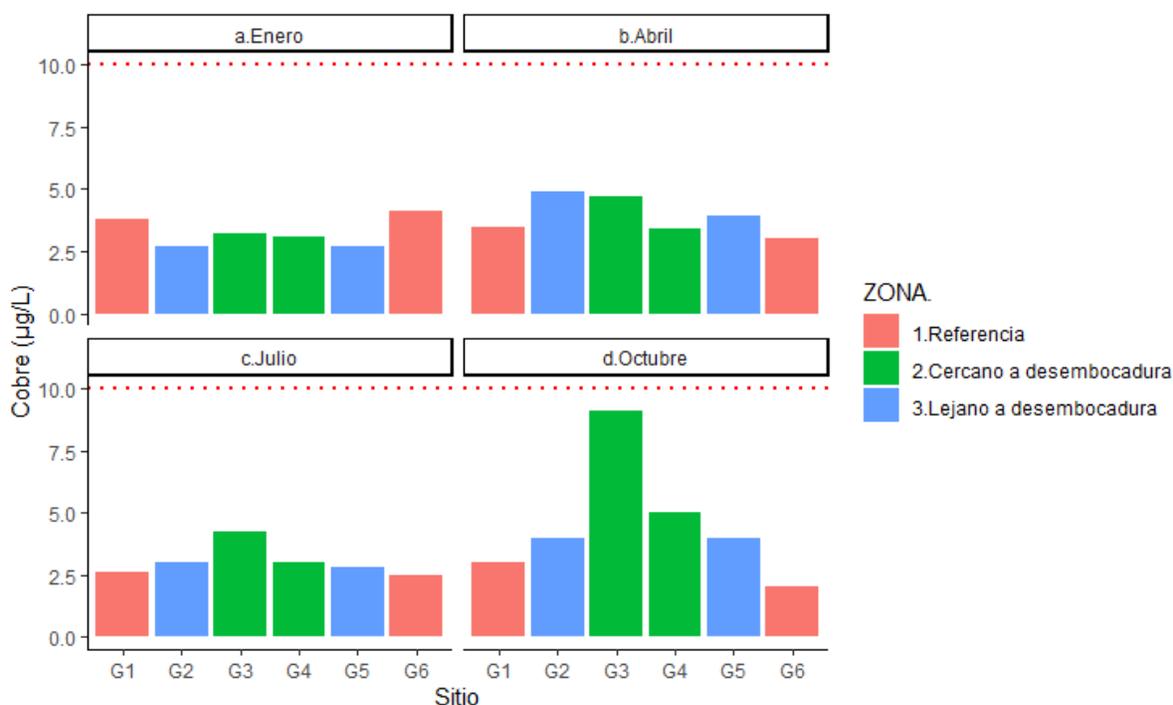


Figura 48: Variación espacial y temporal de cobre.

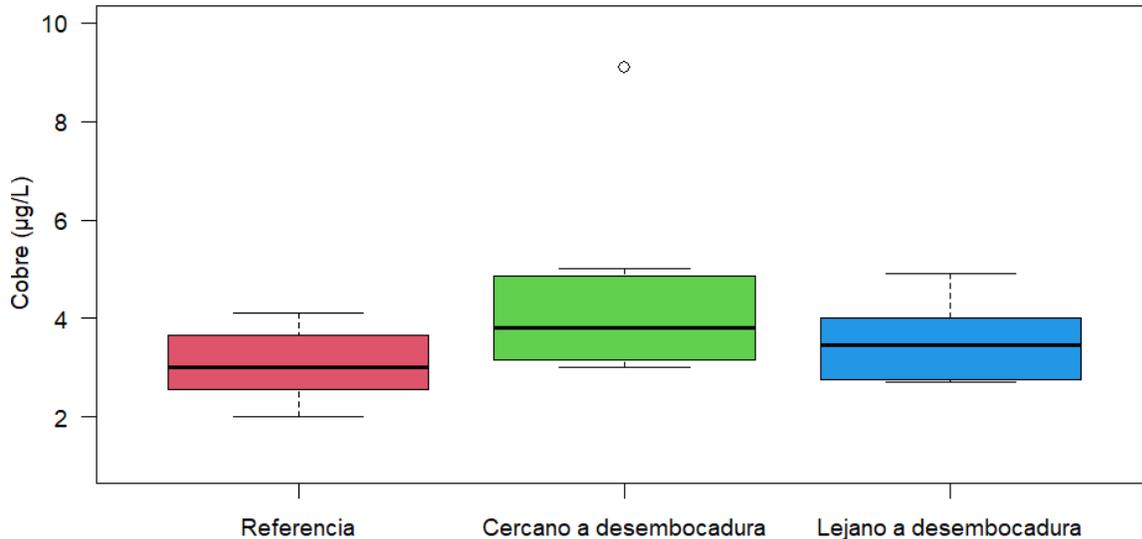


Figura 49: Variación espacial de cobre.

### **Cromo Total**

Durante el periodo de estudio se registró una concentración media de cromo de 3,79 µg/L, siendo 68 µg/L la concentración máxima registrada, correspondiente al sitio G3 (Cercana a desembocadura) durante el mes de octubre (Figura 50). La concentración mínima estuvo por debajo del límite de detección (<0,05 µg/L) correspondiente al sitio G6 (Referencia) durante el mes de abril.

La concentración máxima reportada implica un incumplimiento de la normativa de aplicación (0,01 mg/L o 10 µg/L según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 4) y se indica en la Tabla con color naranja.

Se observaron concentraciones de cromo significativamente más elevadas en la zona Cercana a desembocadura con respecto a la zona Referencia (ANOVA,  $p < 0,05$ , Figura 51).

Valores de cromo total (µg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	0,8	0,61	0,73	0,4
G2	0,51	1,7	0,79	0,4
G3	1,5	1,3	1,9	68

G4	0,69	0,87	1,1	0,63
G5	0,55	1,4	0,83	0,64
G6	1	<0,05	0,56	0,3

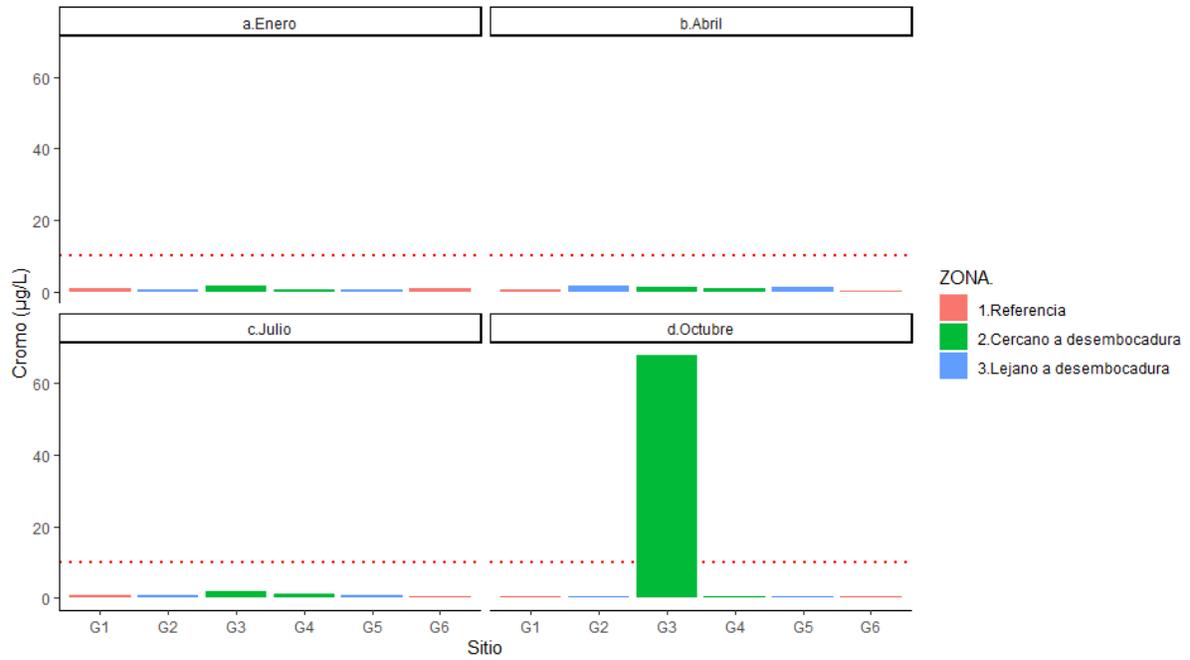


Figura 50: Variación espacial y temporal de cromo.

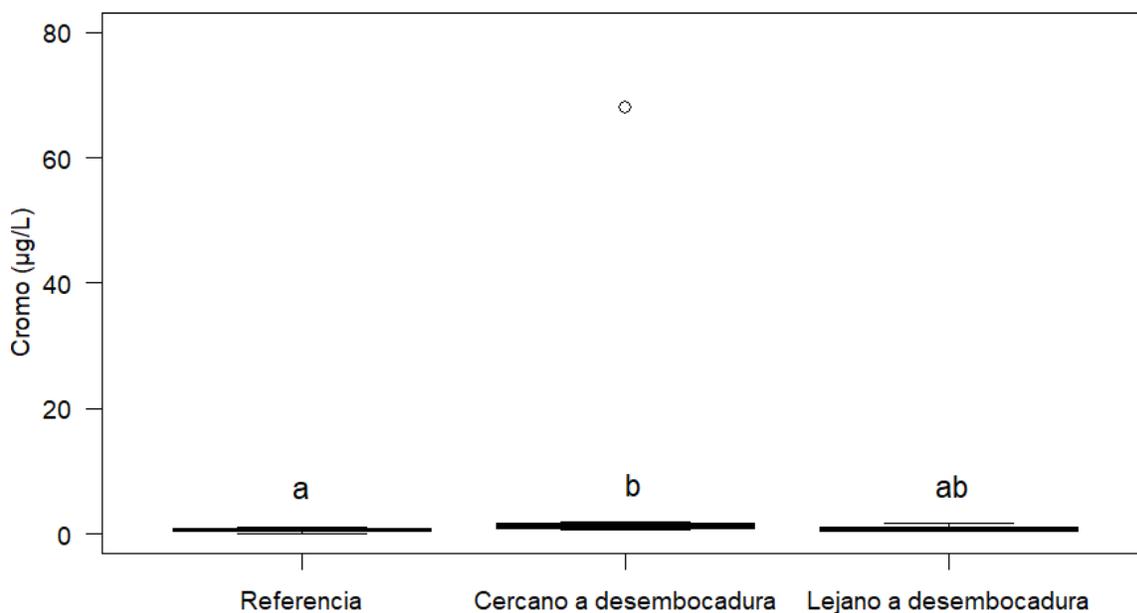


Figura 51: Variación espacial de cromo.

### **Demanda Bioquímica de Oxígeno - DBO<sub>5</sub>**

El valor máximo registrado de DBO<sub>5</sub> fue 3,9 mg/L correspondiente al sitio G3 (Cercana a desembocadura) durante el mes de octubre (Figura 52). Se observaron múltiples registros por debajo del límite de detección de la técnica analítica (0,5 mg/L).

Ninguna de las observaciones reportadas superó el límite establecido en la normativa de aplicación (5 mg/L según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 4).

A partir del análisis de varianza no se detectaron diferencias significativas en la concentración de DBO<sub>5</sub> entre las zonas de estudio (ANOVA,  $p > 0,05$ ; Figura 53).

Valores de DBO<sub>5</sub> (mg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	<0,5	<0,5	0,7	1,1
G2	<0,5	<0,5	0,6	1,6
G3	0,62	<0,5	<0,5	3,9
G4	0,58	<0,5	0,76	3,8
G5	<0,5	<0,5	<0,5	3,2
G6	0,61	<0,5	<0,5	0,77

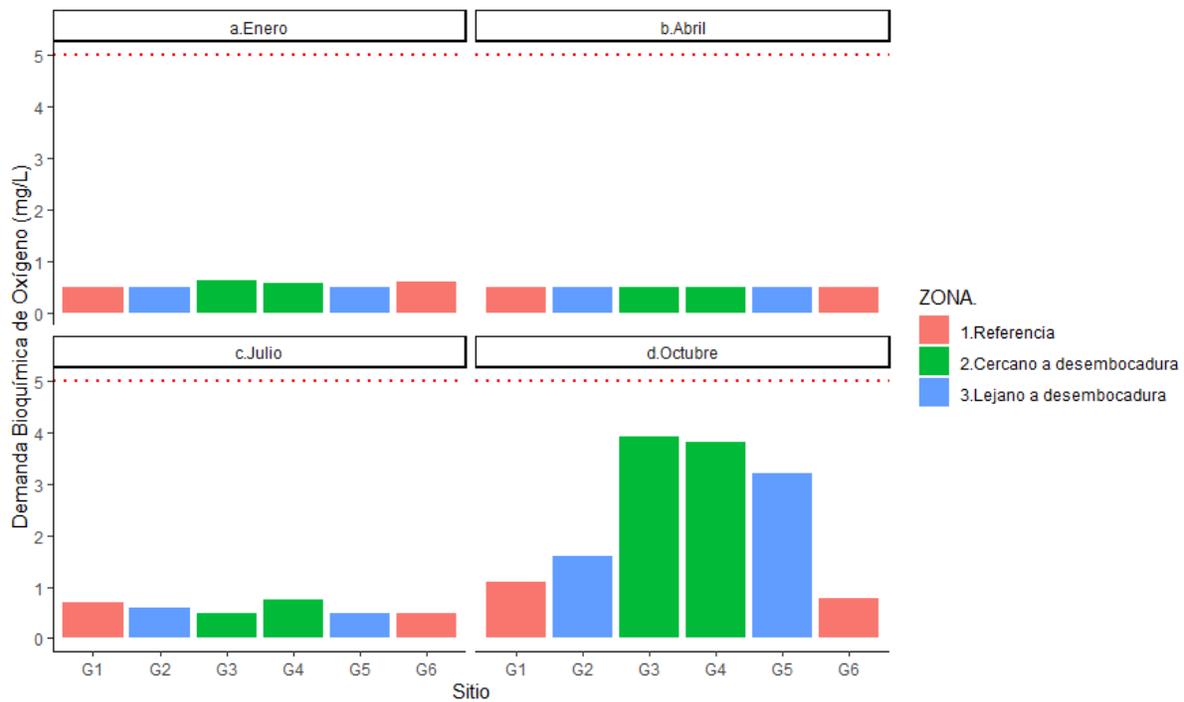


Figura 52: Variación espacial y temporal de DBO<sub>5</sub>.

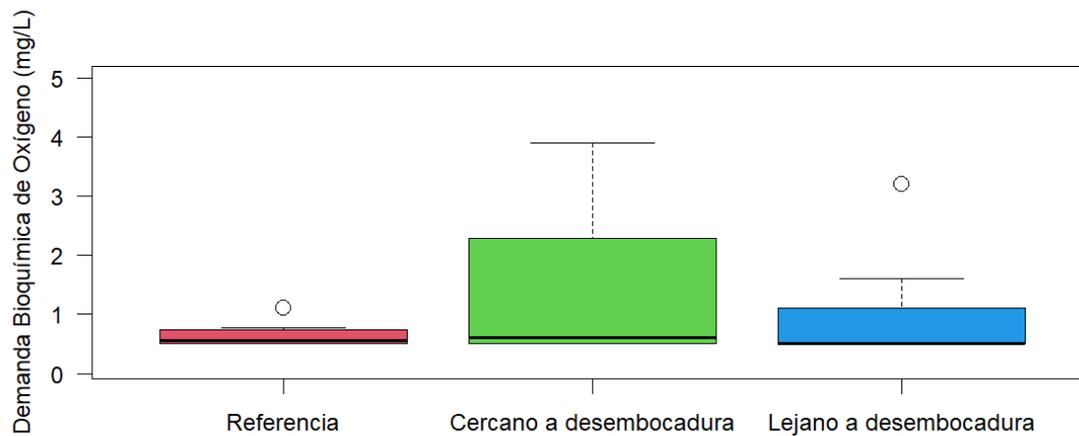


Figura 53: Variación espacial de DBO<sub>5</sub>.

## Demanda Química de Oxígeno – DQO

Para este parámetro, siendo que se dispuso de resultados analíticos de dos laboratorios (LCC y Element), se reportan en lo siguiente los valores promedio de las dos determinaciones analíticas realizadas para cada campaña.

La demanda química de oxígeno presentó una media de 18,14 mg O<sub>2</sub>/L, siendo que la concentración máxima (36,49 mg O<sub>2</sub>/L) se registró en el sitio G3 (Cercana a desembocadura) en el mes de octubre. Se observaron tres concentraciones por debajo del límite de cuantificación, una durante el mes de abril en el sitio G6 (Referencia), y otras dos durante el mes de julio en los sitios G1 y G6 (ambos en zona Referencia, Figura 54). Nótese que los resultados aquí reportados corresponden al valor promedio aritmético de los valores reportados por dos laboratorios que analizaron este parámetro.

Se observaron diferencias estadísticamente más elevadas respecto a la DQO en la zona Cercana a desembocadura con respecto a la zona Referencia (ANOVA,  $p < 0,05$ ; Figura 55).

*Valores de DQO (mg/L).*

<b>Fecha de muestreo</b>	<b>Enero</b>	<b>Abril</b>	<b>Julio</b>	<b>Octubre</b>
G1	18,5	7,0	<8,82	10,91
G2	18,7	10,4	10,5	14,08
G3	29,7	10,3	19,8	36,49
G4	21,5	10,0	13,6	35,28
G5	20,0	14,7	11,7	34,97
G6	17,1	<5,8	<9,3	15,93

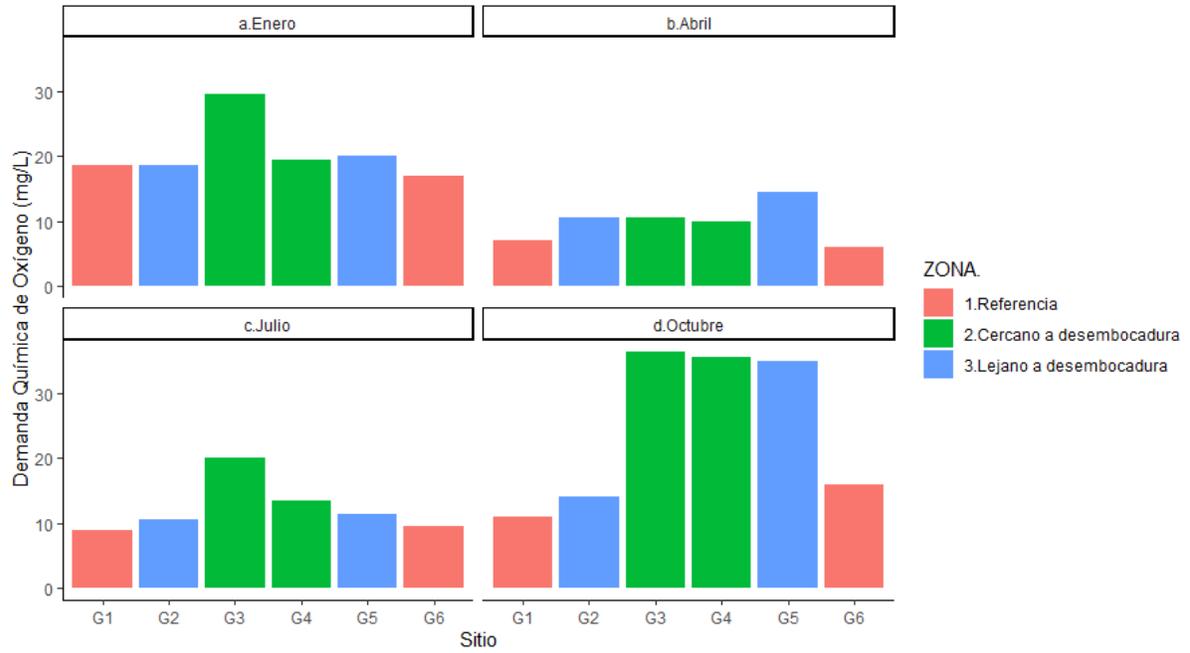


Figura 54: Variación espacial y temporal de DQO.

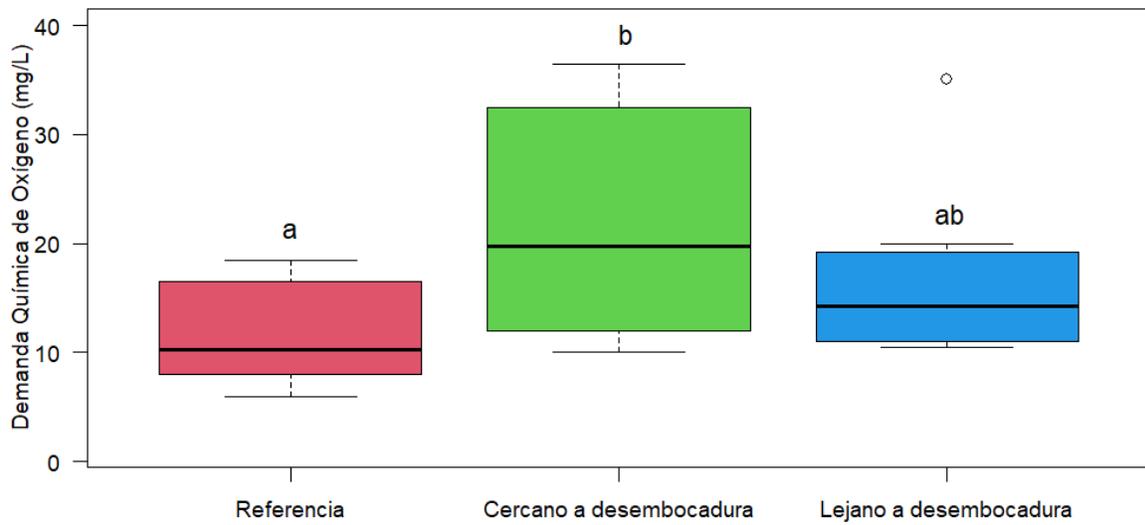


Figura 55: Variación espacial de DQO.

## Dureza Total

Con respecto a la dureza total, durante el periodo de estudio se registró una concentración media de 32 mg CaCO<sub>3</sub>/L. El valor máximo registrado fue 81 mg CaCO<sub>3</sub>/L y corresponde al sitio G3 (Cercana a desembocadura) durante el mes de octubre. Por el contrario, la concentración mínima registrada fue 18 mg CaCO<sub>3</sub>/L y se detectó en varios sitios durante el mes de enero (Figura 56).

No se registraron incumplimientos normativos respecto a este parámetro durante el periodo reportado (200 mg/L de CaCO<sub>3</sub>, Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 1).

Se registraron concentraciones significativamente más altas en la zona Cercana a desembocadura con respecto a la zona Referencia (ANOVA, p<0,05; Figura 57).

Valores de dureza total (mg CaCO<sub>3</sub>/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	18	24	26	29
G2	18	27	28	28
G3	27	31	37	81
G4	18	25	31	67
G5	18	35	31	67
G6	20	24	30	35

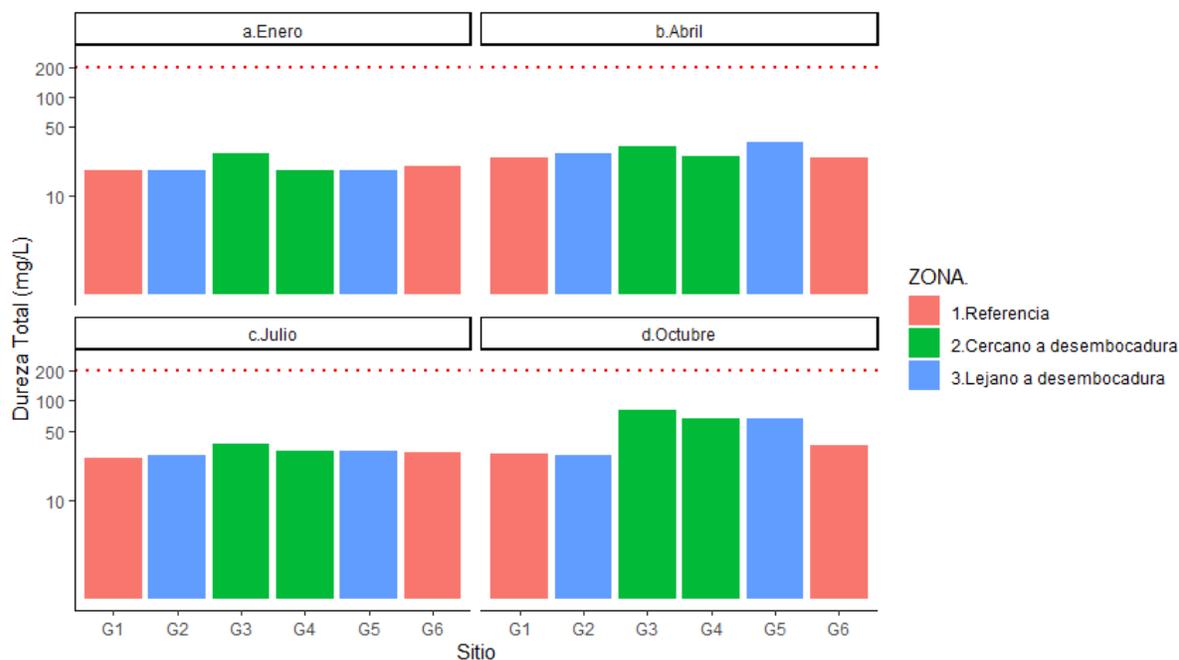


Figura 56: Variación espacial y temporal de dureza.

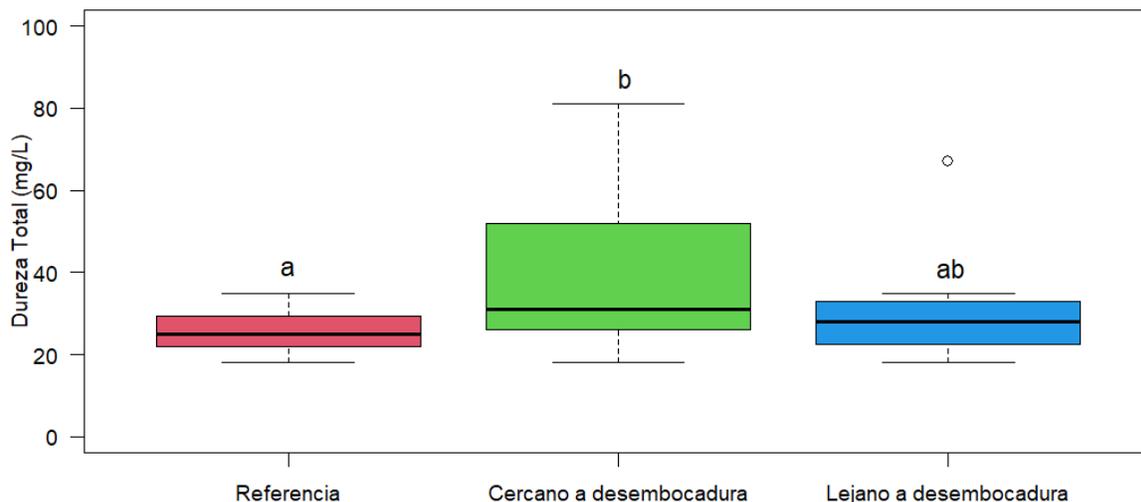


Figura 57: Variación espacial de dureza.

## Estaño

Se reportan concentraciones de estaño por encima del límite de detección en cinco ocasiones, registrándose la máxima concentración (1  $\mu\text{g/L}$ ) en el mes de octubre en el sitio G4 (Cercana a desembocadura, Figura 58). Corresponde hacer notar que el límite de detección analítico del mes de octubre es superior a los reportados previamente, lo cual incide en la representación gráfica subsiguiente.

No se observan diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio respecto a la concentración de estaño (ANOVA,  $p > 0,05$ ; Figura 59).

Valores de estaño ( $\mu\text{g/L}$ ).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5
G2	<0,1	0,2	0,1	<0,5
G3	0,2	<0,1	<0,1	<0,5
G4	<0,1	<0,1	<0,1	1
G5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5
G6	<0,1	<0,1	0,3	<0,5

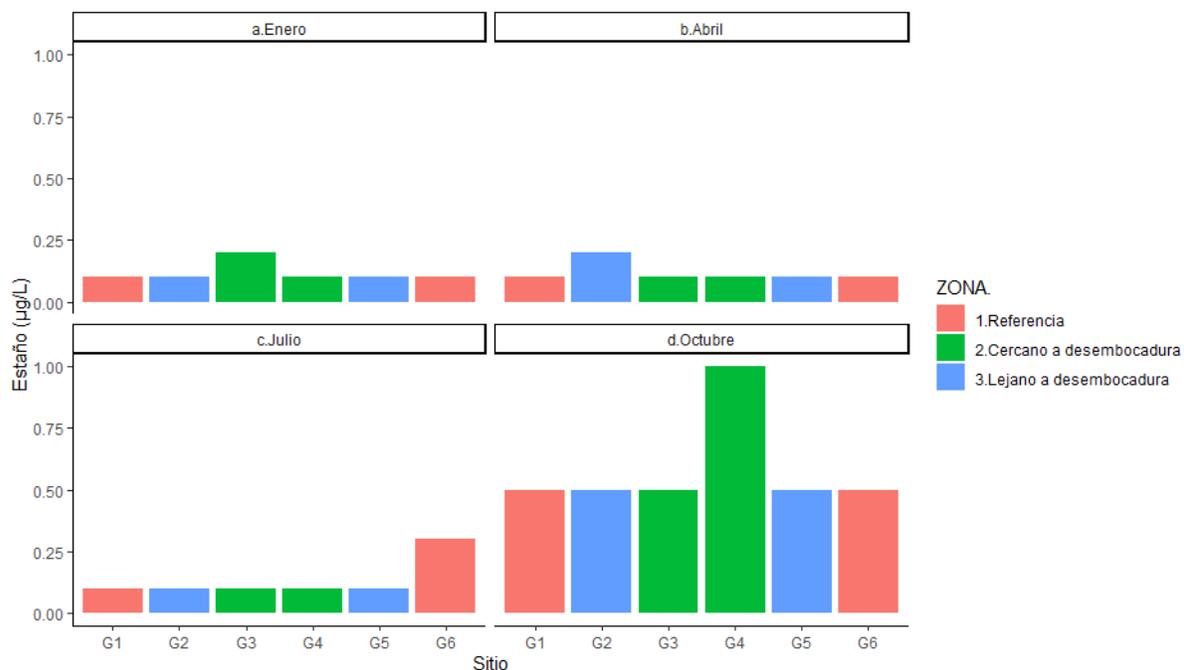


Figura 58: Variación espacial y temporal de estaño.

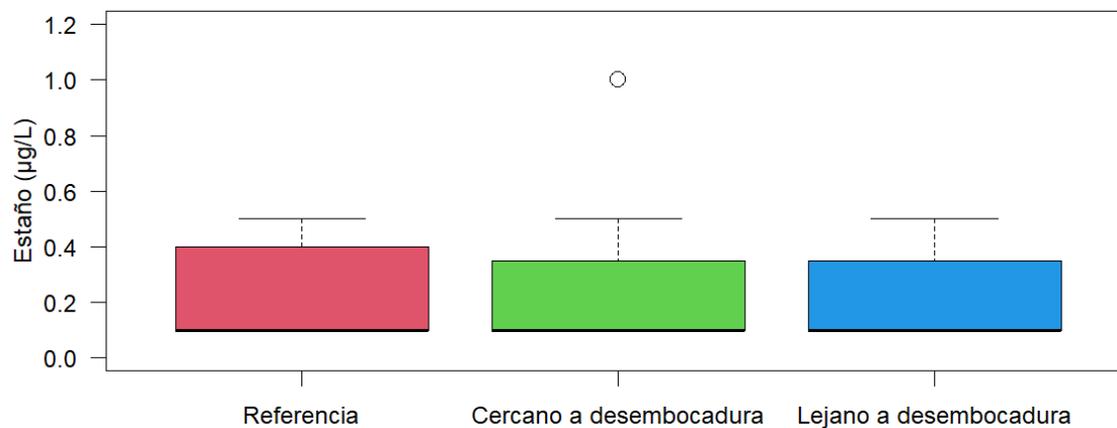


Figura 59: Variación espacial de estaño.

## **Estroncio**

Las concentraciones de estroncio variaron entre un máximo de 0,220 mg/L en el sitio G3 (Cercana a desembocadura) en el mes de octubre hasta un mínimo de 0,032 mg/L en el sitio

G1 (Referencia) en el mes de enero. La concentración media de estroncio fue 0,063 mg/L (Figura 60).

Se observaron concentraciones significativamente más altas de estroncio en la zona Cercana a desembocadura con respecto a la zona Referencia (ANOVA,  $p < 0,05$ ; Figura 61).

Valores de estroncio (mg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	0,032	0,034	0,040	0,048
G2	0,033	0,045	0,040	0,046
G3	0,073	0,065	0,080	0,220
G4	0,033	0,037	0,052	0,170
G5	0,034	0,072	0,050	0,170
G6	0,033	0,037	0,039	0,052

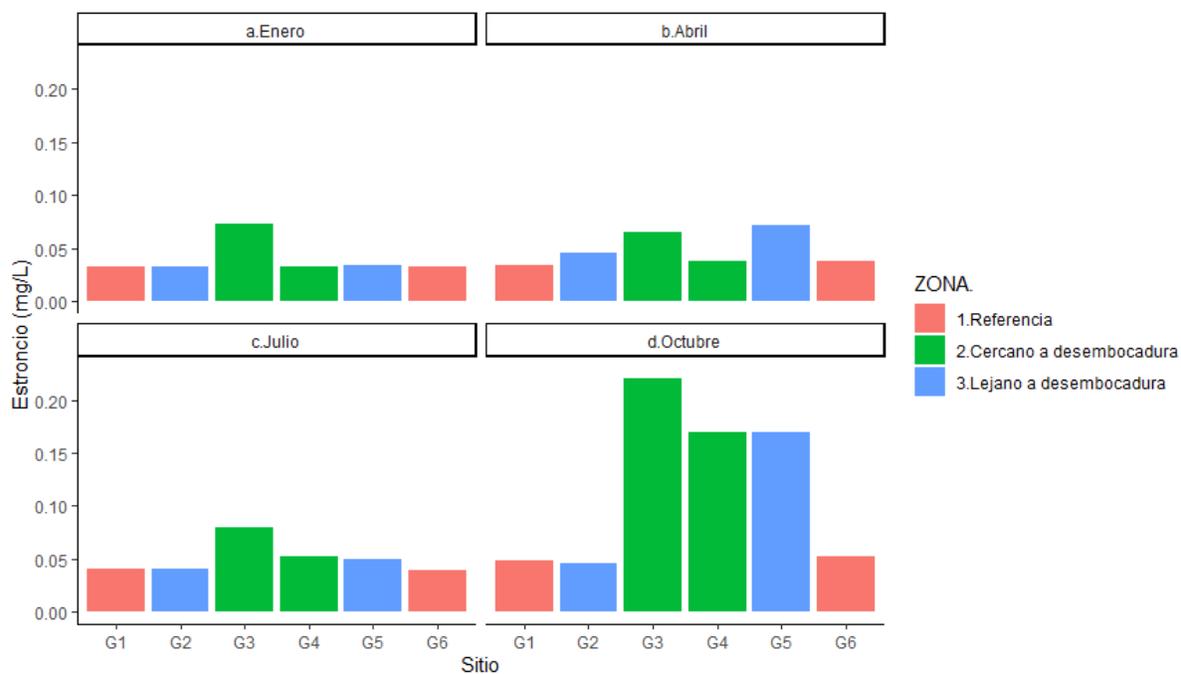


Figura 60: Variación espacial y temporal de estroncio.

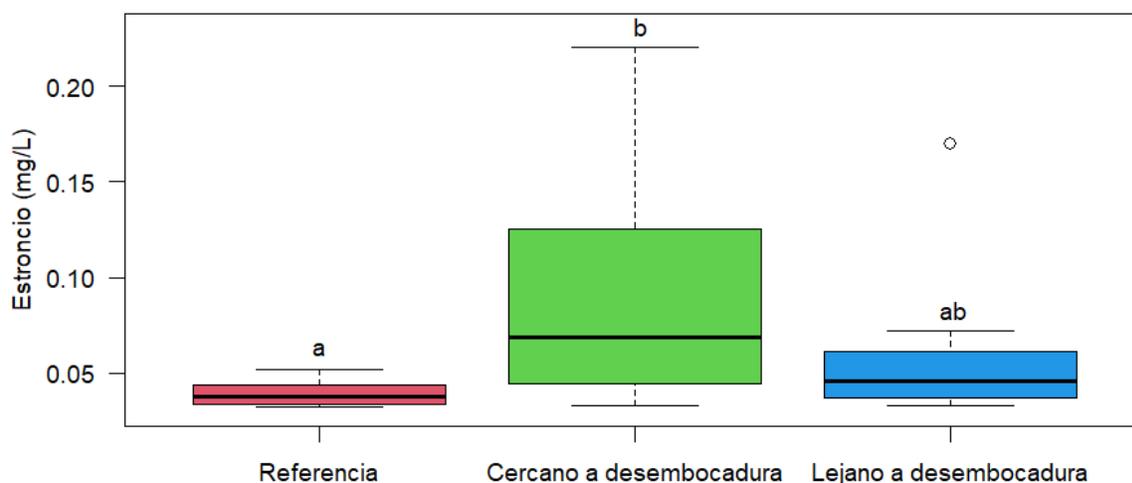


Figura 61: Variación espacial de estroncio.

## **Fluoruro**

El mes de abril presentó los valores más elevados de concentración de fluoruro, donde el valor máximo resultó 0,14 mg/L en el sitio G3 (Cercana a desembocadura). El valor mínimo fue 0,03 mg/L y se observó en múltiples sitios, mayoritariamente durante los meses de julio y enero. La media registrada para este parámetro fue 0,05 mg/L.

No se registraron incumplimientos normativos para las determinaciones realizadas durante el periodo informado (1,5 mg/L, Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 1; Figura 62).

Se observaron concentraciones de fluoruro significativamente más altas en la zona Cercana a la desembocadura con respecto a la zona Referencia (ANOVA,  $p < 0,05$ ; Figura 63).

*Valores de fluoruro (mg/L).*

<b>Fecha de muestreo</b>	<b>Enero</b>	<b>Abril</b>	<b>Julio</b>	<b>Octubre</b>
G1	0,03	0,08	0,03	0,03
G2	0,04	0,08	0,03	0,03
G3	0,05	0,14	0,03	0,08
G4	0,03	0,08	0,03	0,06
G5	0,03	0,1	0,03	0,06
G6	0,03	0,07	0,03	0,03

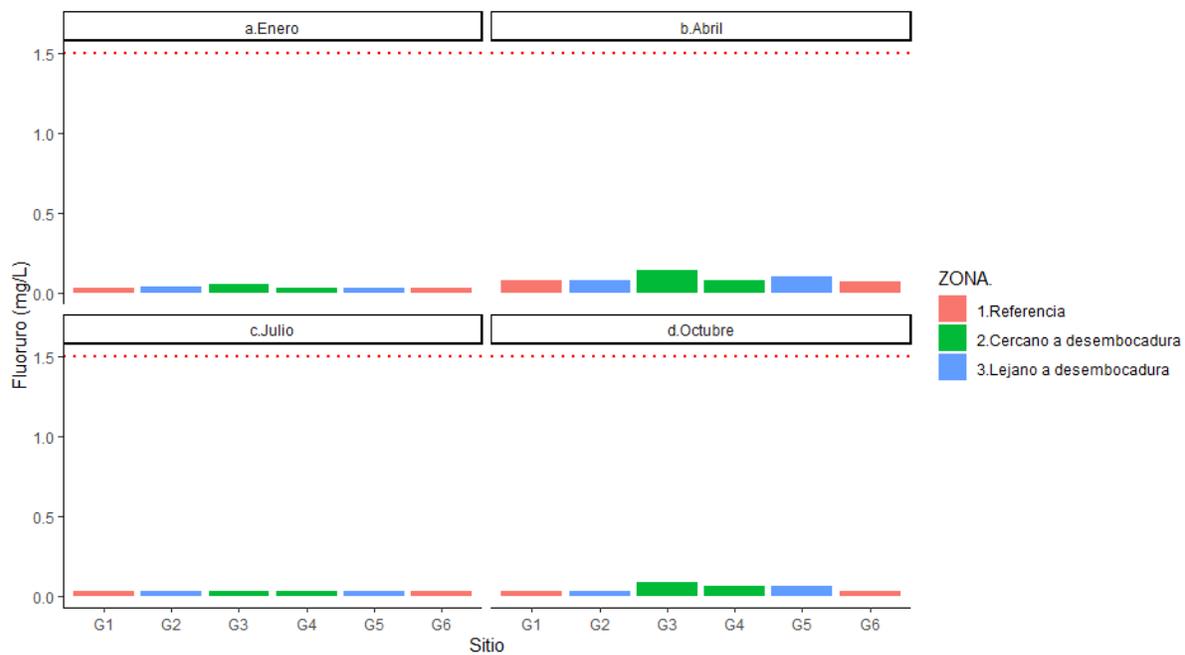


Figura 62: Variación espacial y temporal de fluoruro.

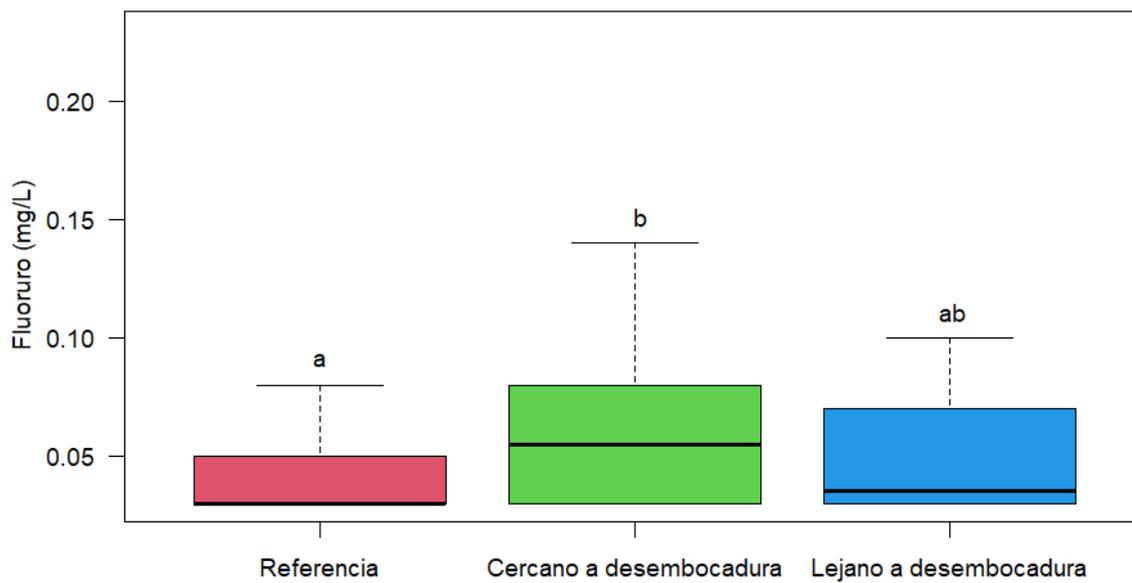


Figura 63: Variación espacial de fluoruro.

### **Fósforo Total**

La concentración media de fósforo observada fue 0,127 mg/L, siendo que la mayor concentración registrada fue 0,417 mg/L y corresponde al sitio G3 (Cercana a desembocadura) en el mes de enero. La concentración mínima registrada fue 0,044 mg/L y corresponde al sitio G1 (Referencia, Figura 64).

Se observaron concentraciones de fósforo total significativamente más altas en la zona Cercana a desembocadura con respecto a la zona Referencia (ANOVA,  $p < 0,05$ ; Figura 65).

*Valores de fósforo total (mg/L).*

<b>Fecha de muestreo</b>	<b>Enero</b>	<b>Abril</b>	<b>Julio</b>	<b>Octubre</b>
G1	0,07	0,059	0,044	0,08
G2	0,075	0,09	0,05	0,081
G3	0,417	0,114	0,215	0,376
G4	0,087	0,048	0,083	0,308
G5	0,081	0,144	0,091	0,292
G6	0,068	0,049	0,046	0,08

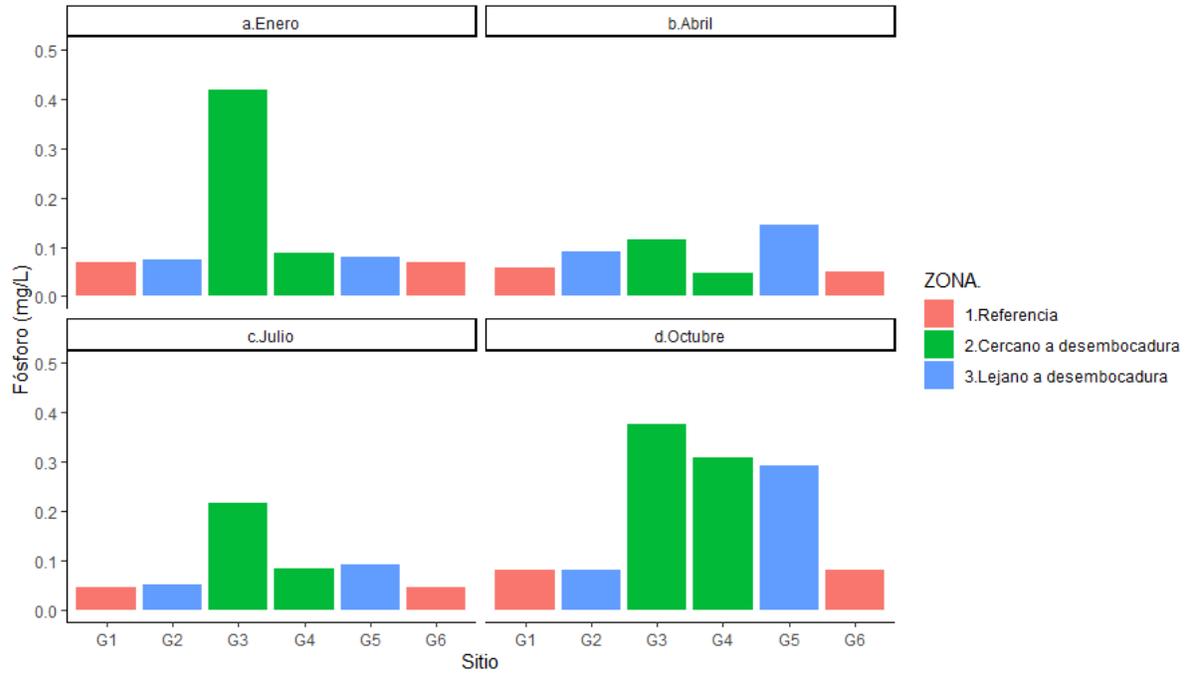


Figura 64: Variación espacial y temporal de fósforo.

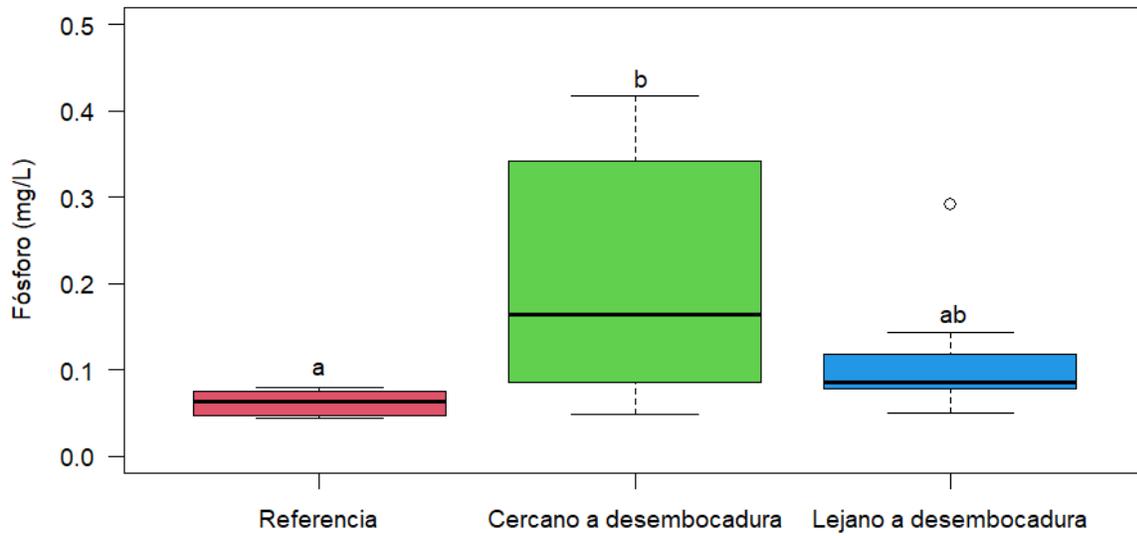


Figura 65: Variación espacial de fósforo.

## Hierro

El hierro presentó una concentración media de 1363  $\mu\text{g/L}$ , donde el valor máximo registrado fue 2800  $\mu\text{g/L}$  en el sitio G2 (Lejana a desembocadura) en el mes de abril. La mínima concentración (410  $\mu\text{g/L}$ ) fue encontrada en los sitios G4 (Cercana a desembocadura) en el mes de julio y en G6 (Referencia) en el mes de octubre (Figura 66).

Se registran múltiples valores por encima del estándar establecido en la normativa de aplicación (1000  $\mu\text{g/L}$  según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 4). Estos incumplimientos se marcan en color naranja en la tabla a continuación.

Para este parámetro no se detectaron diferencias estadísticamente significativas respecto a las zonas de estudio (ANOVA,  $p > 0,05$ ; Figura 67).

Valores de hierro ( $\mu\text{g/L}$ ).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	1500	1500	1000	460
G2	1500	2800	1300	720
G3	2100	2600	2500	700
G4	1500	1400	410	730
G5	1300	2300	2000	580
G6	1400	1000	1000	410

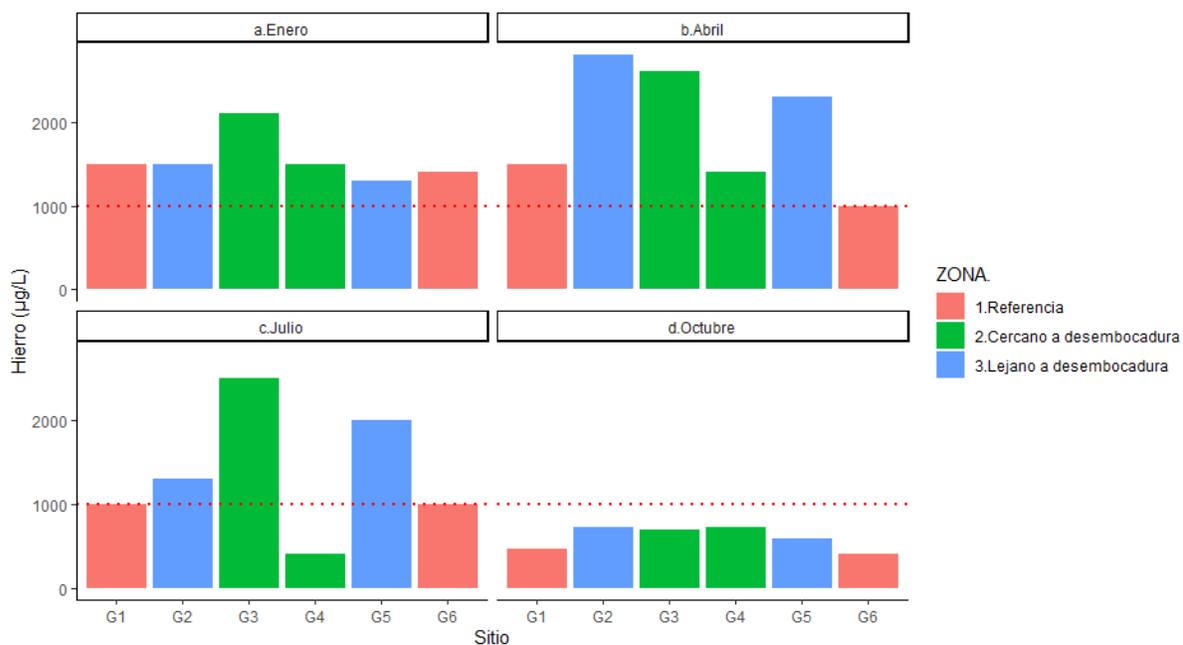


Figura 66: Variación espacial y temporal de hierro.

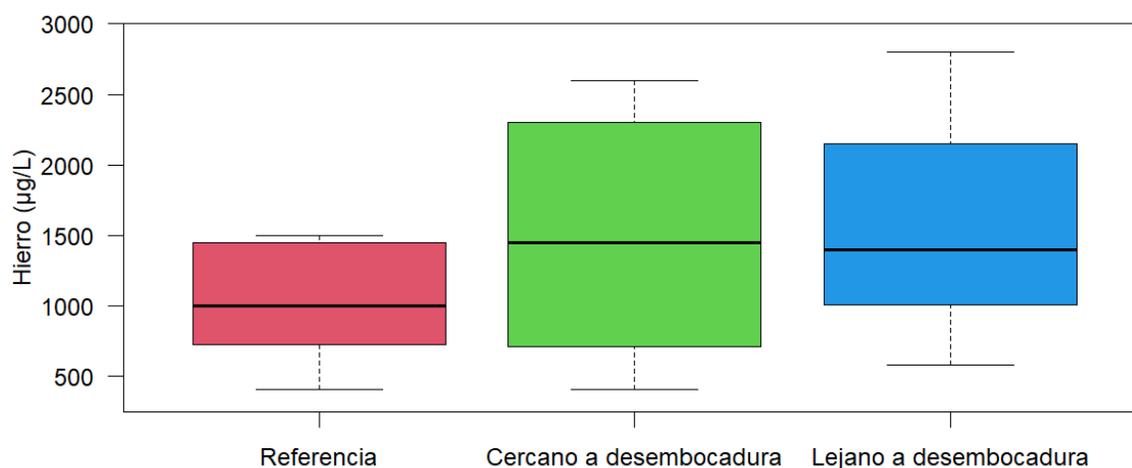


Figura 67: Variación espacial de hierro.

## Litio

El valor máximo de litio fue 9,8 µg/L y se registró en el sitio G3 (Cercana a desembocadura) en el mes de octubre. El valor mínimo observado fue 0,8 µg/L en el sitio G6 (Referencia), en los meses de abril y julio (Figura 68). Corresponde hacer notar que el límite de detección analítico del mes de octubre es superior a los reportados previamente, lo cual incide en la representación gráfica subsiguiente.

Se observaron concentraciones de litio significativamente más altas en la zona Cercana a desembocadura con respecto a la zona Referencia (ANOVA,  $p < 0,05$ ; Figura 69).

Valores de litio (µg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	1	1	1,1	<2
G2	1,2	1,9	1	<2
G3	4,9	3	4,4	9,8
G4	1,1	1,1	1,9	8
G5	1	4	2	6,7
G6	1,3	0,8	0,8	<2

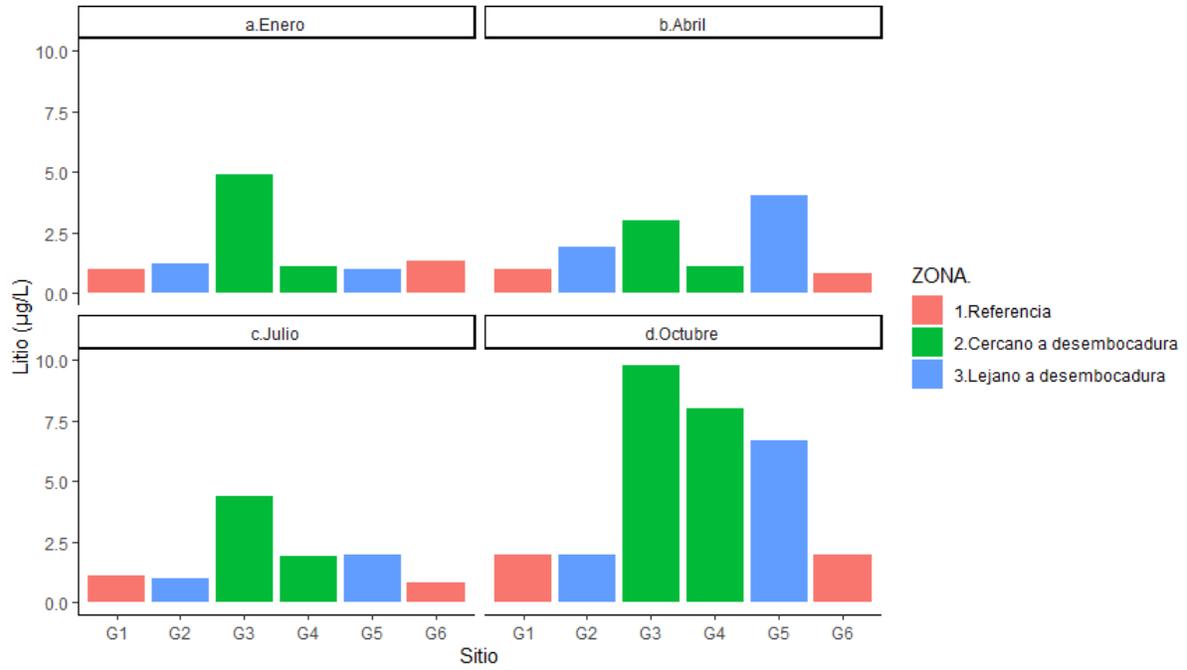


Figura 68: Variación espacial y temporal de litio.

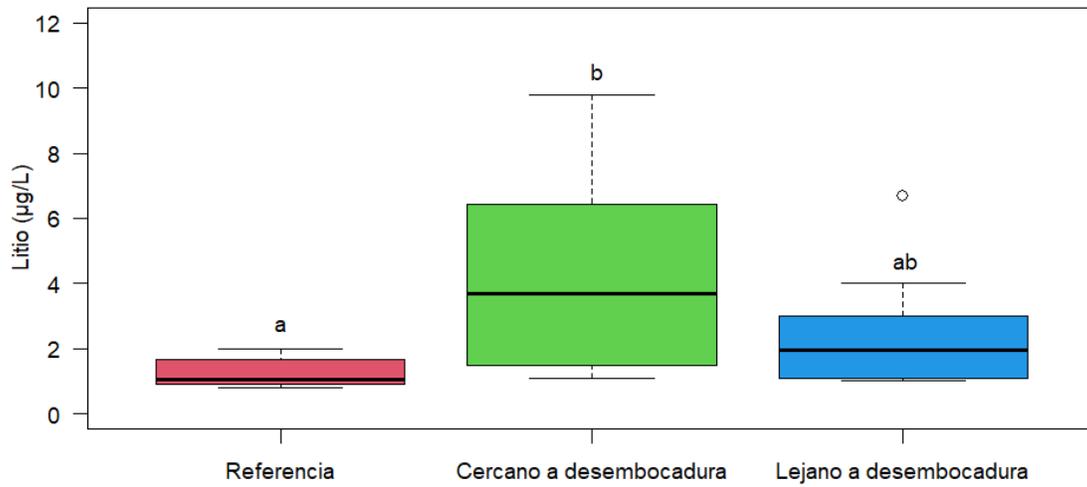


Figura 69: Variación espacial de litio.

## Magnesio

Durante el periodo de estudio, las concentraciones de magnesio variaron entre un máximo de 4,8 mg/L en el sitio G3 (Cercana a desembocadura) en el mes de octubre, y un mínimo de 1,4 mg/L registrado en el mes de enero en los sitios correspondientes a la zona Lejana a desembocadura (G2 y G5, Figura 70). La concentración media de magnesio registrada en el periodo de estudio fue de 2,4 mg/L.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio con respecto a las concentraciones de magnesio (ANOVA,  $p > 0,05$ ; Figura 71).

Valores de magnesio (mg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	1,5	2,1	2,2	2,3
G2	1,4	2,3	2,3	2,3
G3	1,8	2,4	2,7	4,8
G4	1,5	2,1	2,4	4,1
G5	1,4	2,7	2,4	4,1
G6	1,5	2	2,4	2,5

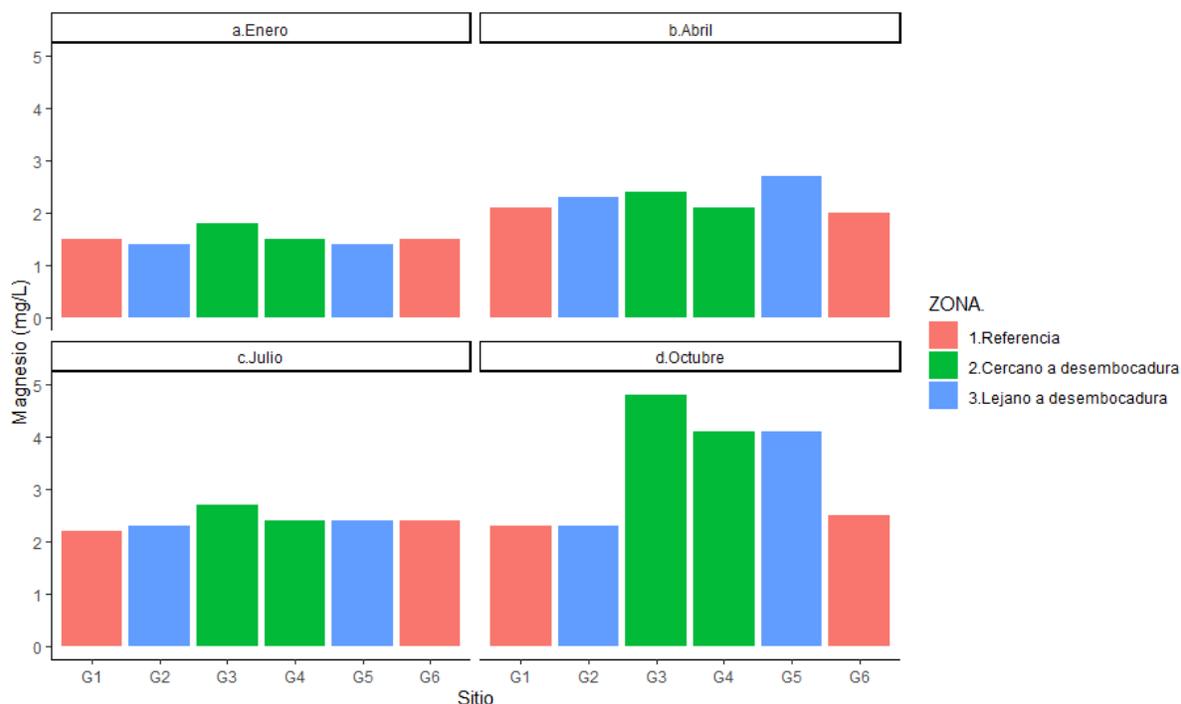


Figura 70: Variación espacial y temporal de magnesio.

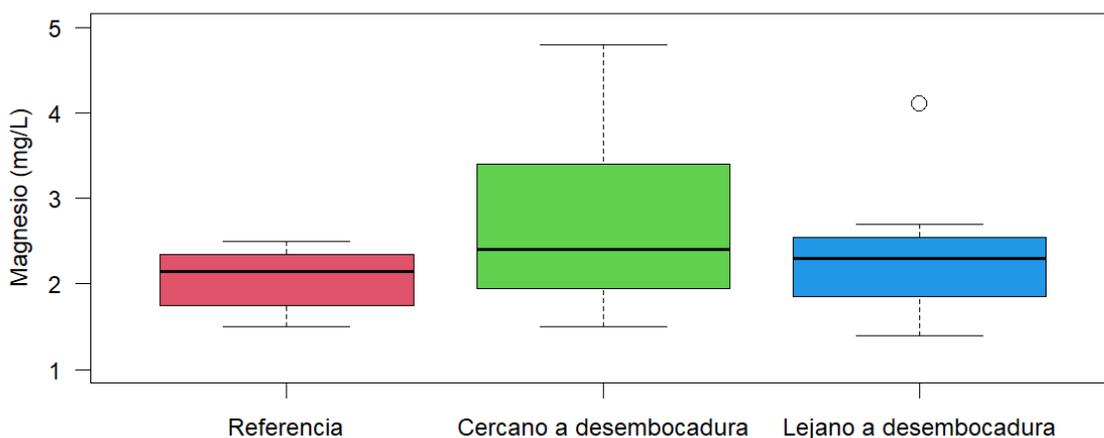


Figura 71: Variación espacial de magnesio.

## **Manganeso**

El parámetro manganeso tuvo una concentración media 0,041 mg/L. La concentración máxima observada fue 0,1 mg/L correspondiente al sitio G2 (Lejana a desembocadura) en el mes de abril (Figura 72). La concentración mínima observada fue 0,01 mg/L en el sitio G6 (Referencia) en el mes de octubre.

La concentración máxima reportada implica un incumplimiento de la normativa de aplicación (0,1 mg/L según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 1) y se indica en la tabla subsiguiente con color naranja.

Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio, registrándose concentraciones más elevadas en las zonas Cercana y Lejana a la desembocadura con respecto a la zona Referencia (ANOVA;  $p < 0,05$ ; Figura 73).

Valores de manganeso (mg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	0,043	0,033	0,012	0,02
G2	0,066	0,1	0,016	0,052
G3	0,062	0,092	0,033	0,088
G4	0,047	0,027	0,015	0,077
G5	0,035	0,042	0,014	0,04
G6	0,035	0,011	0,012	0,01

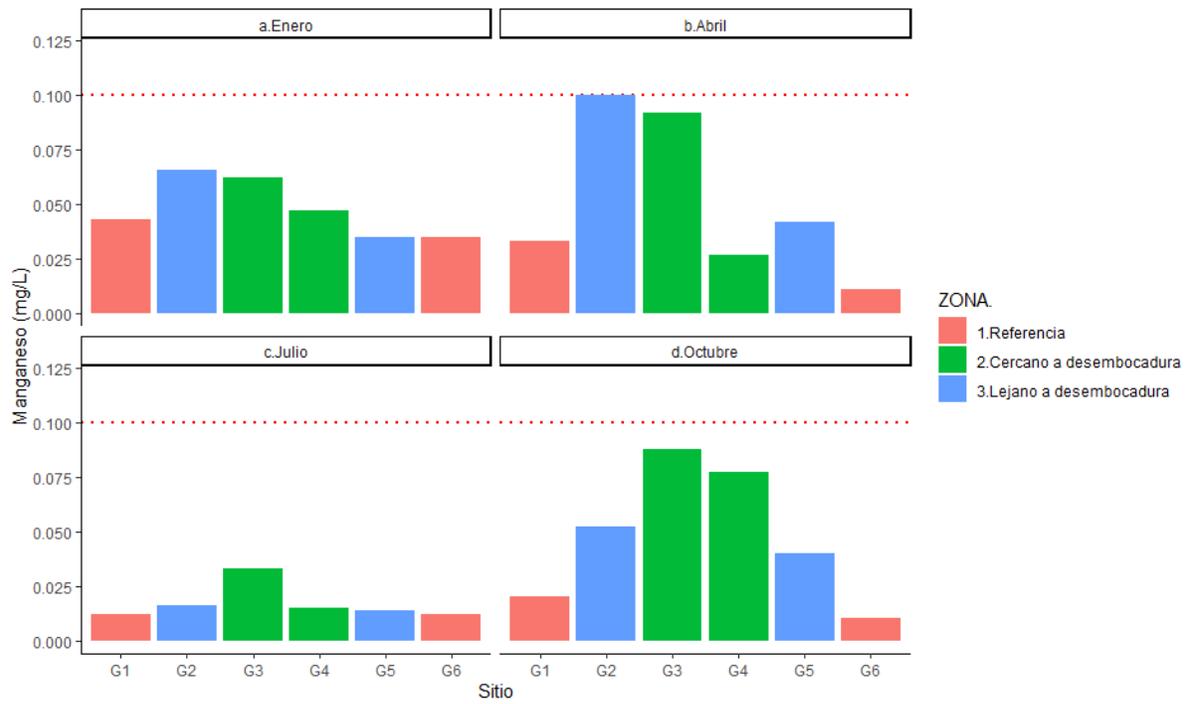


Figura 72: Variación espacial y temporal de manganeso.

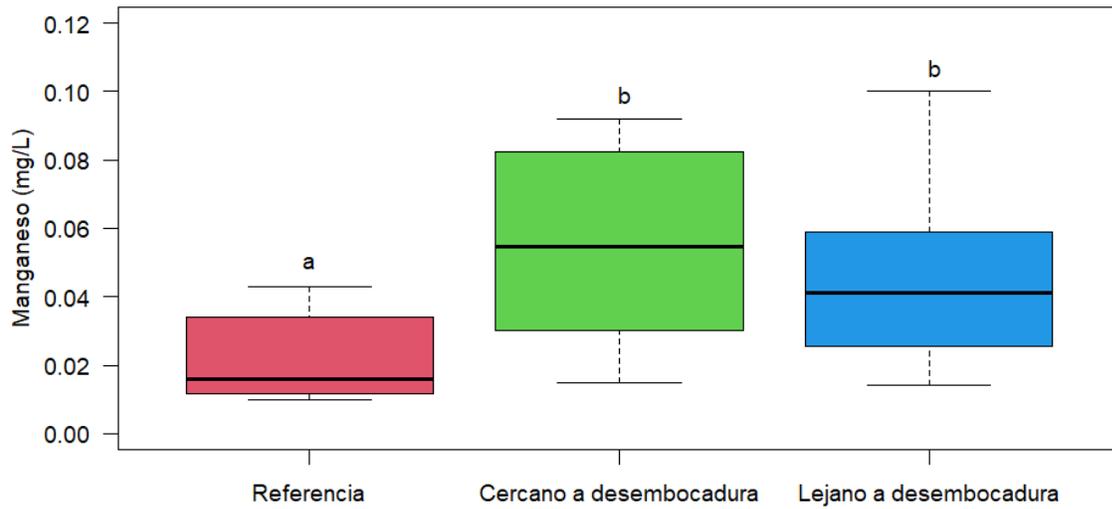


Figura 73: Variación espacial de manganeso.

## Molibdeno

Las concentraciones de molibdeno variaron entre un máximo de 0,93 µg/L en el sitio G3 (Cercana a desembocadura) en el mes de octubre, hasta un mínimo de 0,06 µg/L observado en el sitio G6 (Referencia) en el mes de julio (Referencia, Figura 74). Corresponde hacer notar que el límite de detección analítico del mes de octubre es superior a los reportados previamente, lo cual incide en la representación gráfica subsiguiente. La concentración media para este parámetro resultó ser de 0,23 µg/L.

Se observaron concentraciones de molibdeno significativamente más altas en la zona Cercana a desembocadura con respecto a la zona Referencia (ANOVA,  $p < 0,05$ ; Figura 75).

*Valores de molibdeno (µg/L).*

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	0,09	0,07	0,07	0,1
G2	0,08	0,14	0,11	<0,1
G3	0,54	0,23	0,32	0,93
G4	0,11	0,11	0,14	0,61
G5	0,14	0,34	0,12	0,6
G6	0,07	0,08	0,06	<0,1

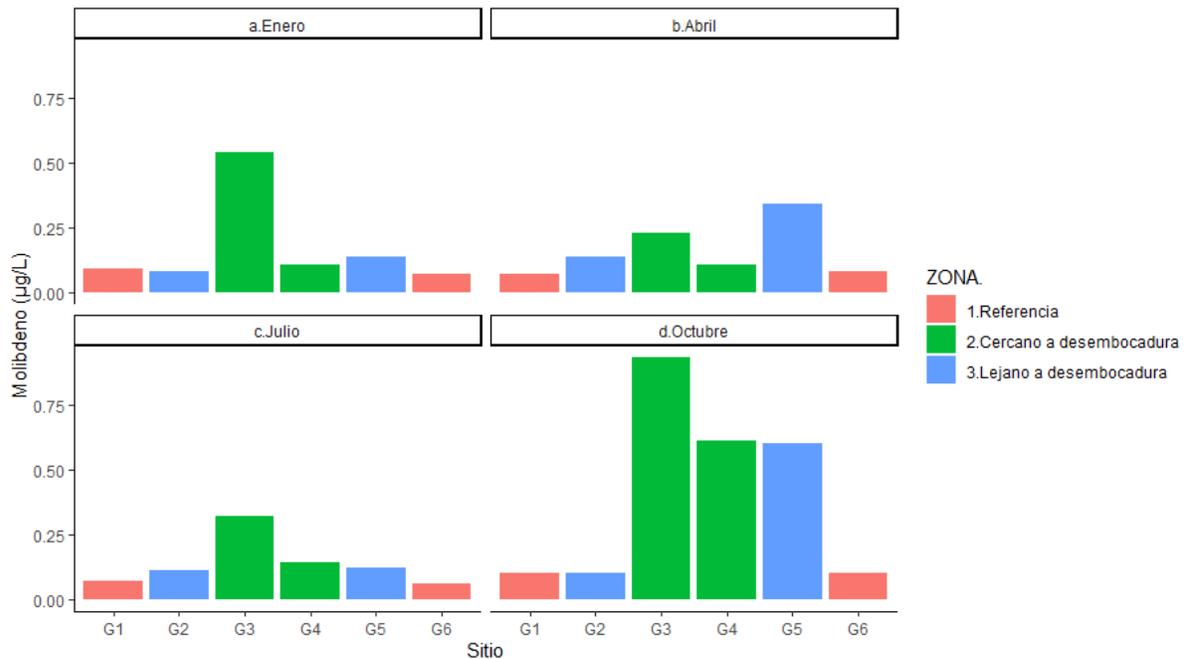


Figura 74: Variación espacial y temporal de molibdeno.

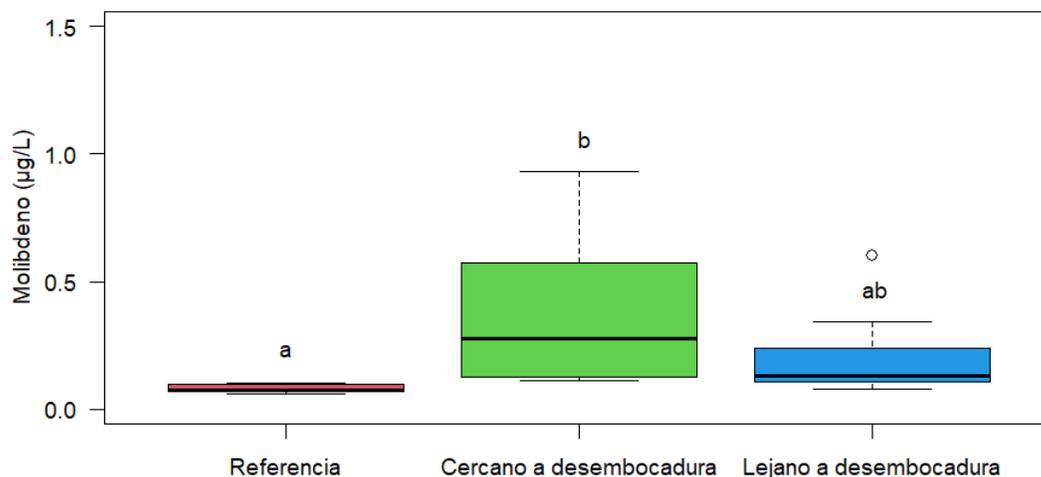


Figura 75: Variación espacial de molibdeno.

## Níquel

Con una concentración media de 1,15 µg/L, los valores de níquel oscilaron entre una concentración máxima de 3 µg/L en el sitio G3 (Cercana a desembocadura) en octubre, hasta concentraciones mínimas de 0,5 µg/L en el sitio G6 (Referencia) en el mes de julio (Figura 76). Corresponde hacer notar que el límite de detección analítico del mes de octubre es superior a los reportados previamente, lo cual incide en la representación gráfica subsiguiente.

No se observaron valores por encima del límite normativo establecido para este parámetro (116,3 µg/L según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 4).

Se observaron concentraciones de níquel significativamente más altas en la zona Cercana a desembocadura con respecto a las zonas Referencia y Lejana a desembocadura (ANOVA,  $p < 0,05$ ; Figura 77).

Valores de níquel (µg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	0,8	0,6	0,7	1

G2	0,7	1	0,8	<1
G3	1,6	1,2	1,6	3
G4	0,7	1,7	0,9	2
G5	0,9	1,1	0,8	2
G6	1	0,6	0,5	<1

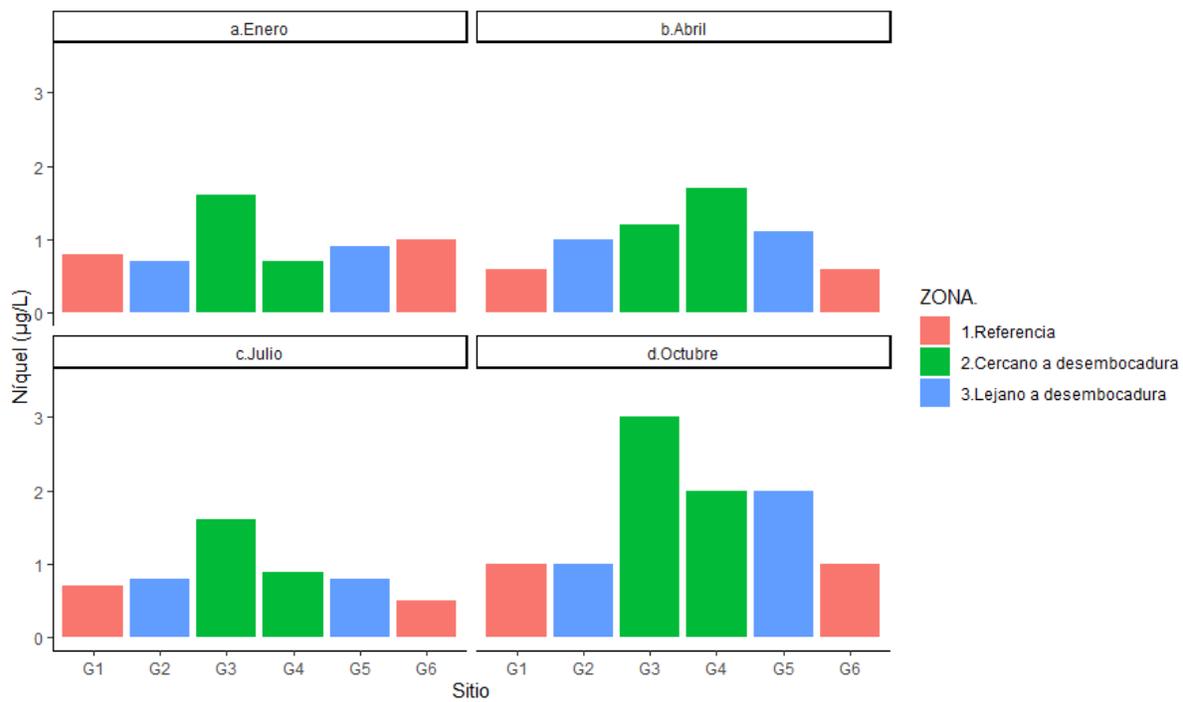


Figura 76: Variación espacial y temporal de níquel. Nota: para mayor claridad en la interpretación de los datos la escala representada no alcanza el límite normativo en esta figura.

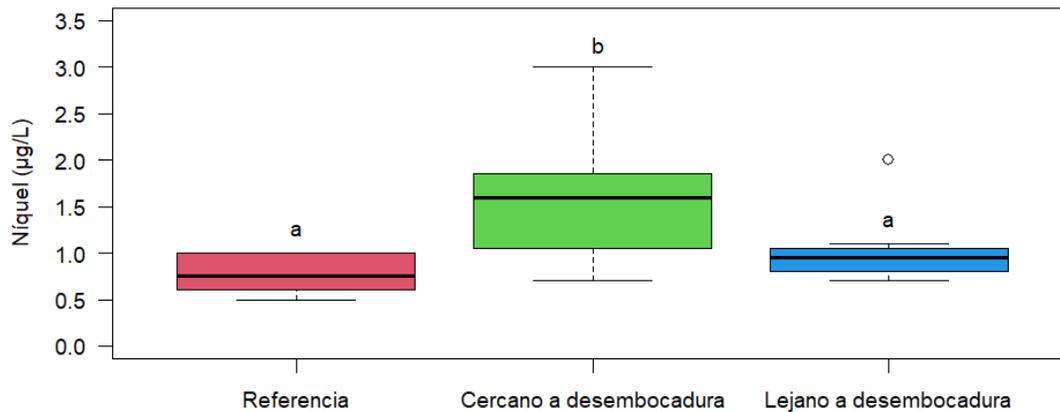


Figura 77: Variación espacial de níquel.

### **Nitrato + Nitrito-N**

Debido a que por problemas logísticos en los envíos a Canadá en ocasiones se excedieron los tiempos máximos establecidos de almacenamiento previo al análisis, solo se cuenta con resultados válidos para este parámetro en los meses de enero y abril, siendo que en el mes de abril se observaron sistemáticamente las concentraciones más elevadas. La máxima concentración fue de 0,9 mg/L y se registró en los sitios G1 y G6 (Referencia) y G4 (Cercana a desembocadura). La concentración mínima fue 0,1 mg/L y fue registrada en múltiples sitios de monitoreo durante enero (Figura 78).

Se observaron concentraciones significativamente más altas en la zona Referencia con respecto a la zona Lejana a desembocadura (ANOVA,  $p < 0,05$ ; Figura 79).

Valores de nitrato + nitrito-N (mg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	0,2	0,9	s/d	s/d
G2	0,1	0,7	s/d	s/d
G3	0,1	0,8	s/d	s/d
G4	0,2	0,9	s/d	s/d
G5	0,1	0,6	s/d	s/d
G6	0,3	0,9	s/d	s/d

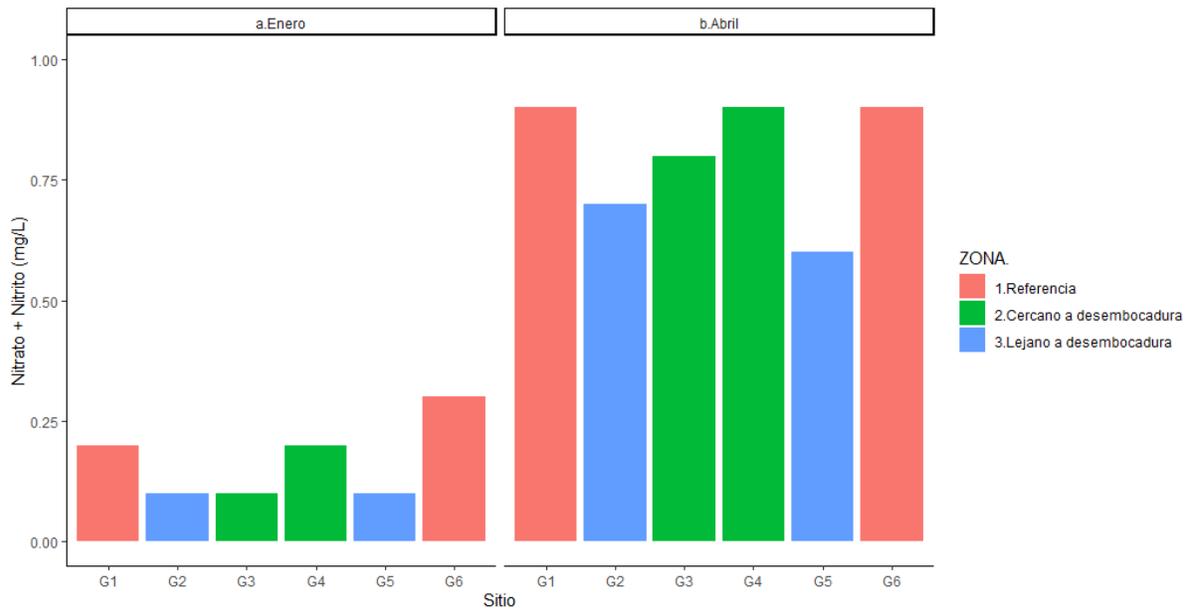


Figura 78: Variación espacial y temporal de nitrato+nitrito.

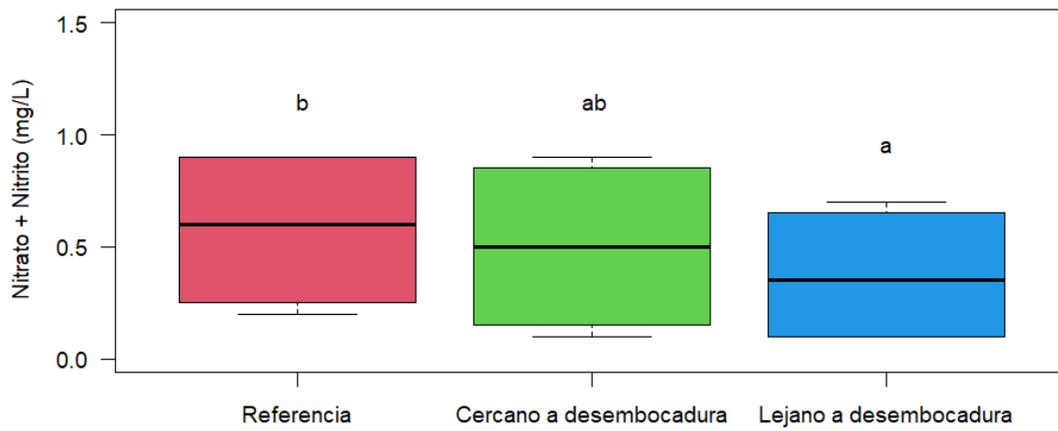


Figura 79: Variación espacial de nitrato+nitrito.

## Nitrato-N

Del mismo modo que lo descrito para el parámetro integrador Nitrato+Nitrito-N, también hubo incumplimientos en los tiempos analíticos para el parámetro Nitrato-N, por lo que sólo se cuenta con resultados válidos para las determinaciones realizadas en enero y abril. Al igual que el anterior, en el mes de abril se observan las concentraciones más elevadas, alcanzando un máximo de 0,9 mg/L y se registró en los sitios G1 y G6 (Referencia) y G4 (Cercana a desembocadura). La concentración mínima fue 0,1 mg/L y fue registrada en múltiples sitios de monitoreo durante enero (Figura 80).

Para el periodo de estudio no se registraron incumplimientos normativos respecto a la concentración de nitrato (10 mg/L, según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 1).

Se observaron concentraciones significativamente más altas en la zona Referencia con respecto a la zona Lejana a desembocadura (ANOVA,  $p < 0,05$ ; Figura 81).

*Valores de nitrato (mg/L).*

<b>Fecha de muestreo</b>	<b>Enero</b>	<b>Abril</b>	<b>Julio</b>	<b>Octubre</b>
G1	0,2	0,9	s/d	s/d
G2	0,1	0,7	s/d	s/d
G3	0,1	0,8	s/d	s/d
G4	0,2	0,9	s/d	s/d
G5	0,1	0,6	s/d	s/d
G6	0,3	0,9	s/d	s/d

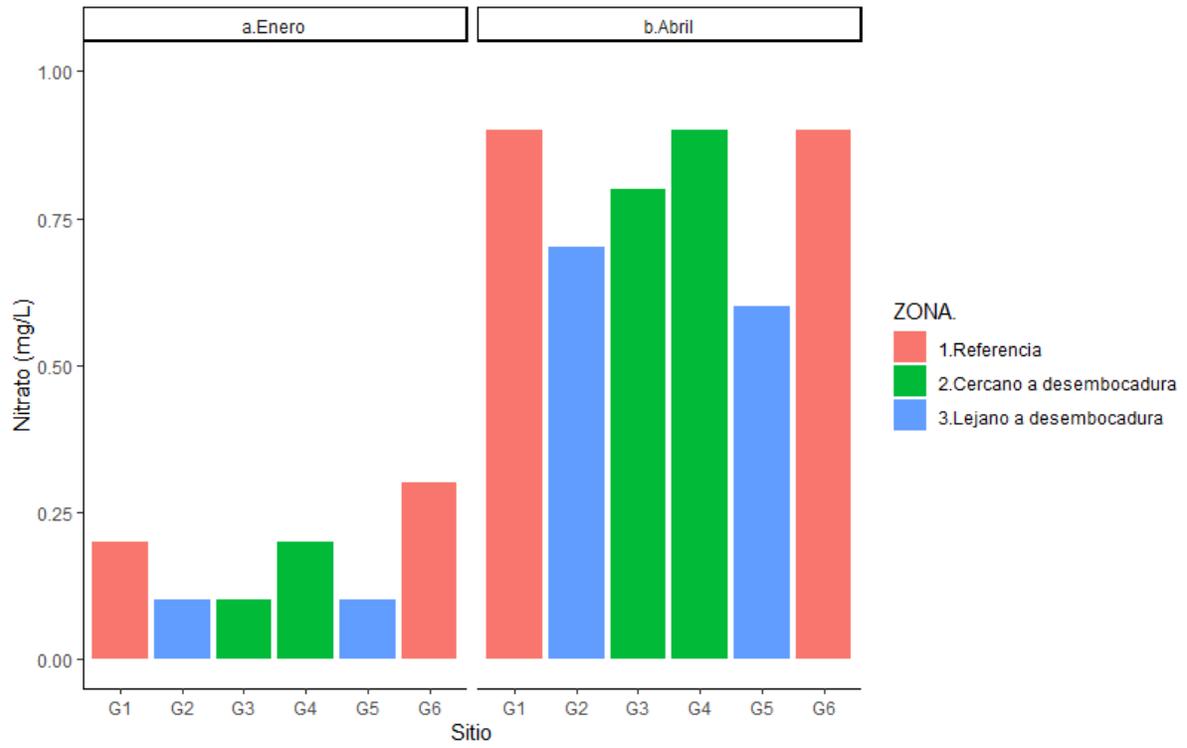


Figura 80: Variación espacial y temporal de nitrato.

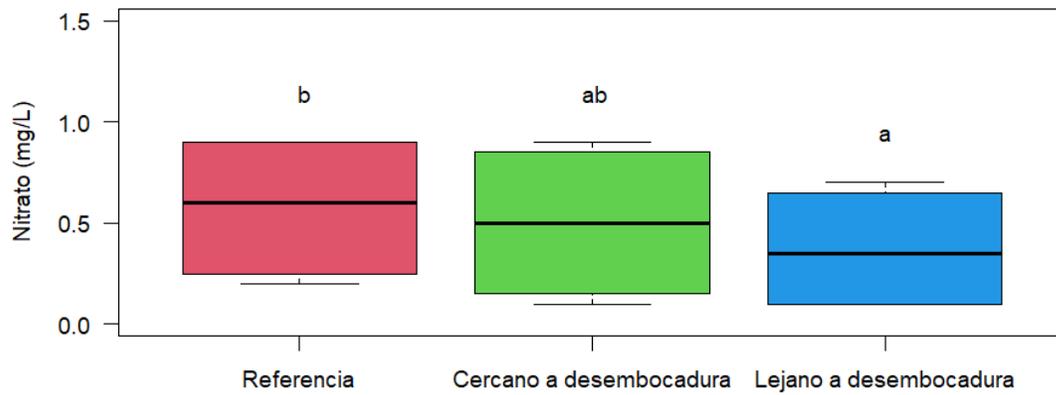


Figura 81: Variación espacial de nitrato.

### Nitrógeno Total de Kjeldahl – TNK

La concentración máxima registrada para el parámetro Nitrógeno Total de Kjeldahl fue 2 mg/L y se observó en el sitio G3 (Cercana a desembocadura) en octubre. La concentración mínima fue de 0,1 mg/L y se registró en el sitio G6 (Referencia) en abril y en el sitio G4 (Cercana a desembocadura) en el mes de julio (Figura 82).

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio a partir del análisis de varianza ( $p > 0,05$ ; Figura 83).

*Valores de nitrógeno total (mg/L).*

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	0,4	0,3	0,4	0,4
G2	0,4	0,3	0,2	1,6
G3	0,6	0,2	0,4	2
G4	0,3	0,3	0,1	0,3
G5	0,4	0,5	0,3	1
G6	0,4	0,1	1,2	0,4

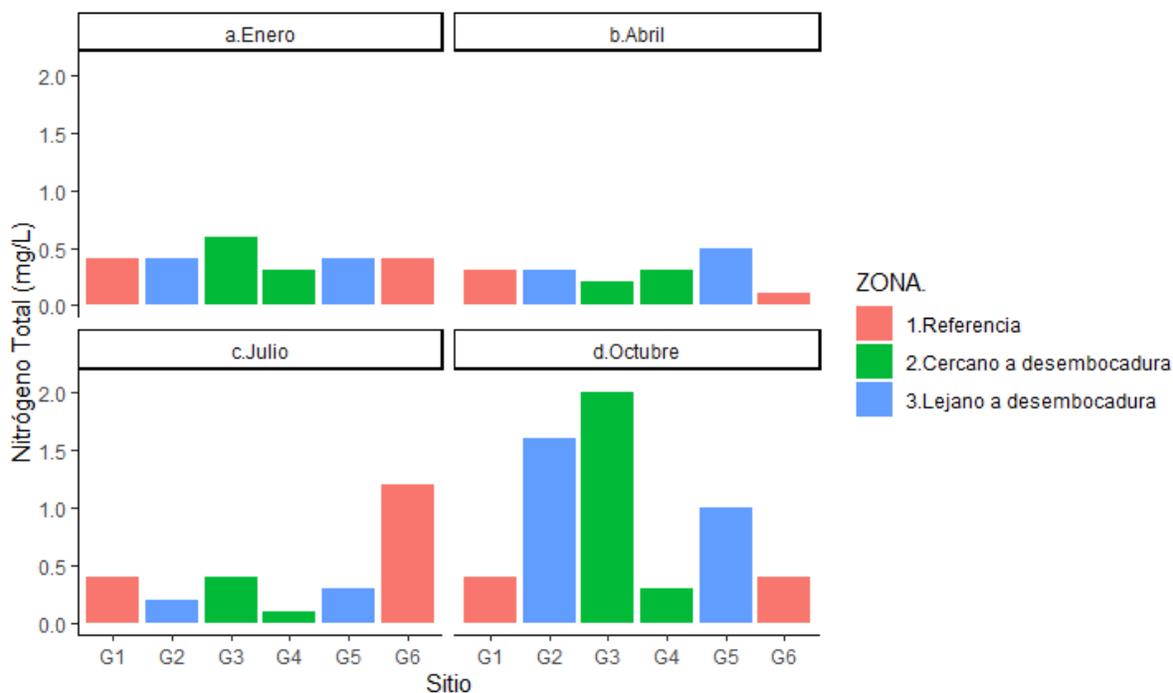


Figura 82: Variación espacial y temporal de nitrógeno total de Kjeldahl.

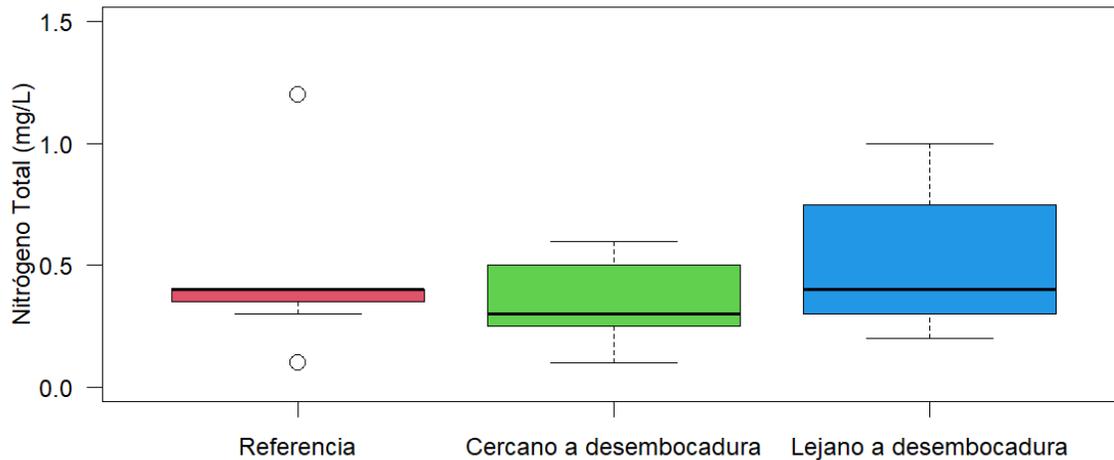


Figura 83: Variación espacial de nitrógeno total de Kjeldahl.

### Ortofosfato

Se reportan resultados válidos para los meses de enero, julio y octubre, donde la concentración máxima fue 0,353 mg/L y corresponde al sitio G3 (Cercana a desembocadura) en enero. Se registraron múltiples determinaciones por debajo del límite de cuantificación, en varios sitios y fechas (Figura 84).

Se observaron concentraciones significativamente más altas en la zona Cercana a desembocadura con respecto a las zonas Referencia y Lejana a desembocadura (ANOVA,  $p < 0,05$ ; Figura 85).

Valores de ortofosfato (mg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	<0,032	s/d	<0,032	0,0533
G2	<0,032	s/d	<0,032	<0,032
G3	0,353	s/d	0,178	0,282
G4	0,0427	s/d	0,0566	0,235
G5	0,0427	s/d	0,0699	0,212
G6	0,0453	s/d	<0,032	0,0533

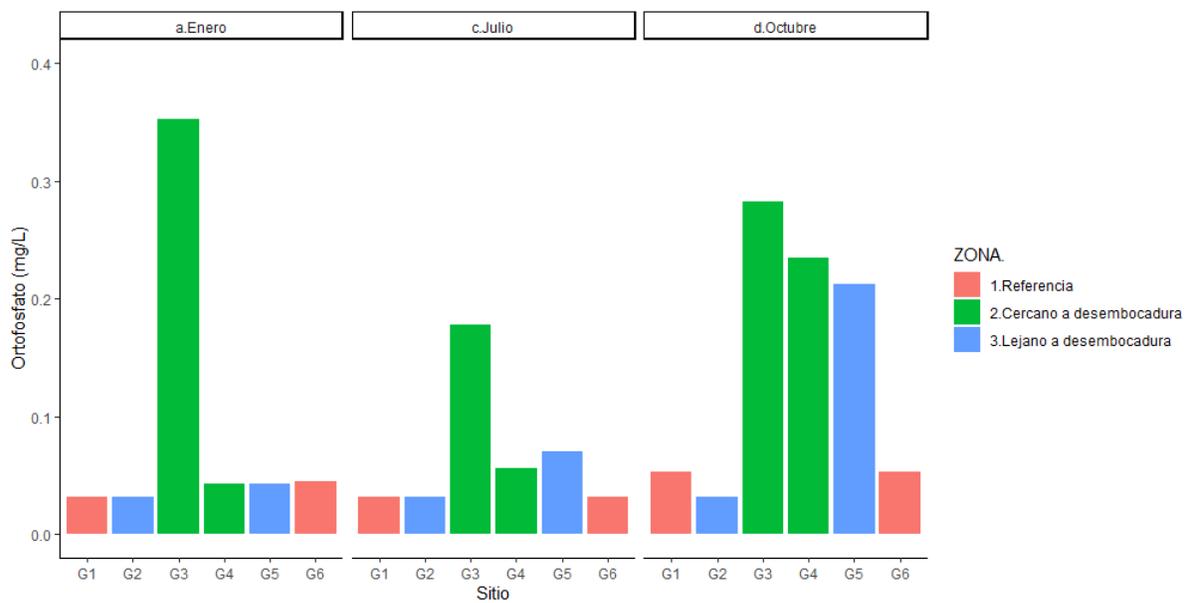


Figura 84: Variación espacial y temporal de ortofosfato.

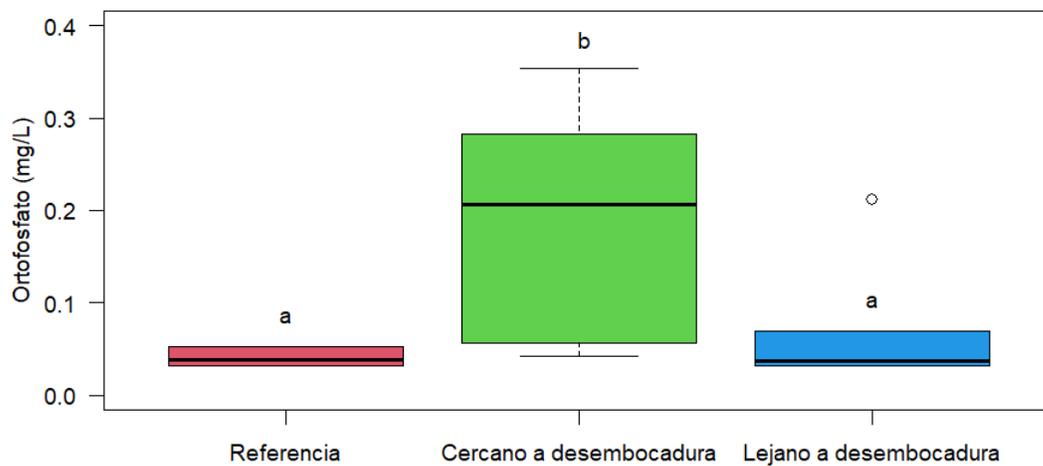


Figura 85: Variación espacial de ortofosfato.

## Plata

La concentración máxima de plata fue 0,05 µg/L y corresponde a la determinación del sitio G1 (Referencia) en enero. Múltiples determinaciones resultaron por debajo del límite de detección (Figura 86). Corresponde hacer notar que el límite de detección analítico del mes de octubre es superior a los reportados previamente, lo cual incide en la representación gráfica subsiguiente.

No se observan diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio (ANOVA,  $p > 0,05$ ; Figura 87).

Valores de plata (µg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	0,05	<0,01	<0,01	<0,05
G2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05
G3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05
G4	0,02	<0,01	<0,01	<0,05
G5	0,02	0,01	<0,01	<0,05
G6	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05

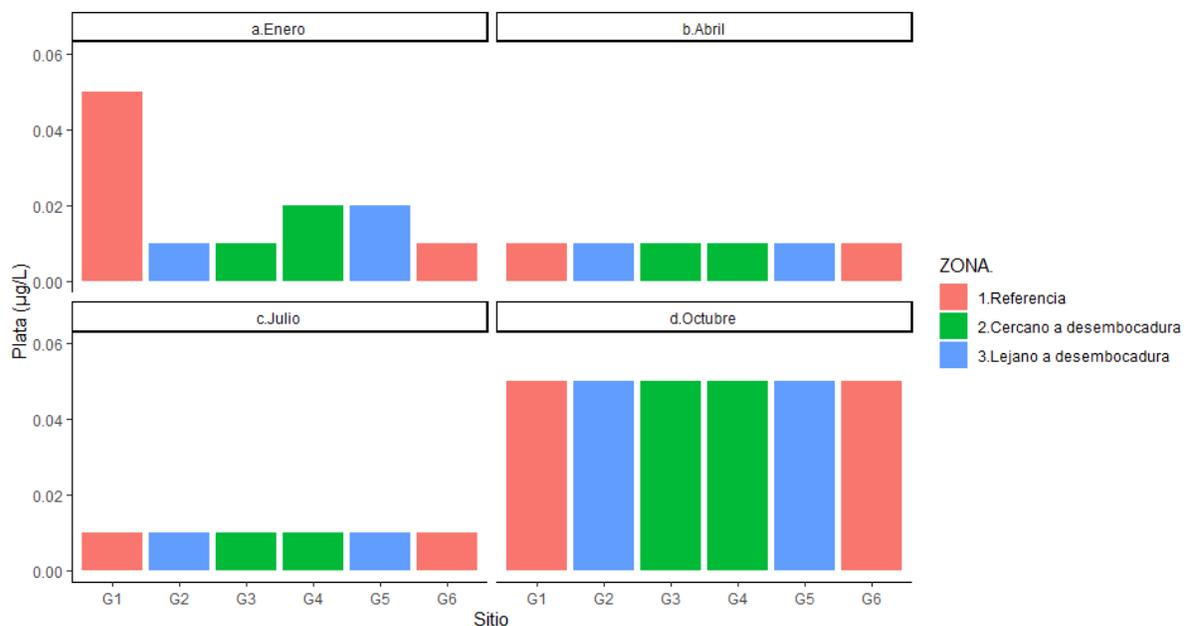


Figura 86: Variación espacial y temporal de plata.

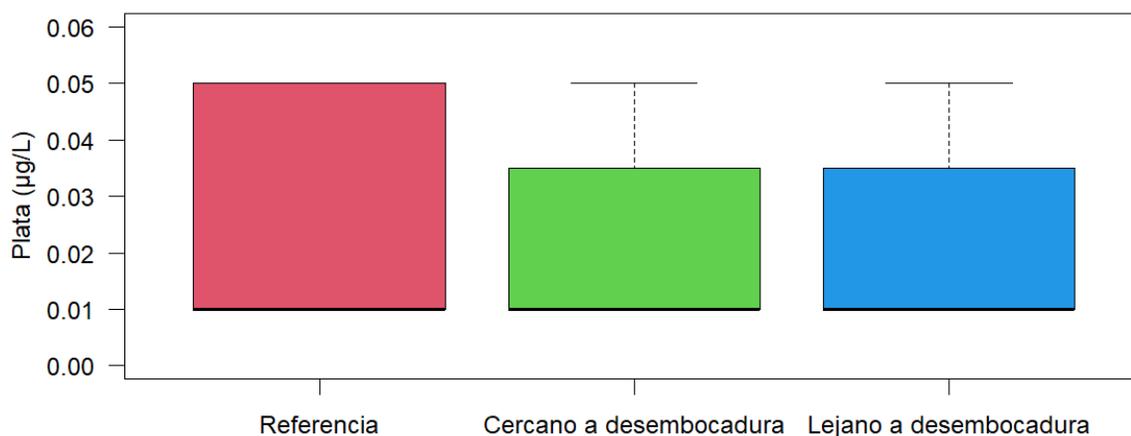


Figura 87: Variación espacial de plata.

## Plomo

La concentración media de plomo fue 0,53 µg/L, donde el valor máximo, 1,5 µg/L, fue registrado en el mes de octubre en el sitio G3 (Cercana a desembocadura). Por el contrario, la concentración mínima fue 0,2 µg/L y se observó en el sitio G6 (Referencia) también para el mes de octubre (Figura 88).

Durante el periodo de estudio no se observaron incumplimientos del límite establecido en la normativa de aplicación (0,007 mg/L, según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 4).

Se observaron concentraciones significativamente más altas en la zona Cercana a desembocadura con respecto a la zona Referencia (ANOVA,  $p < 0,05$ ; Figura 89).

*Valores de plomo (µg/L).*

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	0,37	0,36	0,21	0,3
G2	0,24	0,86	0,25	0,4
G3	0,77	1	0,93	1,5
G4	0,33	0,36	0,36	1,2
G5	0,28	0,75	0,36	0,86
G6	0,43	0,24	0,21	0,2

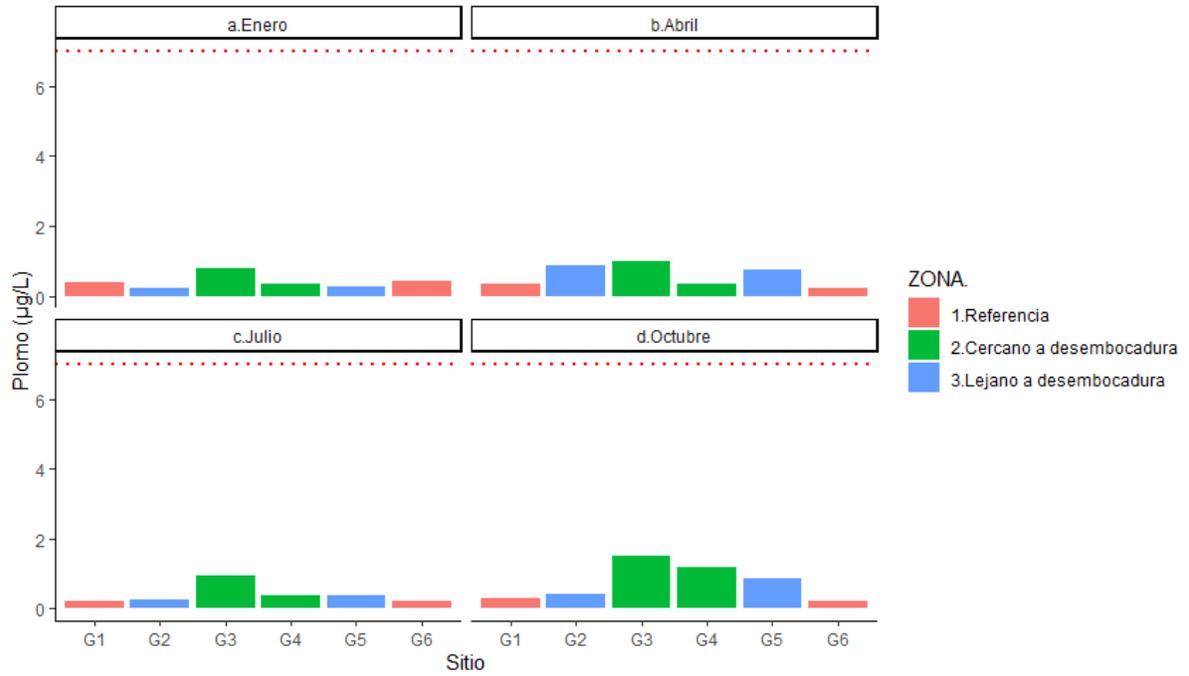


Figura 88: Variación espacial y temporal de plomo.

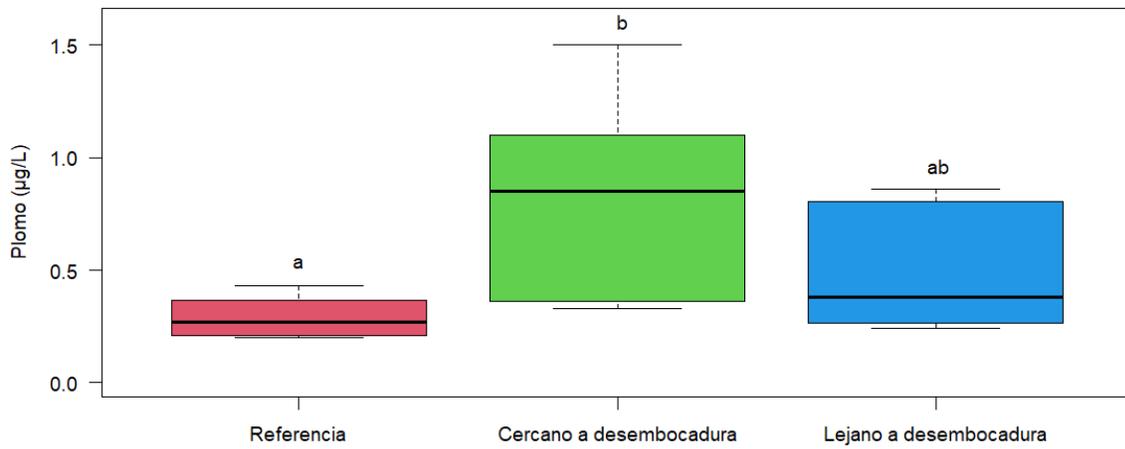


Figura 89: Variación espacial de plomo.

## **Potasio**

La concentración media de potasio resultó 2,2 mg/L, siendo que el valor máximo fue 4,9 mg/L detectado en el mes de octubre en el sitio G3 (Cercana a desembocadura). La concentración mínima fue 1,3 mg/L y fue registrada en los sitios correspondientes a la zona Referencia (G1 y G6) en enero y julio (Figura 90).

Se observaron concentraciones significativamente más altas en la zona Cercana a desembocadura con respecto a la zona Referencia (ANOVA,  $p < 0,05$ ; Figura 91).

Valores de potasio ( $\mu\text{g/L}$ ).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	1,3	1,5	1,3	1,7
G2	1,6	1,9	1,4	1,5
G3	4,4	2,5	3,7	4,9
G4	1,6	1,7	1,9	4,2
G5	1,6	2,8	1,9	4,3
G6	1,3	1,7	1,3	1,6

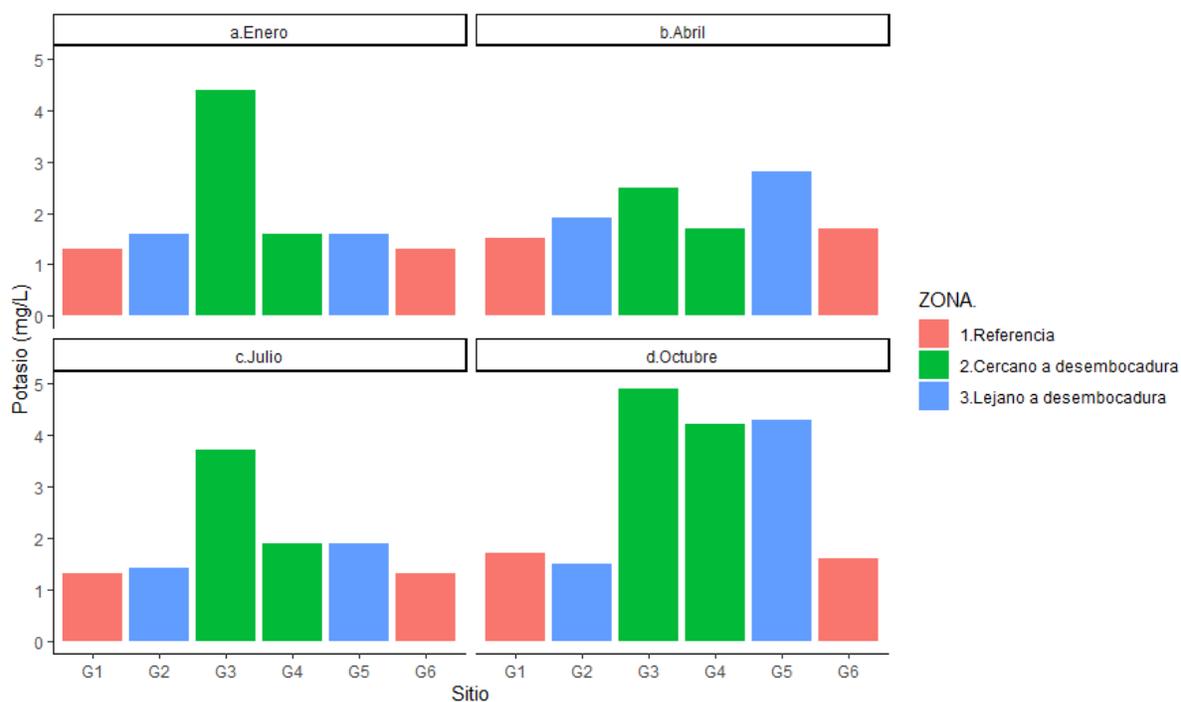


Figura 90: Variación espacial y temporal de potasio.

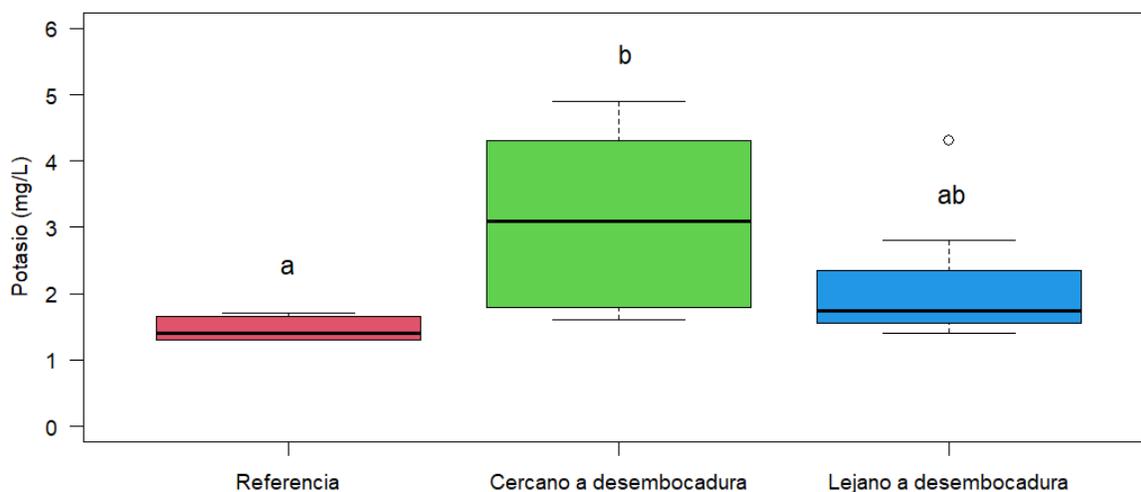


Figura 91: Variación espacial de potasio.

## **Selenio**

En los sitios G3 (Cercana a desembocadura), G2 y G5 (Lejana a desembocadura) en el mes de abril y G3 en el mes de julio se observaron concentraciones de selenio de 0,2  $\mu\text{g/L}$ . El resto de las determinaciones resultaron por debajo de los límites de detección reportados para cada instancia (Figura 92). Corresponde hacer notar que el límite de detección analítico del mes de octubre es superior a los reportados previamente, lo cual incide en la representación gráfica subsiguiente.

No se observan diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio (ANOVA,  $p > 0,05$ ; Figura 93).

Valores de selenio ( $\mu\text{g/L}$ ).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	<0,2	<0,2	<0,2	<1
G2	<0,2	0,2	<0,2	<1
G3	<0,2	0,2	0,2	<1
G4	<0,2	<0,2	<0,2	<1
G5	<0,2	0,2	<0,2	<1
G6	<0,2	<0,2	<0,2	<1

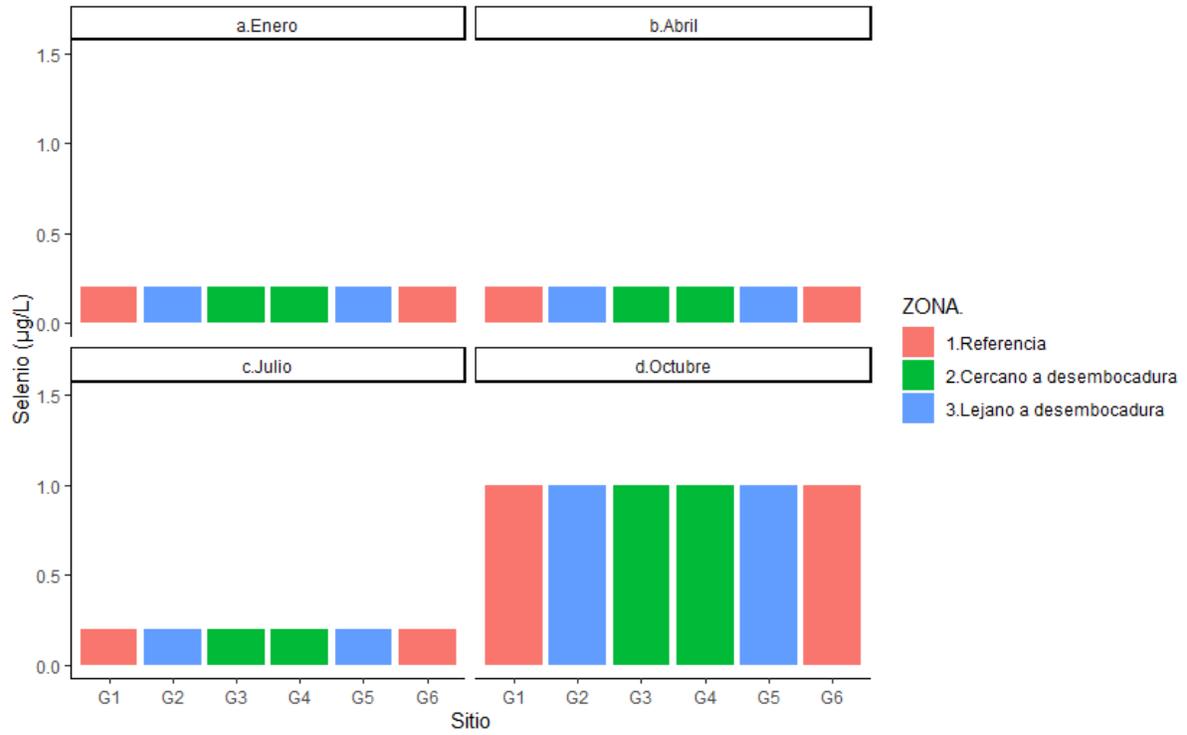


Figura 92: Variación espacial y temporal de selenio.

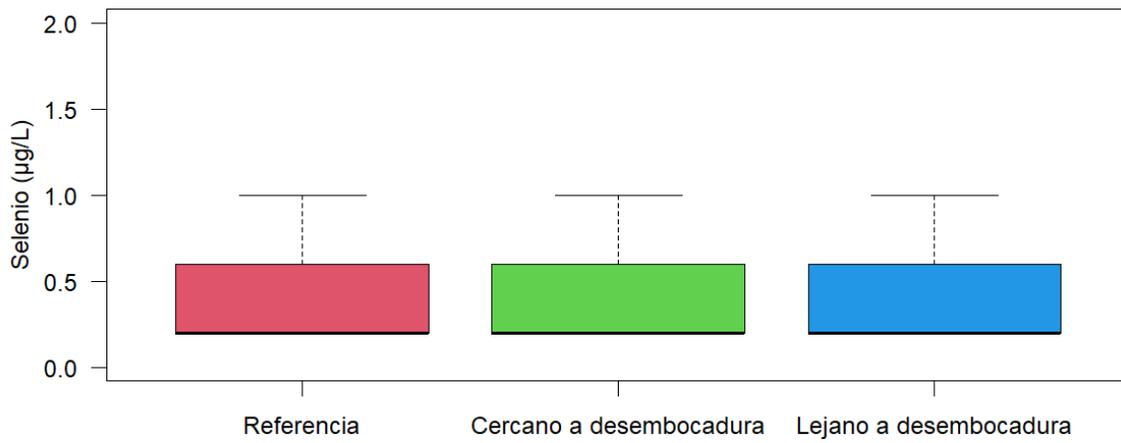


Figura 93: Variación espacial de selenio.

## Silicio

Respecto a las concentraciones de silicio, se obtuvo una media de 9,3 mg/L, siendo que la concentración máxima (13 mg/L) se detectó en el sitio G3 (Cercana a desembocadura) tanto en abril como en julio y en el sitio G5 (Lejana a desembocadura) en el mes de abril. La concentración mínima registrada fue de 6,4 mg/L, encontrándose en los sitios correspondientes a la zona Lejana a desembocadura (G2 y G5) en el mes de enero (Figura 94).

Se detectaron concentraciones de silicio significativamente más altas en la zona Cercana a desembocadura con respecto a la zona Referencia (ANOVA,  $p < 0,05$ ; Figura 95).

Valores de silicio (mg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	6,5	8,9	8,2	7,3
G2	6,4	12	8,8	6,9
G3	12	13	13	12
G4	6,6	9,3	9,7	11
G5	6,4	13	10	11
G6	6,7	8,7	8,9	7,4

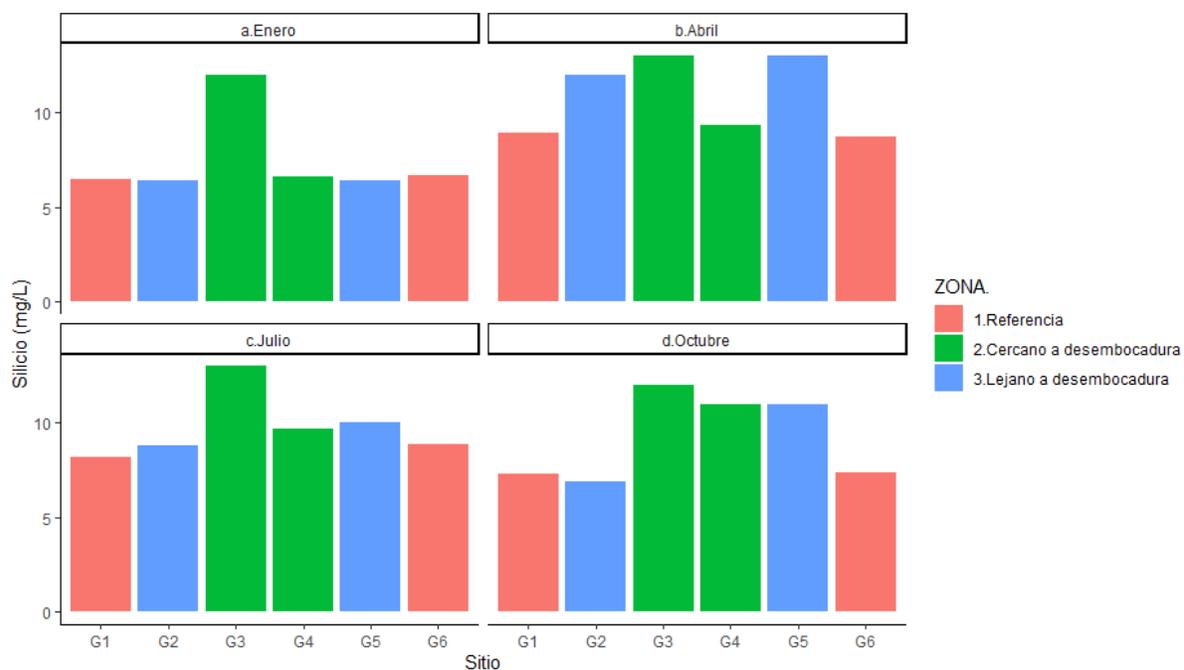


Figura 94: Variación espacial y temporal de silicio.

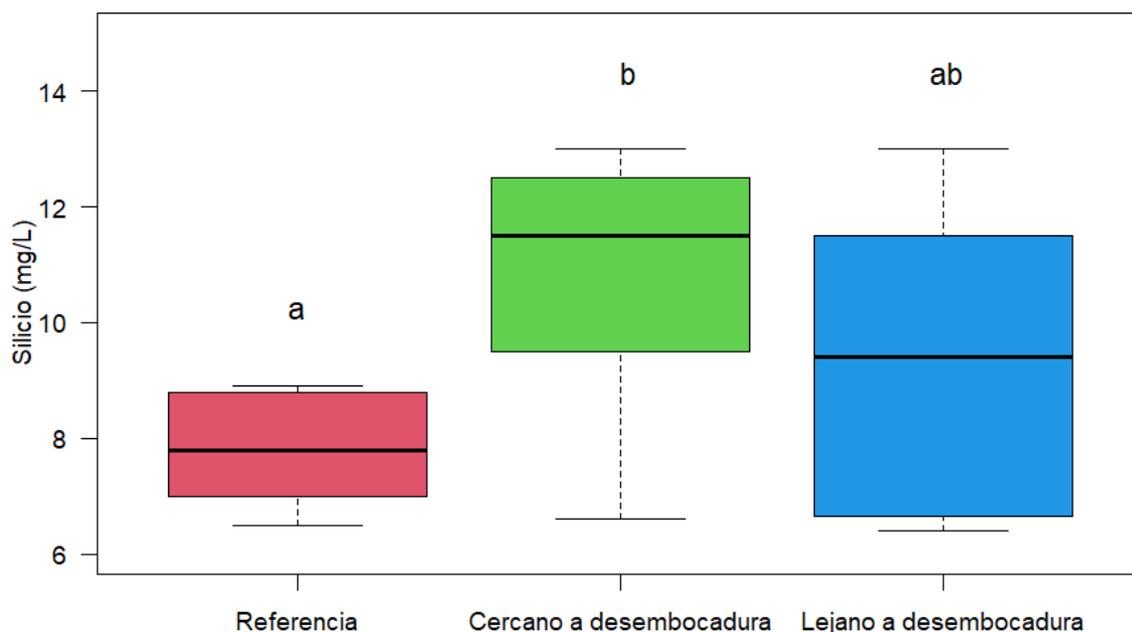


Figura 95: Variación espacial de silicio.

### Sodio

El sodio presentó una media de 6,8 mg/L, registrándose la concentración máxima (32 mg/L) en el sitio G3 (Cercana a desembocadura) en el mes de octubre y la mínima concentración en G6 (Referencia) en enero (1,6 mg/L; Figura 96).

A partir del análisis de varianza se observan diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio, presentándose las concentraciones más elevadas de sodio en la zona Cercana a desembocadura con respecto a la zona Referencia ( $p < 0,05$ ; Figura 97).

Valores de sodio (mg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	1,7	2,5	3,1	5
G2	2,2	4	3,2	4
G3	4,3	6,7	7,3	32
G4	2	3,1	4,4	25
G5	2,1	9,2	4,3	25
G6	1,6	3,9	3,5	4

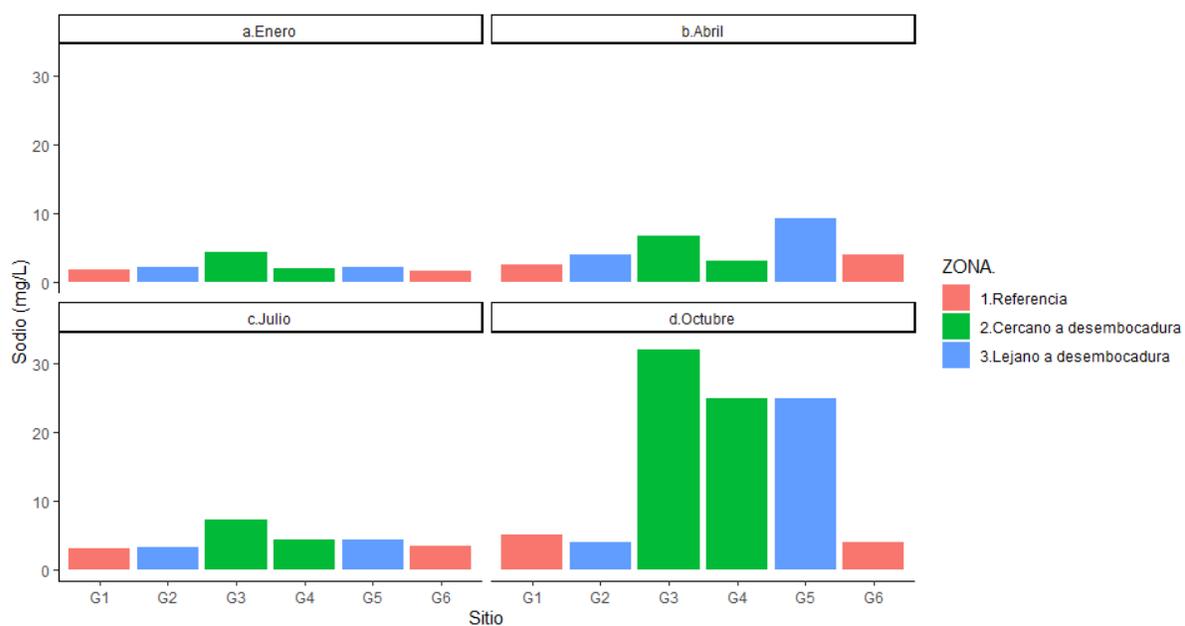


Figura 96: Variación espacial y temporal de sodio.

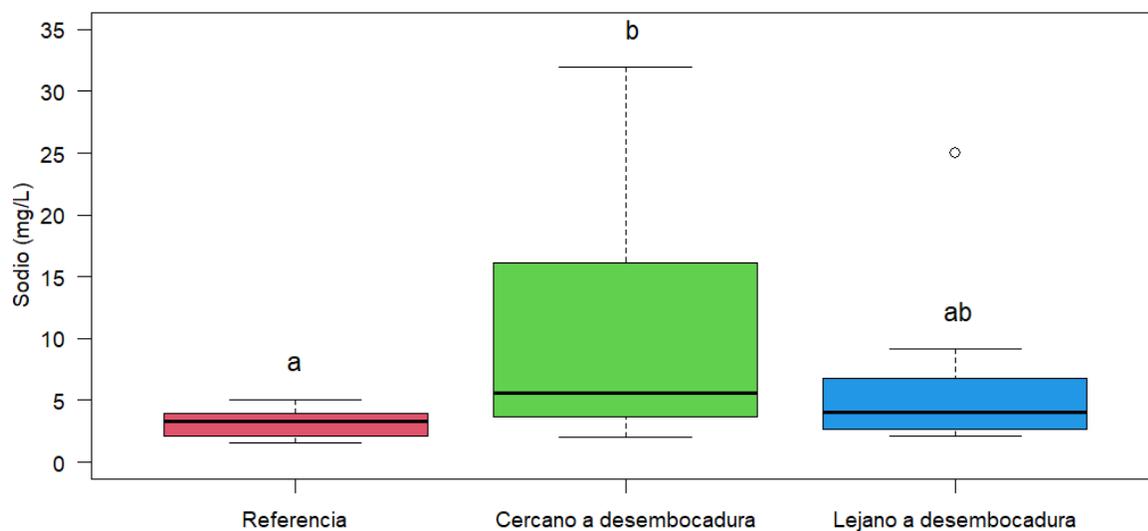


Figura 97: Variación espacial de sodio.

## Sólidos Suspendidos Totales

Debido a problemas logísticos en los envíos a Canadá en ocasiones se excedieron los tiempos máximos establecidos de almacenamiento previo al análisis por lo que sólo se cuentan con determinaciones válidas de sólidos suspendidos totales para los meses de enero y julio, destacándose valores superiores en el mes de enero. La mayor concentración de sólidos suspendidos totales fue 9,5 mg/L y corresponde al sitio G6 (Referencia) en enero, mientras que el mínimo valor estuvo por debajo del límite de detección y fue encontrado en el sitio G1 (Referencia) en el mes de julio (Figura 98).

Respecto a los sólidos suspendidos totales no se observan diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio (ANOVA,  $p > 0,05$ ; Figura 99).

Valores de sólidos suspendidos totales (mg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	9	s/d	<2	s/d
G2	7	s/d	2	s/d
G3	6,5	s/d	3	s/d
G4	7,5	s/d	4	s/d
G5	6	s/d	4	s/d
G6	9,5	s/d	2	s/d

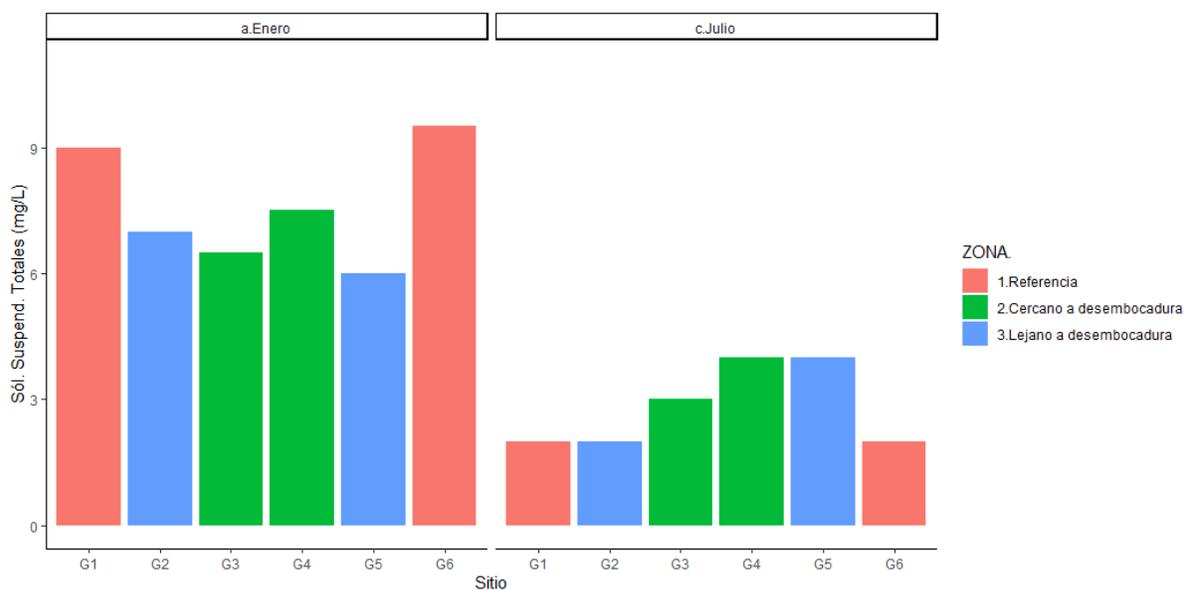


Figura 98: Variación espacial y temporal de sólidos suspendidos totales.

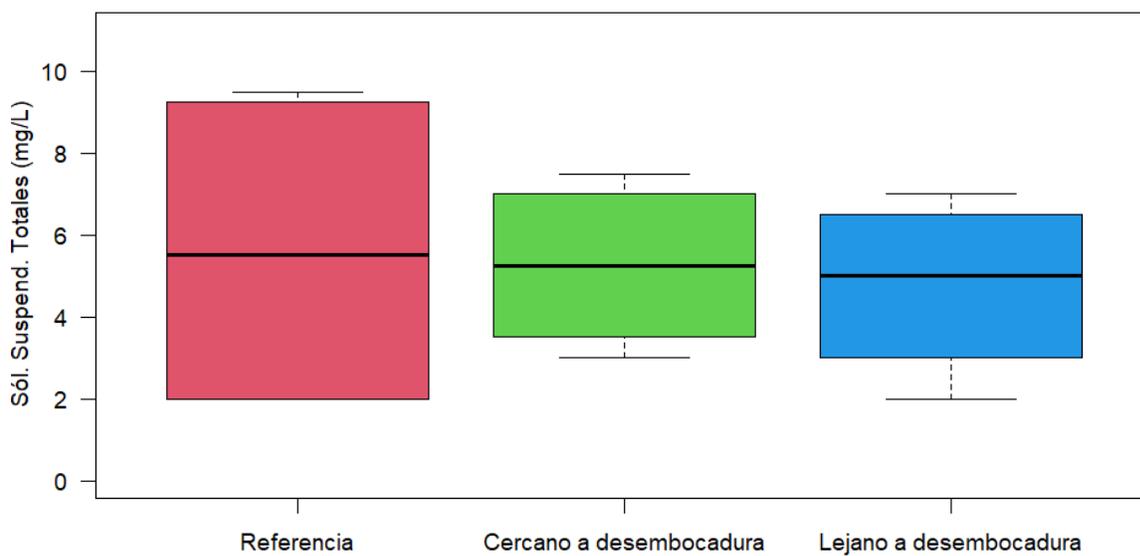


Figura 99: Variación espacial de sólidos suspendidos totales.

### Sólidos Totales

De similar manera que para el parámetro anterior, para sólidos totales se observa una alta tasa de determinaciones excedidas respecto al tiempo máximo de análisis, por lo que sólo se cuenta con determinaciones válidas para este parámetro para las muestras correspondientes al mes de enero. De éstas, la mayor concentración fue 106 mg/L en el sitio G3 (Cercana a desembocadura) y la menor concentración fue de 32 mg/L correspondiente al sitio G4 (Cercana a desembocadura; Figura 100).

Debido a lo indicado anteriormente, en este caso no se obtuvieron los datos suficientes para la realización de análisis de varianza.

Valores de sólidos totales (mg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	42	s/d	s/d	s/d
G2	76	s/d	s/d	s/d
G3	106	s/d	s/d	s/d
G4	32	s/d	s/d	s/d
G5	62	s/d	s/d	s/d
G6	92	s/d	s/d	s/d

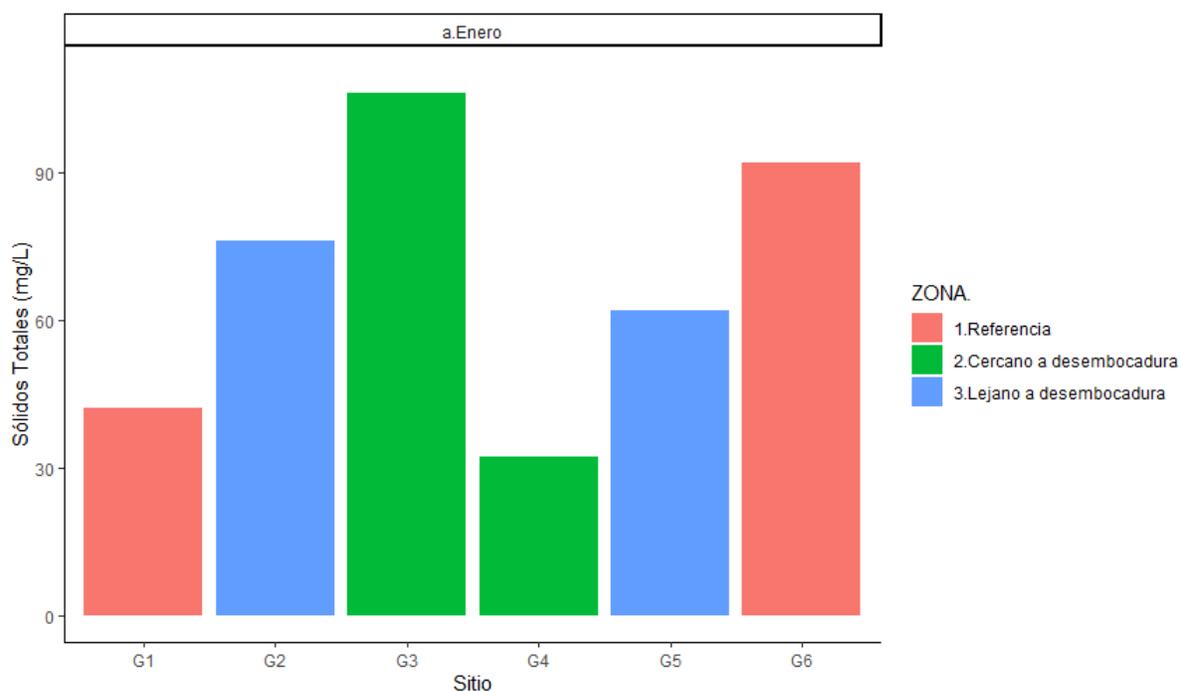


Figura 100: Variación espacial de sólidos totales para el mes de enero de 2019.

## Sulfato

La concentración media de sulfato fue 3,04 mg SO<sub>4</sub>/L, encontrándose las menores concentraciones en el mes de enero, en comparación con los restantes meses. El máximo valor (13,5 mg SO<sub>4</sub>/L) se observó en el sitio G3 (Cercana a desembocadura) en el mes de octubre y la mínima concentración (0,6 mg SO<sub>4</sub>/L) se registró en el mes de enero en G2 y G5 (ambos en la zona Lejana a desembocadura; Figura 101).

Durante el periodo de estudio no se observaron incumplimientos normativos respecto a sulfato (250 mg/L, según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 4).

Respecto a sulfato no se observan diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio (ANOVA, p>0,05; Figura 102).

Valores de sulfato (mg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	0,7	1,3	1,4	2
G2	0,6	2	1,5	1,9

G3	1,2	3,3	3,9	13,5
G4	0,7	1,5	2,1	9,8
G5	0,6	4,4	2,1	10,4
G6	0,7	3,6	2,1	1,7

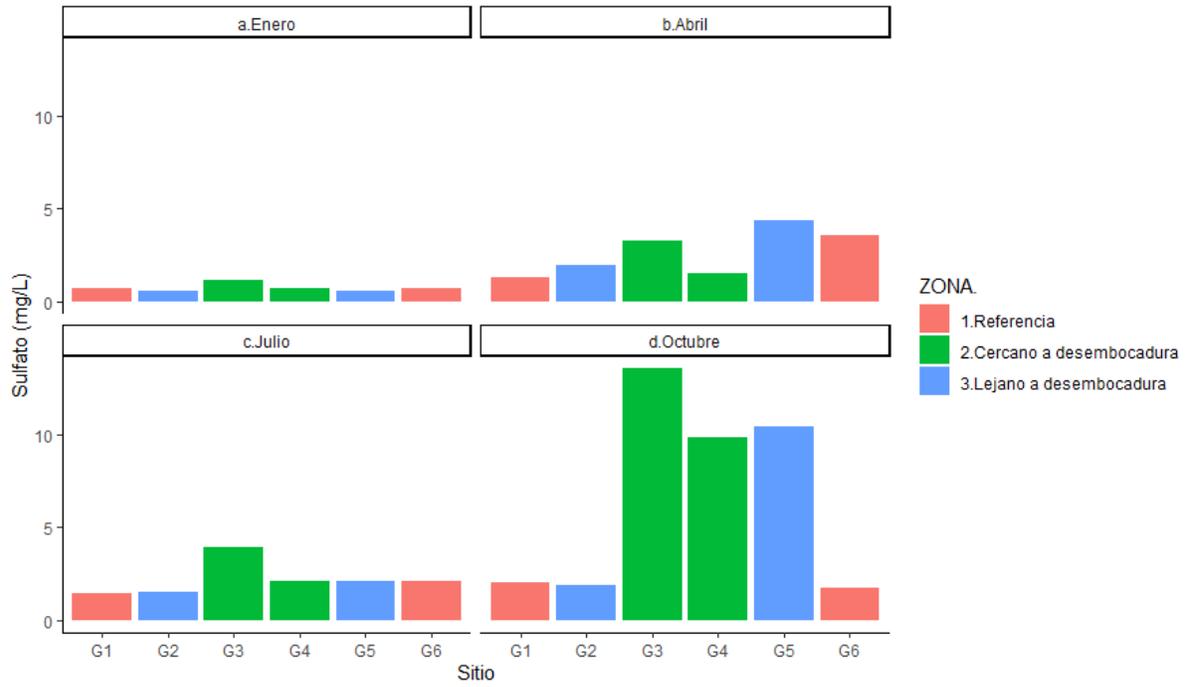


Figura 101: Variación espacial y temporal de sulfato.

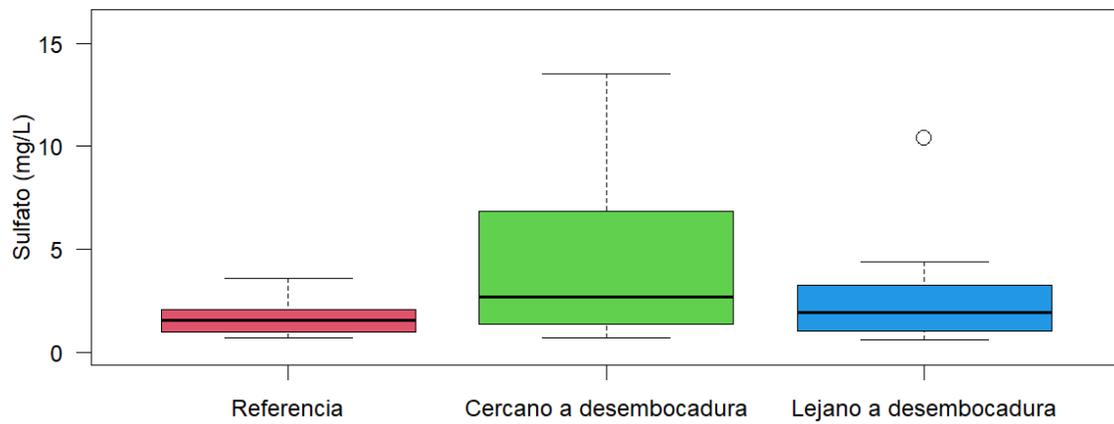


Figura 102: Variación espacial de sulfato.

## **Talio**

Las concentraciones de talio variaron entre un máximo de 0,1 µg/L en el sitio G3 (Cercana a desembocadura) en octubre, hasta un mínimo con determinaciones por debajo del límite de detección en varios sitios para los meses de julio y octubre (Figura 103). La concentración media para este parámetro fue 0,03 µg/L. Corresponde hacer notar que el límite de detección analítico del mes de octubre es superior a los reportados previamente, lo cual incide en la representación gráfica subsiguiente.

No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio respecto a las concentraciones de talio (ANOVA,  $p > 0,05$ ; Figura 104).

*Valores de talio (µg/L).*

<b>Fecha de muestreo</b>	<b>Enero</b>	<b>Abril</b>	<b>Julio</b>	<b>Octubre</b>
G1	0,03	0,02	0,01	<0,05
G2	0,01	0,03	<0,01	<0,05
G3	0,04	0,03	0,04	0,1
G4	0,02	0,02	0,02	<0,05
G5	0,02	0,03	0,02	<0,05
G6	0,02	0,02	<0,01	<0,05

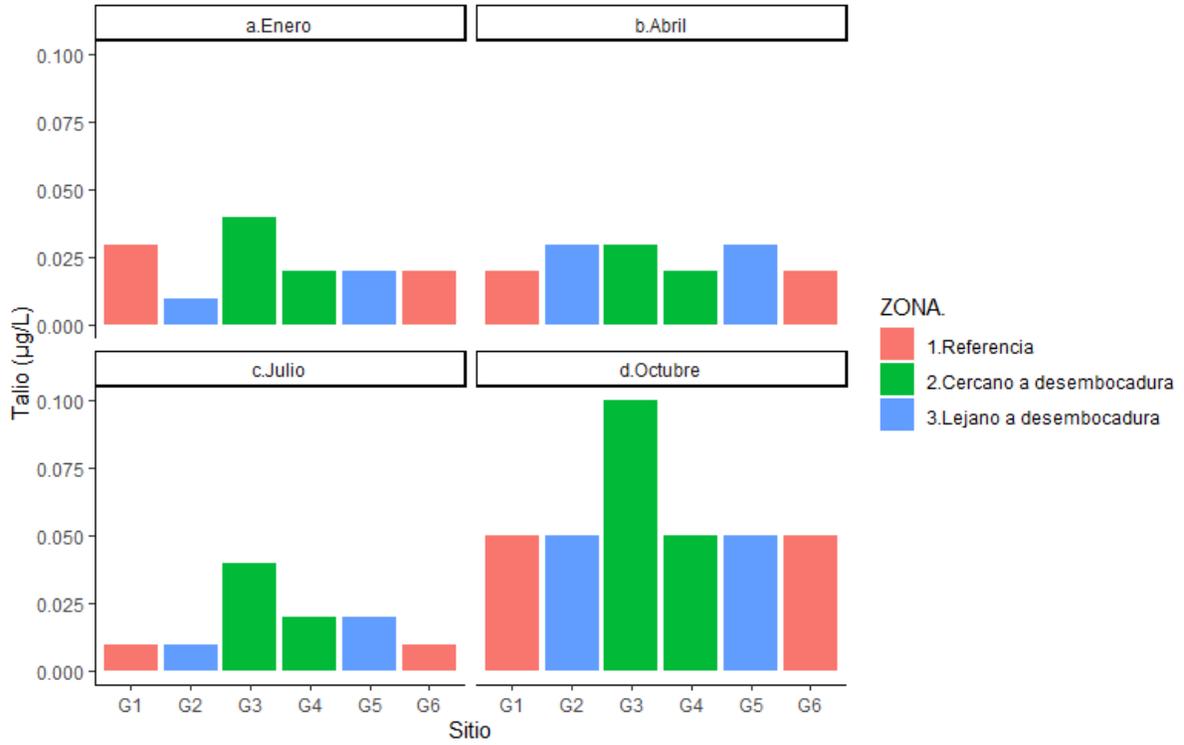


Figura 103: Variación espacial y temporal de talio.

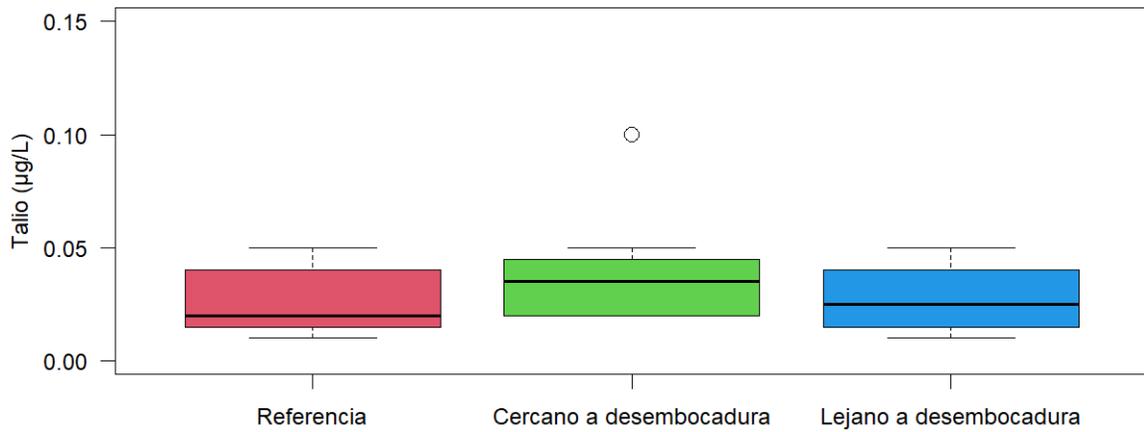


Figura 104: Variación espacial de talio.

## Titanio

La concentración media de titanio fue 27  $\mu\text{g/L}$ , determinándose la concentración máxima de 59  $\mu\text{g/L}$  en el sitio G3 (Cercana a desembocadura) en abril. La concentración mínima corresponde a determinaciones por debajo del límite de detección en el mes de octubre, en todos los sitios, a excepción de G1 (Referencia) y G5 (Lejana a desembocadura, Figura 105).

Para el parámetro titanio no se registran diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio (ANOVA,  $p > 0,05$ ; Figura 106).

Valores de titanio ( $\mu\text{g/L}$ ).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	20	31	21	20
G2	14	54	22	<10
G3	32	59	42	<10
G4	17	30	28	<10
G5	13	43	26	10
G6	23	25	18	<10

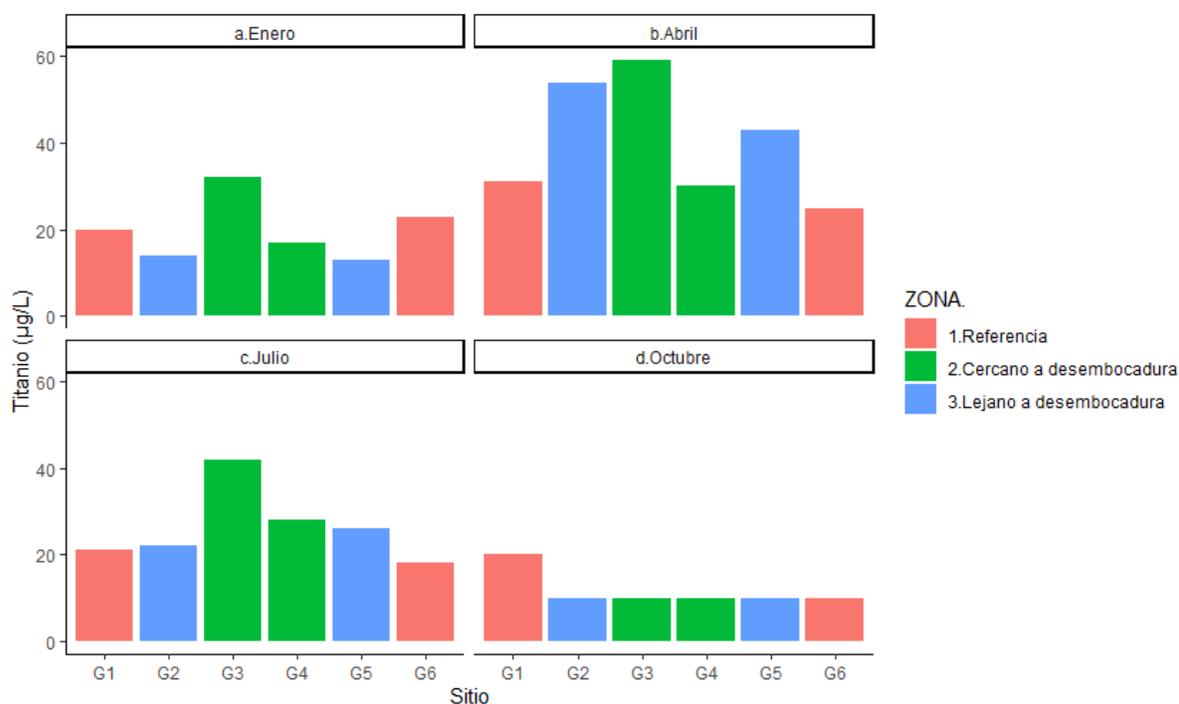


Figura 105: Variación espacial y temporal de titanio.

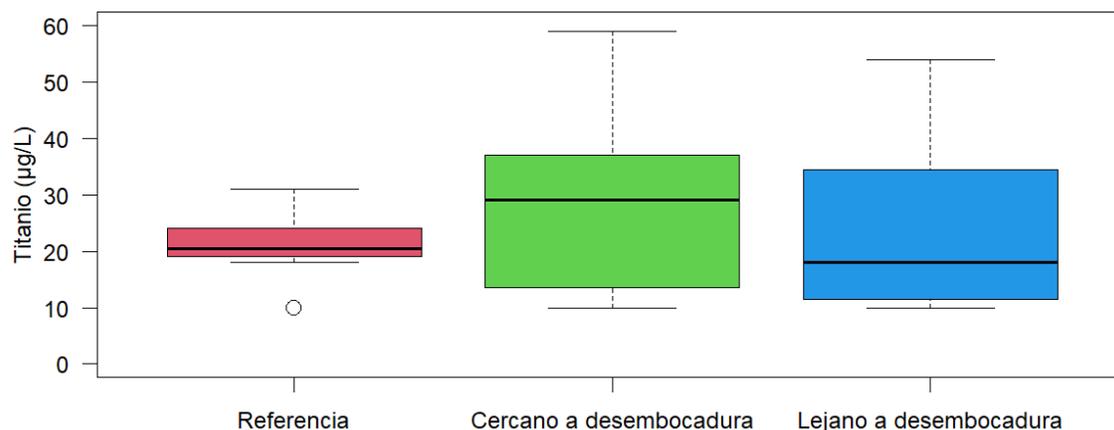


Figura 106: Variación espacial de titanio.

## Torio

La concentración media de torio fue 0,14 µg/L, donde el máximo (0,27 µg/L) fue registrado en G3 (Cercana a desembocadura) y el mínimo estuvo por debajo del límite de detección (0,05 µg/L) durante el mes de julio (Figura 107). Corresponde hacer notar que el límite de detección analítico del mes de octubre es superior a los reportados previamente, lo cual incide en la representación gráfica subsiguiente.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas respecto a las concentraciones de torio entre las zonas de estudio (ANOVA,  $p > 0,05$ ; Figura 108).

Valores de torio (µg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	0,14	0,13	0,07	<0,3
G2	0,08	0,26	0,06	<0,3
G3	0,24	0,27	0,19	<0,3
G4	0,12	0,13	0,12	<0,3
G5	0,1	0,25	0,11	<0,3
G6	0,16	0,09	<0,05	<0,3

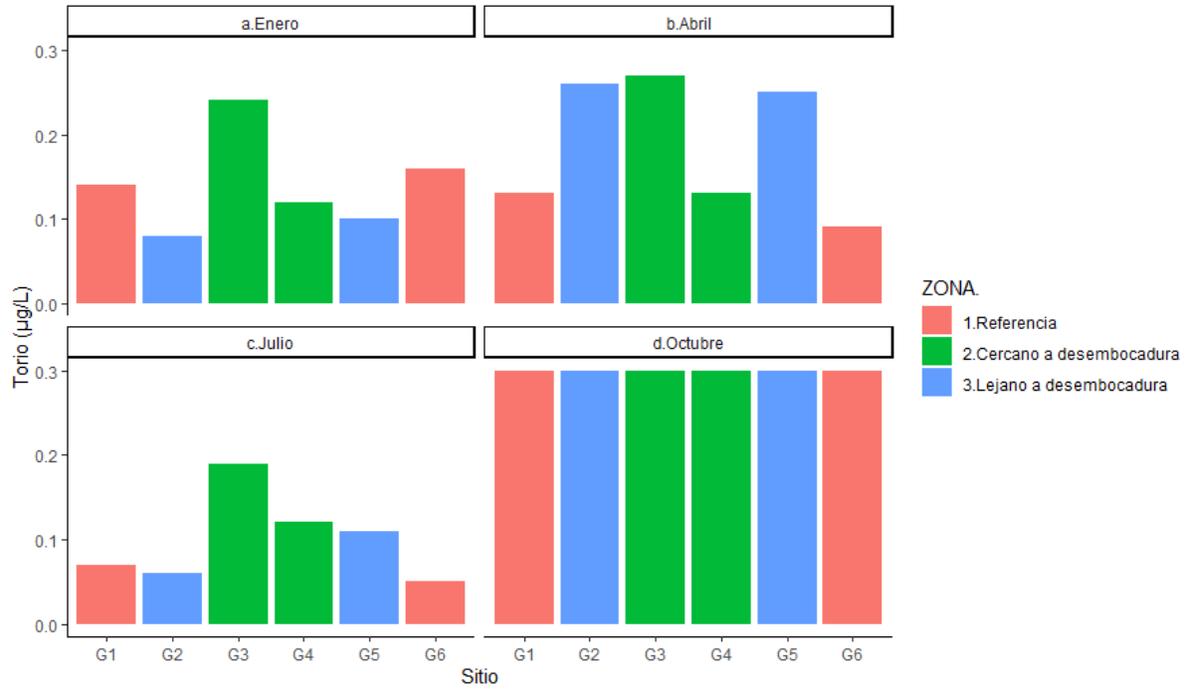


Figura 107: Variación espacial y temporal de torio.

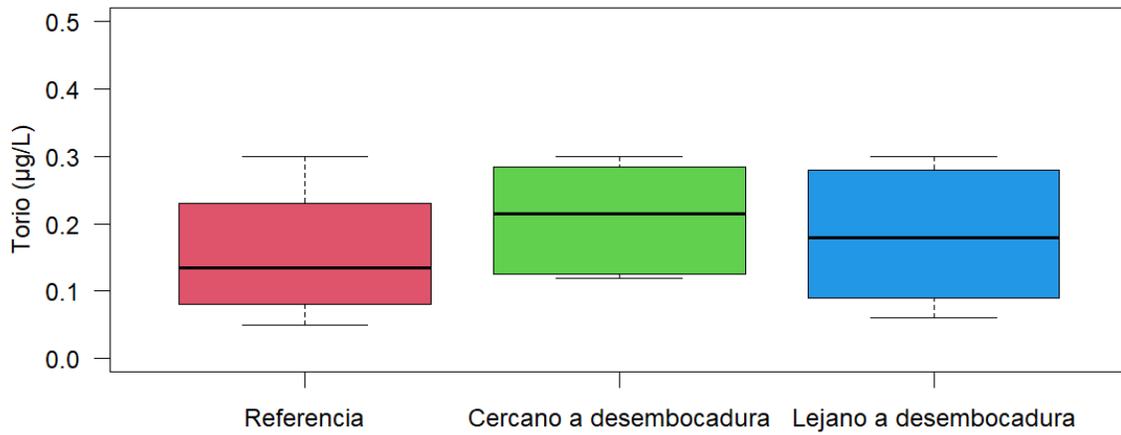


Figura 108: Variación espacial de torio.

## Uranio

Durante el periodo de estudio la concentración máxima de uranio fue 2 µg/L, registrada en el sitio G3 (Cercana a desembocadura) en octubre. La concentración mínima fue 0,08 µg/L detectada en G6 (Referencia) en abril (Figura 109). La concentración media para este metal resultó 0,35 µg/L.

Se observaron concentraciones de uranio significativamente más elevadas en la zona Cercana a desembocadura con respecto a la zona Referencia (ANOVA,  $p < 0,05$ ; Figura 110).

Valores de uranio (µg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	0,1	0,11	0,11	0,2
G2	0,09	0,26	0,12	0,2
G3	0,19	0,4	0,33	2
G4	0,09	0,14	0,19	1,3
G5	0,09	0,51	0,2	1,3
G6	0,11	0,08	0,11	0,2

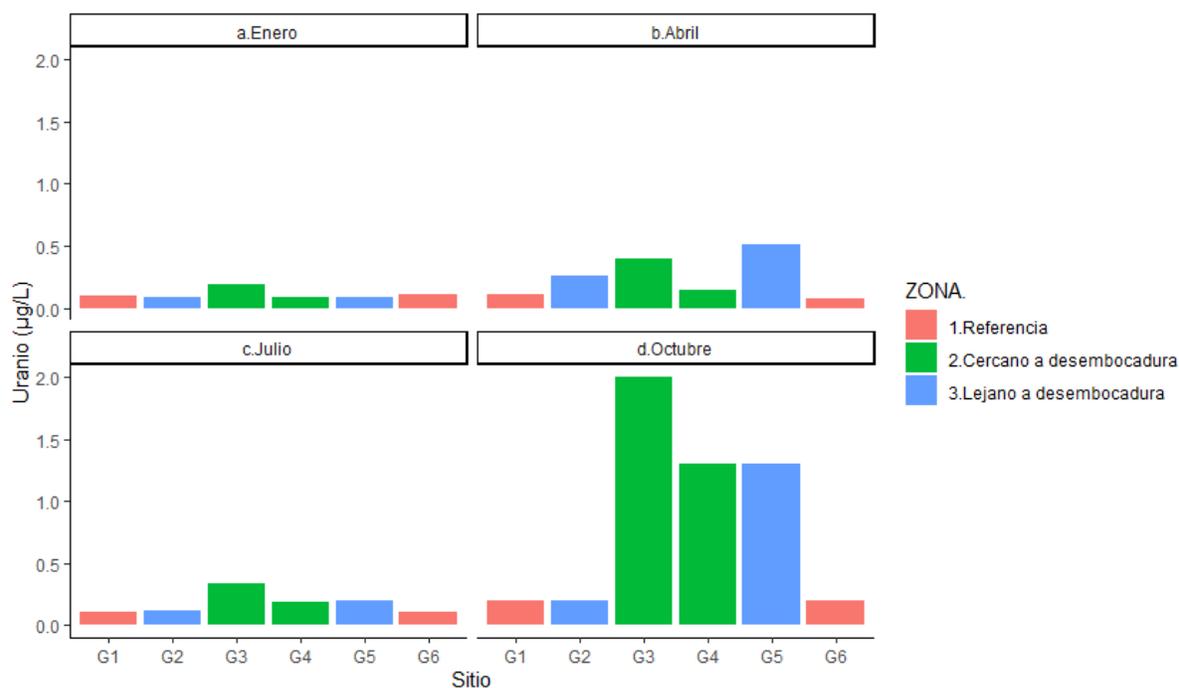


Figura 109: Variación espacial y temporal de uranio.

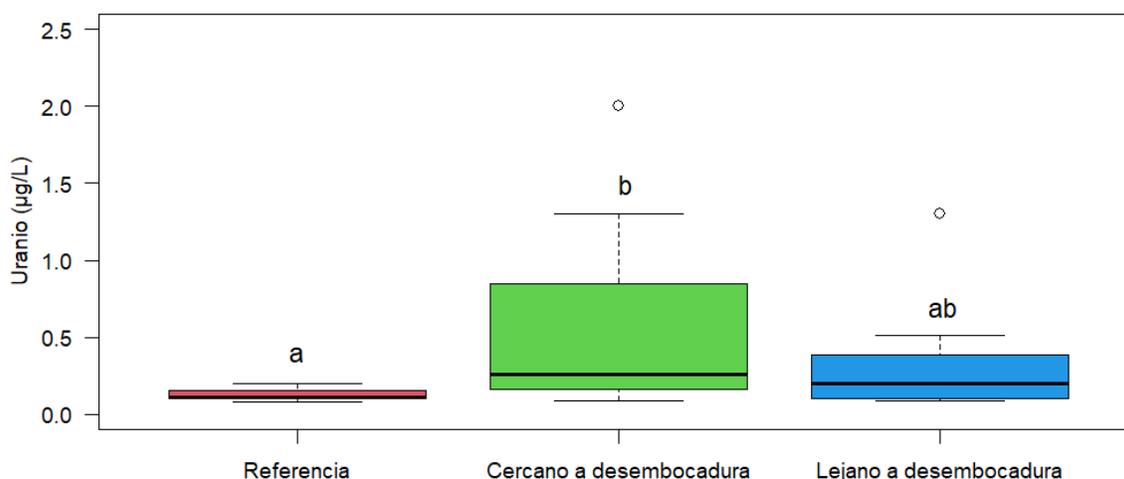


Figura 110: Variación espacial de uranio.

### Vanadio

La concentración media para el metal vanadio fue 7,7 µg/L, siendo que se determinó la concentración máxima de 15 µg/L en G3 (Cercana a desembocadura) en octubre. Por el contrario, la concentración mínima observada fue 4,3 µg/L y se detectó en el sitio G5 (Lejana a desembocadura) en enero (Figura 111).

Se observaron diferencias estadísticamente significativas respecto a las concentraciones de vanadio entre las zonas de estudio, registrándose concentraciones más elevadas en la zona Cercana a desembocadura con respecto a la zona Referencia (ANOVA,  $p < 0,05$ ; Figura 112).

Valores de vanadio (µg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	6,2	7	5,8	6,3
G2	4,4	10	5,7	7,3
G3	7,1	11	8,7	15
G4	5,2	7,5	6,6	13
G5	4,3	9,5	5,4	13
G6	7,2	5,7	5	7,4

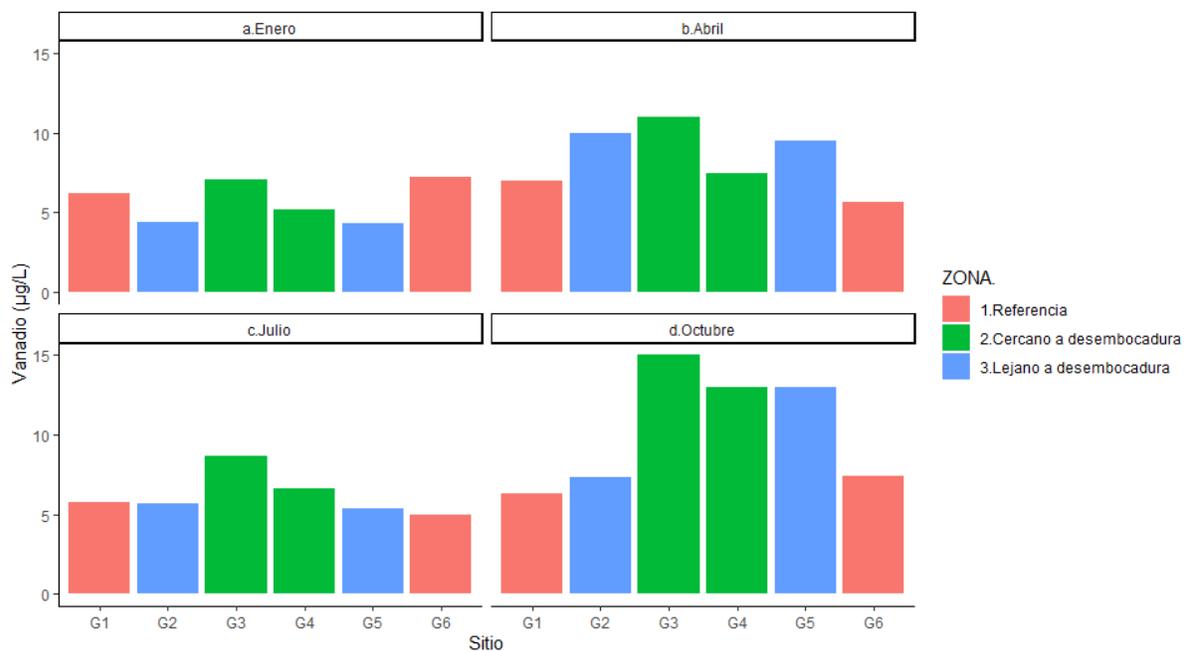


Figura 111: Variación espacial y temporal de vanadio.

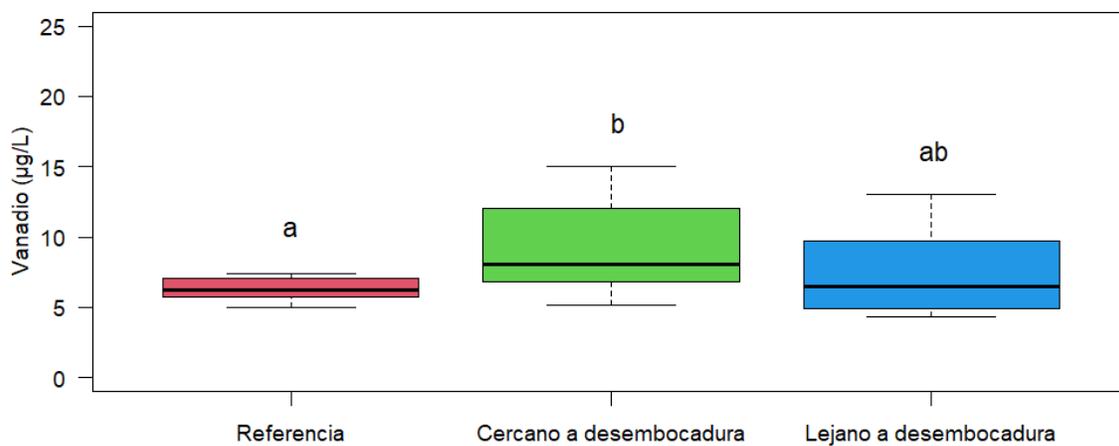


Figura 112: Variación espacial de vanadio.

## Zinc

La concentración media para el metal zinc fue 7,16 µg/L. En el sitio G3 (Cercana a desembocadura) se observó la máxima concentración reportada en el periodo de estudio

(28 µg/L) en octubre. En el sitio G6 (Referencia) se registró el valor mínimo de zinc (3 µg/L) en el mes de abril (Figura 113).

Ninguna de las determinaciones reportadas supera el estándar establecido en la normativa de aplicación (0,037 mg/L o 37 µg/L según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 4).

Se observaron diferencias estadísticamente significativas respecto a las concentraciones del metal zinc entre las zonas de estudio, reportándose concentraciones más elevadas en la zona Cercana a desembocadura con respecto a la zona Referencia (ANOVA,  $p < 0,05$ ; Figura 114).

Valores de zinc (µg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	3,1	3,6	3,7	11
G2	3,2	6,6	5	18
G3	6,4	8,1	7,6	28
G4	3,1	5	4,3	12
G5	3,3	6,4	4	9,1
G6	5,2	3	3,4	8,8

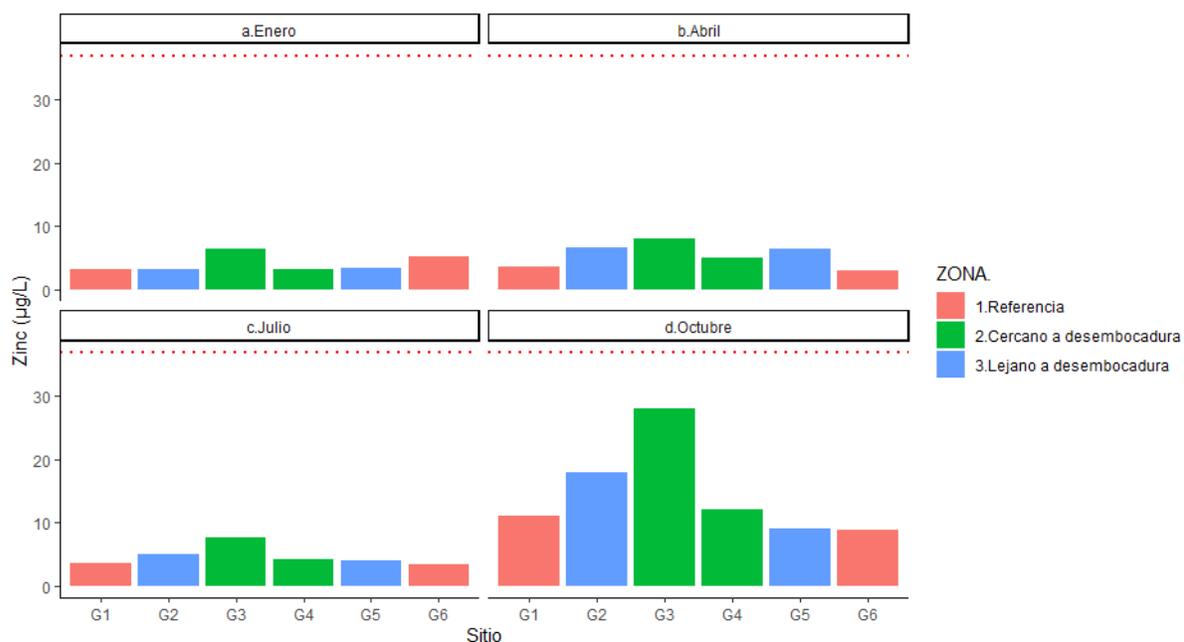


Figura 113: Variación espacial y temporal de zinc.

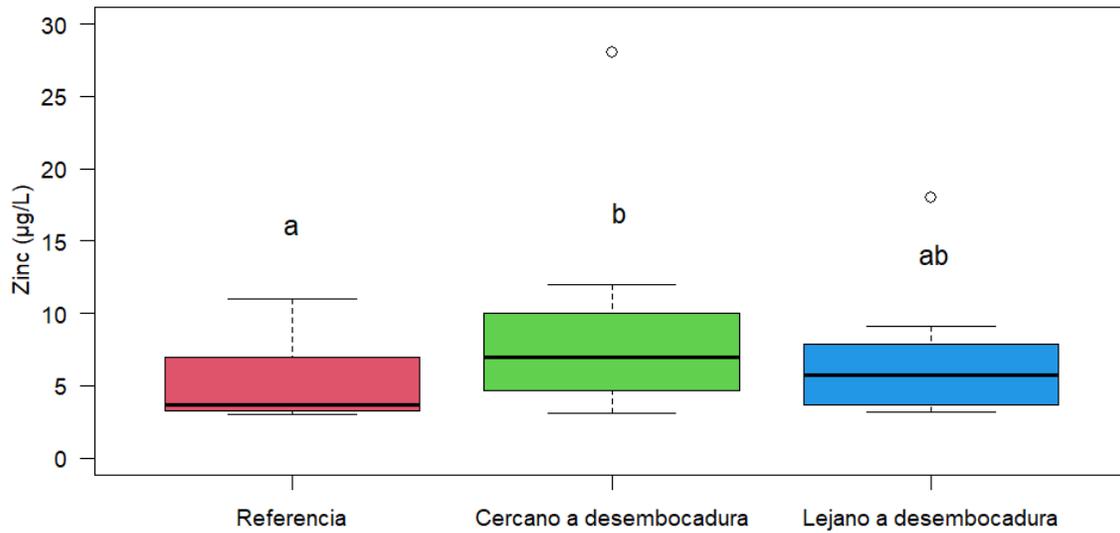


Figura 114: Variación espacial de zinc.

### 3.2.2. Parámetros de baja frecuencia de detección

#### Hidrocarburos totales de petróleo

Se detectaron 600 µg/L de hidrocarburos totales de petróleo en el mes de abril en el sitio G6 (Referencia), mientras que en el mes de enero la detección registrada para la fracción pesada resultó en una determinación total <500 µg/L en el sitio G3 (Cercana a desembocadura).

Valores de hidrocarburos totales de petróleo (µg/L).

Fecha de muestreo	Enero	Abril	Julio	Octubre
G1	<400	<400	<400	<400
G2	<400	<400	<400	<400
G3	<500	<400	<400	<400
G4	<400	<400	<400	<400
G5	<400	<400	<400	<400
G6	<400	600	<400	<400

### 3.2.3. Parámetros no detectados

A continuación, se lista el conjunto de compuestos que, habiendo sido relevados en ocasión de las campañas reportadas en el presente informe, nunca presentaron detecciones para los límites de detección de cada uno de ellos:

Bismuto
Endosulfán
Compuestos fenólicos totales
Nitrito-N
Paratión
Permetrina
Teluro

### 3.3. ANÁLISIS MULTIVARIADO

A fin de compilar y sintetizar de manera estadística y gráfica la información respecto a la variabilidad espacial y temporal observada durante el periodo de estudio, se presentan a continuación distintos análisis de ordenación multivariados, incluyendo un análisis de componentes principales (ACP) con todos los parámetros analizados que tuvieron detecciones por encima del 10% de las mediciones realizadas, un segundo ACP en el que se selecciona un subgrupo de los parámetros analizados inicialmente a fin de maximizar la explicación de la varianza observada, un tercer ACP seleccionando el subconjunto de variables que presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio y un cuarto ACP aplicado a las cargas estimadas para los parámetros detectados en más del 10% de las ocasiones de monitoreo. Para estos parámetros, la carga que transporta la zona del río fue calculada a partir de las mediciones simultáneas de concentración y caudal realizadas durante el desarrollo de cada instancia de monitoreo.

En el tratamiento de los datos para estos análisis se utilizaron los siguientes criterios: en primer lugar, para todas aquellas observaciones que resultaran por debajo de los límites de detección correspondientes se asumió el valor 0. En segundo lugar, y a fin de componer las matrices numéricas completas necesarias para los análisis, se aplicaron criterios de descarte o imputación de valores faltantes para aquellos parámetros con ocurrencia de valores no numéricos (sin datos, no analizados o con resultados analíticos rechazados por exceder los tiempos máximos de análisis). Se adoptó este criterio general a fin de que la ausencia de datos puntuales no implicara tener que excluir del análisis todos los parámetros de un sitio en una instancia de monitoreo o bien excluir todo un parámetro del análisis. Todos aquellos parámetros para los que no se contara al menos con una observación para cada zona en cada instancia de estudio no fueron considerados a los efectos de los análisis multivariados (observado para los parámetros sólidos suspendidos totales, sólidos totales, nitrato + nitrito-N, nitrato-N y ortofosfato). Se recurrió a la imputación de valores cuando, ante la

ausencia de un dato puntual, existía para esa misma instancia de monitoreo un dato en el otro sitio de la misma zona del faltante, procediendo a imputar al faltante el otro resultado disponible (sólo aplicado al parámetro carbono orgánico disuelto para el sitio G1 en el mes de octubre). Por último, para los parámetros in situ sólo se utilizaron los valores correspondientes a la determinación subsuperficial.

Complementariamente, se realizaron pruebas de PERMANOVA para cada escenario, seguidas de un test de comparaciones múltiples. Para realizar el test de comparaciones múltiples en el análisis multivariado se utilizó la función `pairwise.adonis2()` del paquete `pairwiseAdonis` del lenguaje R, a fin de determinar la ocurrencia de diferencias estadísticamente significativas tanto entre instancias de monitoreo como entre las zonas analizadas. La comparación entre zonas se realizó considerando como réplicas cada una de las muestras obtenidas a lo largo de todo el periodo de estudio en las zonas Referencia, Cercana a desembocadura y Lejana a desembocadura, totalizando 8 réplicas por zona. La comparación entre instancias de monitoreo se realizó considerando como réplicas cada una de las muestras obtenidas en cada sitio durante las instancias enero, abril, julio y octubre; totalizando 6 réplicas por instancia.

A fin de analizar la similitud entre los sitios en cada instancia de monitoreo se presenta también un diagrama de agrupación por similitud de clúster (agrupación según algoritmo UPGMA y método de Ward).

### **Análisis de componentes principales (ACP)**

Inicialmente se realizó un análisis de componentes principales (ACP) considerando todas las variables detectadas frecuentemente, es decir aquellas variables que resultaron en frecuencias de detección superiores al 10 % de las muestras analizadas, para cada una de las cuatro instancias de monitoreo (totalizando 54 variables después del tratamiento). En las figuras resultantes cada parámetro es representado por una flecha negra y aparece resaltado en distintos colores las áreas convex-hull correspondientes a cada instancia de monitoreo, a fin de facilitar la interpretación de la variabilidad entre los sitios analizados respecto a cada una de las instancias en que la actividad fue desarrollada. Cada área convex-hull encierra todas las determinaciones realizadas en una fecha dada, denotando la variación total observada en la zona de estudio en cada una de esas fechas en que se desarrolló la actividad de monitoreo (variación correspondiente al espacio multivariado conformado por las dos componentes principales determinadas). Áreas menores de cada curva indican una menor variación en el espacio multivariado, mientras que las áreas mayores implican una mayor variabilidad en el espacio de los valores hallados para cada fecha de muestreo en cuestión.

En la figura a continuación se presenta el ACP, en el que la primera componente explica el 56,65% de la varianza total, mientras que la segunda componente explica un 13,13% de esta



mes de monitoreo el punto correspondiente al sitio G3 es consistentemente el que se ubica más alejado del resto de los puntos en el espacio multivariado, denotando una diferenciación en la composición de la muestra en este sitio con respecto a todos los sitios restantes.

A partir de las pruebas de PERMANOVA incluyendo todas las variables analizadas se constató que existen diferencias estadísticamente significativas entre las instancias de monitoreo y no existen diferencias significativas entre las tres zonas analizadas ( $\alpha=0,05$ ). Los test de comparaciones múltiples revelan que para esta combinación de variables existen diferencias significativas entre el mes de enero y el resto de las instancias de monitoreo ( $p<0,05$ ). Esto se debe principalmente al mayor agrupamiento (similitud en el espacio multivariable) entre los sitios de muestreo durante el mes de enero observable en la Figura 115.

Esta aproximación permite evaluar de manera general la composición de concentraciones específicas de cada parámetro que caracteriza cada zona y mes de muestreo a lo largo del periodo de estudio. No obstante, su interpretación se ve complejizada por la cantidad de variables contempladas (algunas redundantes y otras de escaso peso relativo) y su potencialidad restringida por la alta variación que existe entre las distintas instancias de muestreo, que puede ser reflejo también de la disímil condición hidrológica entre cada una de ellas dado que el caudal no ha sido una de las variables consideradas en este ACP (por la limitada cantidad de mediciones disponibles). Por ello, se desarrollan a continuación otros tres ACP, sustrayendo variables redundantes y las menos explicativas para las dos primeras componentes principales en el primero de ellos, focalizando el análisis sobre aquellas variables que han mostrado una estructuración espacial en la zona de estudio en el segundo de los casos, y finalmente un tercer ACP traduciendo las distintas variables a valores de carga para poder integrar en el análisis el caudal circulante por el río en cada instancia de monitoreo.

### **ACP aplicado a un subconjunto de parámetros que maximiza la varianza explicada**

Para este análisis se seleccionó un subgrupo de variables que presentaran una calidad de representación ( $\cos^2$ ) superior a 0,7 en el ámbito definido por las dos primeras componentes principales, y que a su vez presentaran bajo grado de correlación entre ellas, seleccionando variables representativas en caso de existir dos o más fuertemente correlacionadas (como por ejemplo alcalinidad representando a variables como calcio, magnesio, dureza y sodio, entre otros). Esta selección resultó en un total de 12 variables: conductividad, estroncio, bario, boro, alcalinidad, plomo, torio, arsénico, demanda bioquímica de oxígeno, turbidez, AOX, níquel.

El resultado de este análisis es presentado en la figura a continuación, donde la primera componente explica el 81,65 % de la varianza total, mientras que la segunda componente

explica un 12,37 % de esta varianza; por lo que esta combinación de parámetros integra una explicación del 93,97% de la varianza total del análisis. Para esta agrupación de parámetros las variables de mayor representación en la primera componente resultaron conductividad, alcalinidad, turbidez, boro y arsénico; mientras que, para la segunda componente, las variables más representativas resultaron torio (parámetro a su vez fuertemente correlacionado con varios otros metales como cobalto, hierro, aluminio y uranio, entre otros, los que no fueron incluidos en este análisis) y DBO<sub>5</sub>.

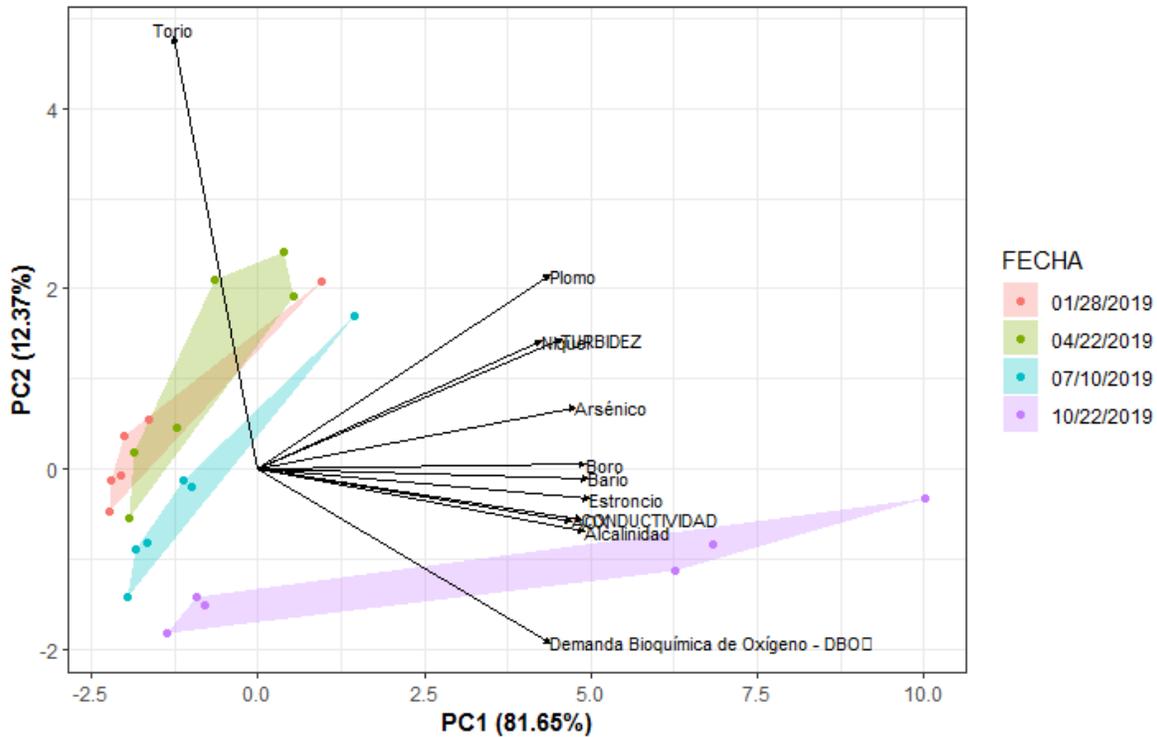


Figura 116: Análisis de componentes principales para un subgrupo de variables representativas.

En concordancia con el análisis precedente, se observa una disposición similar de las distintas instancias de monitoreo dentro del espacio multivariado, aunque en este segundo análisis las áreas convex-hull del mes de julio no se superponen con las de enero y abril. La caracterización de los grupos también resulta en diferencias observables entre las instancias de monitoreo, donde se mantienen valores relativamente elevados en el segundo componente durante enero y abril principalmente para el torio, valores intermedios en este eje para el muestreo de julio y los valores más bajos de metales y mayores de DBO<sub>5</sub> en el muestreo de octubre. También se vuelve a observar una mayor variabilidad entre los sitios de estudio en el sentido del eje del primer componente durante el monitoreo de octubre. Cabe mencionar que dentro del grupo de datos correspondientes a cada mes de monitoreo

el sitio G3 es consistentemente el que se ubica más alejado del resto de los sitios en el espacio multivariado, replicando la ocurrencia descrita en el apartado anterior, donde el sitio G3 presenta una composición notoriamente distinta que el resto de los sitios estudiados.

Para esta combinación de variables las pruebas de PERMANOVA resultaron también en diferencias significativas entre las instancias de monitoreo, mientras que no se observaron diferencias significativas entre las zonas de estudio ( $\alpha=0,05$ ). Los test de comparaciones múltiples revelan que en esta combinación de variables existen diferencias significativas entre el mes de enero y el resto de las instancias de monitoreo ( $p<0,05$ ). Nuevamente, cabe destacar que para el mes de enero se observa que los resultados presentaron una dispersión menor entre los sitios de estudio respecto a la que se tiene para los restantes meses analizados (ver Figura 116).

#### **ACP aplicado al subconjunto de parámetros que mostraron una estructuración espacial en la zona de estudio**

Atendiendo a los efectos específicos generados como consecuencia del ingreso del río Gualaguaychú al río Uruguay, y a fin de facilitar la interpretación de estos efectos en el sistema, se presenta a continuación un análisis ACP complementario, para el que se seleccionaron solamente aquellos parámetros analíticos para los que se hayan observado diferencias significativas entre las zonas de estudio (Referencia, Cercana a desembocadura y Lejana a desembocadura) independientemente de cómo hubieran resultado esas diferencias para cada parámetro. En consecuencia, se seleccionaron un total de 34 variables que presentaron alguna diferencia estadísticamente significativa entre zonas.

En la figura a continuación se presenta el ACP resultante, en el que la primera componente explica el 71,41% de la varianza total, mientras que la segunda componente explica un 9,49% de esta varianza; por lo que esta combinación de parámetros integra una explicación del 80,9% de la varianza total del análisis. Para esta agrupación de parámetros, los valores propios (Eigen values) más altos en la primera componente fueron observados para los parámetros DQO y carbono orgánico total; mientras que para la segunda componente resultaron mayores para los parámetros aluminio, cobalto y fluoruro, entre otros.

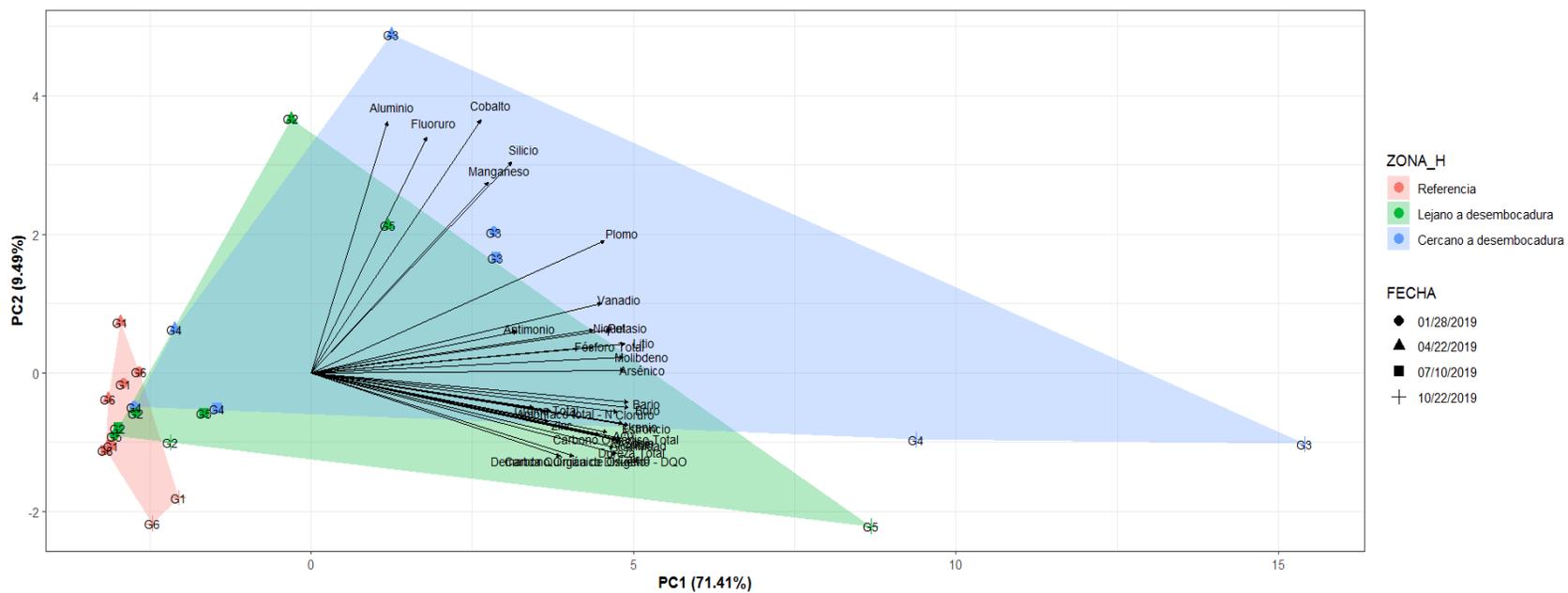


Figura 117: Análisis de componentes principales aplicado al subconjunto de parámetros que mostraron una estructuración espacial en la zona de estudio.

A fin de interpretar la variabilidad entre los sitios analizados en cada una de las instancias, en este ACP se componen áreas convex-hull representando las zonas de estudio y se identifica cada una de las instancias de monitoreo con un símbolo específico. Esta representación esboza un patrón en donde la zona Referencia tiende a diferenciarse de las zonas Cercana y Lejana a desembocadura por su menor variabilidad en el espacio multivariado a lo largo de los diferentes meses de muestreo (área convex-hull más compacta). Por otro lado, la zona Cercana a desembocadura es la que resulta con mayor variabilidad de valores de todos los parámetros, debido fundamentalmente a los altos valores de parámetros asociados a ambos componentes que presenta el sitio G3. Esta gran variabilidad observada entre cada una de las instancias de monitoreo tiene una incidencia predominante en el análisis, resultando en que para este subconjunto de variables tampoco resulte en diferencias significativas entre las tres zonas analizadas (PERMANOVA,  $p > 0,05$ ).

Se observa que, más allá una agrupación con valores relativamente menores en las variables que definen a estas dos componentes principales (donde quedan incluidas todas las instancias de monitoreo en los sitios G1 y G6), los restantes puntos del diagrama (que denotan valores más elevados) corresponden todos al sitio G3 con alguna ocurrencia ocasional para los sitios G2, G4 y G5.

Se puede notar en este ACP un patrón de separación en los puntos correspondientes a distintas zonas en cada una de las fechas, aunque también un alto grado de superposición en las áreas convex-hull, lo que se explica en parte por la alta variabilidad observada entre cada una de las instancias de monitoreo y la limitante de contar solamente con los datos correspondientes a un año de la actividad. La cantidad de réplicas disponible por fecha no resulta suficiente como para poder explorar la potencial existencia de diferencias significativas entre las zonas en cada instancia, pero la incidencia de la condición cambiante del caudal circulante en la variabilidad observada entre instancias de monitoreo podrá ser abordada de forma más robusta a partir de la incorporación en este tipo de análisis de las sucesivas campañas de monitoreo, posibilitando explorar la separación entre zonas reduciendo la incidencia de variabilidades ajenas al factor propiamente espacial.

### **ACP aplicado a los valores de carga del conjunto de parámetros detectados frecuentemente**

Debido a los distintos caudales determinados durante el desarrollo de la actividad, y atendiendo a la incidencia que estos caudales cambiantes implican sobre la variabilidad de los parámetros analizados, resulta de interés complementar el análisis con otras aproximaciones que incorporen al caudal como factor explicativo adicional a los desarrollados previamente.

A diferencia del caso presentado inicialmente en esta sección, se procedió a utilizar como variables para el análisis las cargas de cada parámetro analítico calculadas a partir de las concentraciones determinadas y el caudal estimado para cada instancia de monitoreo.

En la Figura 118 se presenta el ACP, en el que la primera componente explica el 74,88% de la varianza total, mientras que la segunda componente explica un 9,09% de esta varianza; por lo que esta combinación de parámetros integra una explicación del 83,97% de la varianza total del análisis.

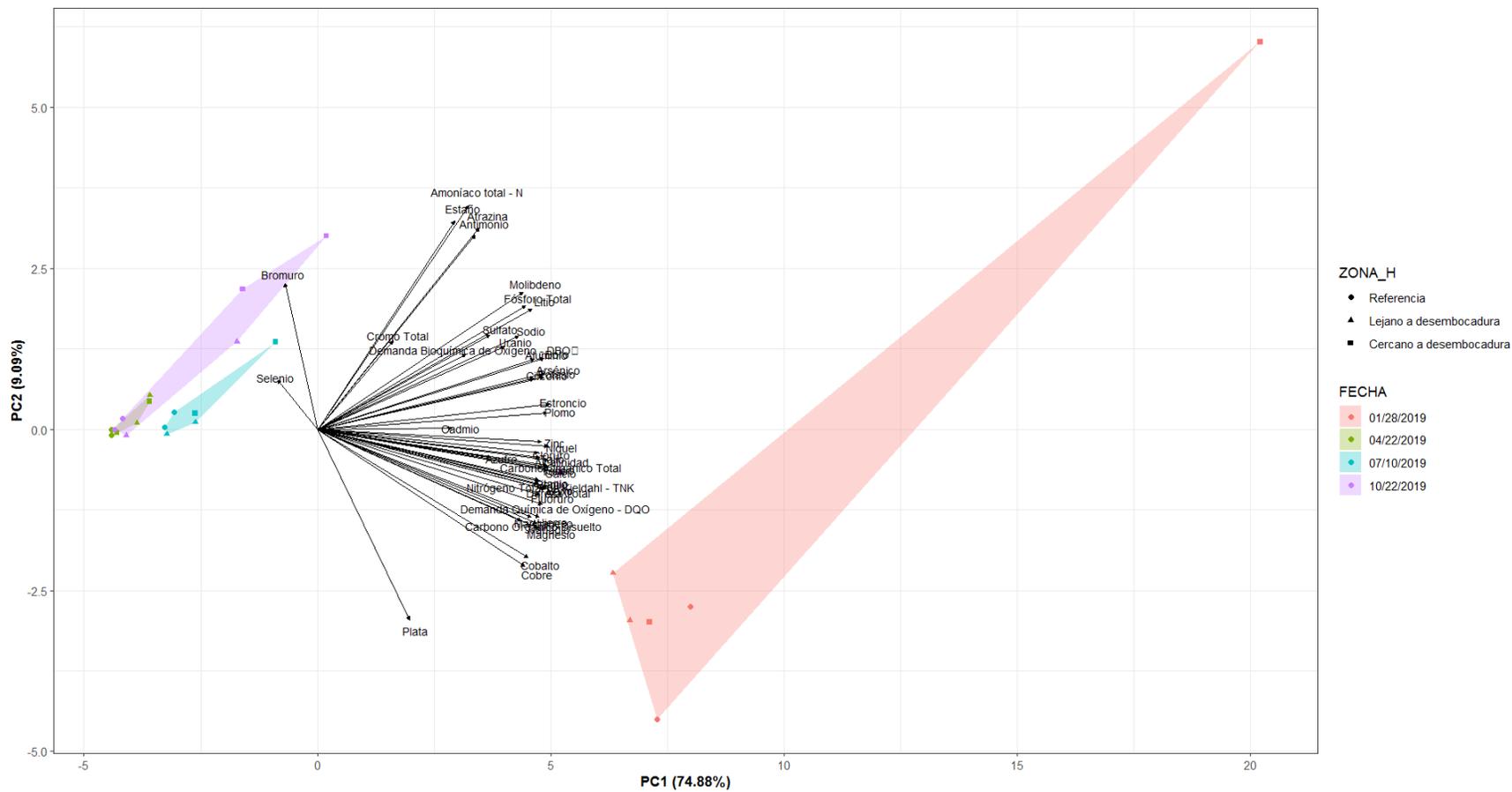


Figura 118: Análisis de componentes principales aplicado a los valores de carga del conjunto de parámetros detectados frecuentemente.

Se observa en la Figura 118 una agrupación mayoritaria de los parámetros incluidos en el análisis, donde entre las variables más explicativas de la primera componente principal se encuentran DQO, carbono orgánico disuelto y total y nitrógeno total de Kjeldahl, entre otros. En este análisis se observa una diferenciación más amplia de las variables registradas en el mes de enero con respecto a las restantes observaciones.

El análisis de PERMANOVA realizado entre fechas arrojó como resultado que existen diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre las fechas de muestreo; mientras que las diferencias entre zonas de estudio no resultaron significativas ( $p > 0,05$ ). Aplicando los test de comparaciones múltiples a esta combinación de variables, surge que existen diferencias significativas entre el mes de enero con respecto a todos los restantes meses de estudio y también se observan diferencias significativas entre los meses de julio y octubre ( $p < 0,05$ ).

### **Análisis de agrupación por similitud de clúster**

A partir de lo observado en los análisis previos se destaca una variabilidad elevada entre algunos de los sitios e instancias de estudio, siendo particularmente notorio los resultados observados para el sitio G3, el que consistentemente presentó valores más elevados con respecto a todos los otros sitios analizados. Atendiendo a profundizar la interpretación de la variabilidad entre sitios e instancias se presenta a continuación un análisis de agrupamiento por similitud (análisis de clúster, Figura 119).

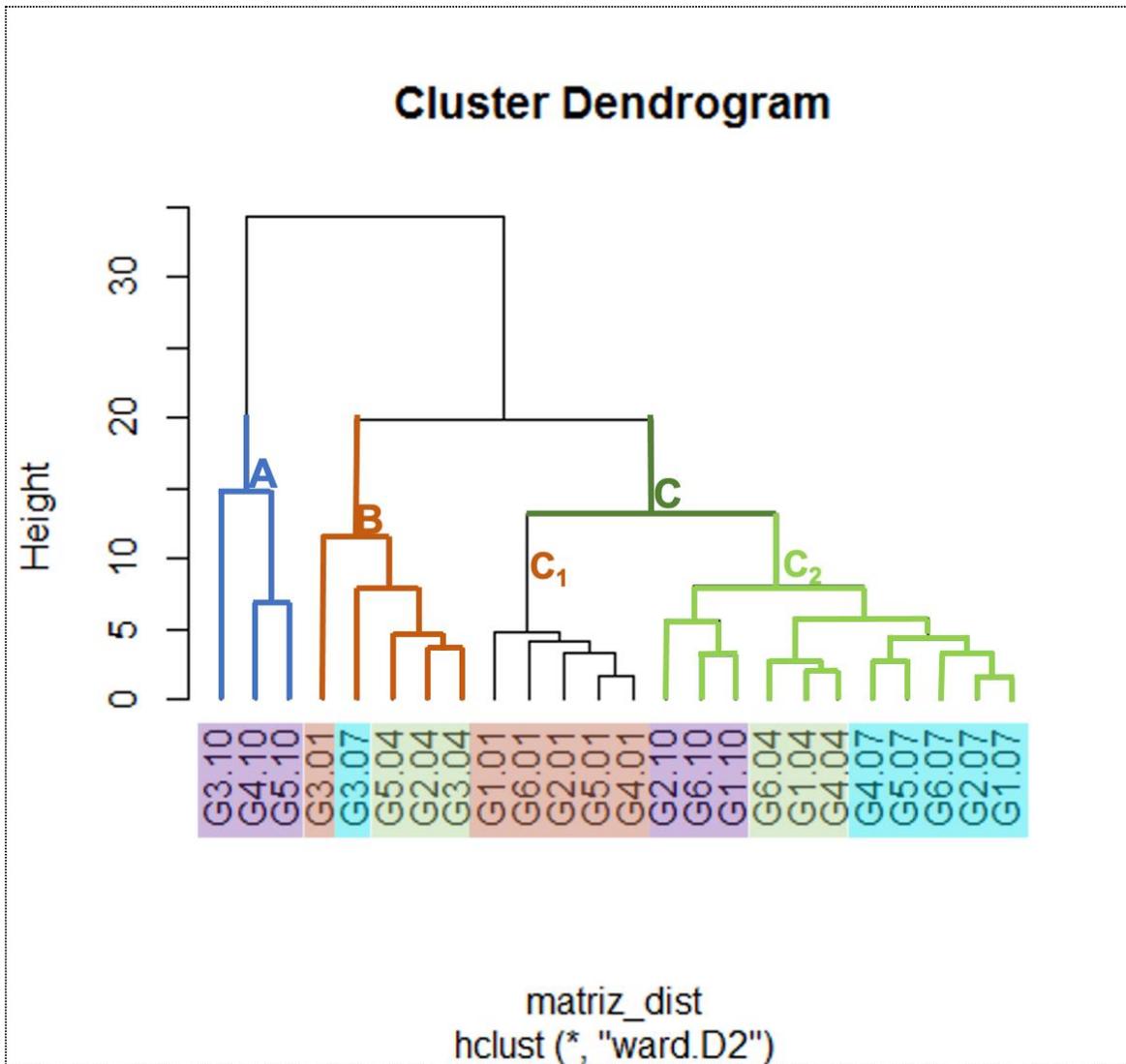


Figura 119: Diagrama de agrupación por similitud de clúster.

En función de la composición de valores de los 54 parámetros analizados cada evento de muestreo, definido éste como un sitio (de los 6 relevados) muestreado en un mes en particular (de los 4 monitoreos realizados durante 2019), puede agruparse dentro de al menos tres grandes grupos con similar nivel de jerarquía (similitud de nivel 15). En efecto se observa:

- A. Un primer grupo compuesto por los muestreos del mes de octubre de los sitios G3, G4 y G5.
- B. Un segundo grupo conformado por los muestreos del sitio G3 en todos los meses excepto octubre.

C. Un tercer grupo compuesto por todos los restantes eventos de muestreo no incluidos en los otros grupos anteriores, el cual puede a su vez subdividirse en dos subgrupos C.1 y C.2.

C.1. Subgrupo conformado por los muestreos del mes de enero en todos los sitios excepto G3.

C.2. El resto de los muestreos que incluye a los muestreos de julio en todos los sitios excepto G3, y a muestreos de los sitios G1 y G6 acompañados del sitio G4 en el caso del mes de abril y del sitio G2 en el caso del mes de octubre.

A partir de este análisis se observa que el sitio G3 tiene una condición marcadamente distinta en las condiciones observadas respecto a los restantes sitios de monitoreo, siendo que los G2, G4 y G5 presentaron comportamientos cambiantes en función de las condiciones de caudal del río Uruguay, mientras que los sitios ubicados en el canal principal del río Uruguay (G1 y G6) siempre se ubicaron agrupados de manera conjunta (confirmando así la correcta agrupación como zona de referencia). En efecto, el caudal circulante en el río Uruguay pareciera tener una influencia determinante en la condición observada en los sitios incluidos en las zonas cercana y lejana a la desembocadura del río Gualeguaychú, siendo que en los meses donde se observaron los mayores caudales (enero y julio) todos los sitios presentaron condiciones similares a las observadas en el canal principal del río Uruguay (excepción hecha para el sitio G3), mientras que en los meses en los que se registraron caudales del río Uruguay más bajos, algunos de estos sitios presentaron condiciones más similares a las detectadas en el sitio G3.

Se concluye de lo anterior que en el sitio G3 prima un comportamiento particular respecto a la condición del agua en ese lugar, probablemente como resultante de las condiciones que tiene la bahía donde el mismo queda ubicado, la cual tiene un comportamiento más léntico que las restantes áreas del río. Por otro lado, también se concluye que en escenarios de caudales más altos todos los restantes sitios analizados presentan condiciones de calidad de agua similares a los observados en el canal principal del río Uruguay, mientras que al decrecer los caudales del río Uruguay surgen condiciones particulares que posibilitan identificar las condiciones particulares del río Gualeguaychú en su ingreso al río Uruguay.

No obstante, es importante notar que las conclusiones aquí presentadas refieren sólo a cuatro instancias de monitoreo, por lo que será de relevancia profundizar estos análisis con la reiteración sucesiva de la actividad de monitoreo incorporando análisis en una mayor cantidad de condiciones del sistema.

### 3.4. MONITOREO CONTINUO CON BOYA

#### 3.4.1. Sobre la boya instalada

A comienzos del año 2012 la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) a través de la Dirección de Vías Navegables (Argentina) fondeó siete boyas para monitoreo ambiental (nombradas como: T3A, T3U, T5U, T6, T7A, T8 y T9) destinadas al monitoreo del río Uruguay en la zona de influencia de la planta Orión (UPM-ex Botnia) y de la desembocadura del río Guleguaychú en el río Uruguay. Estas boyas alojaban en su interior sondas multiparamétricas destinadas a realizar mediciones periódicas de los parámetros: temperatura, pH, concentración de oxígeno disuelto (OD), conductividad y turbidez según lo estipulado en los puntos 3 y 4 de las Notas Reversales del 30 de agosto de 2010 firmadas entre la República Oriental del Uruguay y la República Argentina y sus correspondientes planes específicos. Estas mediciones se llevaron a cabo hasta diciembre de 2018 cuando se reformuló aquel programa de monitoreo y comenzó a implementarse el “Monitoreo del río Uruguay en la zona de potencial influencia de la desembocadura del río Guleguaychú” (programa objeto del presente informe). En el diseño reformulado de la actividad se incluyó el monitoreo continuo con sonda multiparamétrica en la boya T7A (resultando esta la única de las boyas originales en mantenerse operativa).

La Figura 1 muestra la posición de la boya equipada con sonda multiparamétrica en la zona de influencia de la desembocadura del río Guleguaychú, cuyas coordenadas, expresadas en el sistema WGS84 proyección cartográfica UTM 21 H, son:

*Ubicación de boya con sonda multiparamétrica.*

Punto	Coordenada E	Coordenada S
Boya T7A	0371963	6334242

La sonda multiparamétrica empleada es una YSI 6920, provista con sensores con capacidad de medición continua de un conjunto de parámetros básicos de calidad de agua; a saber: pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y turbidez. La sonda ha sido calibrada y verificada periódicamente siguiendo el instructivo ITR002 v3 “Instructivo de uso de SONDA YSI serie 6” ya definido y aplicado por el Comité en otros programas de monitoreo. La instalación y retiro de las sondas se llevó a cabo a través campañas periódicas espaciadas aproximadamente cada 40 días. En cada una de estas campañas se retiró la sonda instalada para su posterior verificación y obtención de los datos recolectados en el período de operación. En su reemplazo se instaló otra sonda de iguales características, previamente calibrada y programada para tomar registros cada 20 minutos de los distintos parámetros ya mencionados.

La precisión de las mediciones realizadas, según lo informado en el manual de operación y mantenimiento de la sonda YSI 6920, es la siguiente:

*Rango de precisión de la sonda multiparamétrica.*

Sensor	Precisión	Rango
Temperatura	+/- 0,15 °C	-5 a 50 °C
pH	+/- 0,2 unidades	0 a 14 unidades
Concentración de OD	+/-1%	0 a 20 mg/L
% de saturación de O <sub>2</sub>	+/-1%	0 a 200%
Conductividad	+/- 0,5% + 1µS/cm	0 a 100 mS/cm
Turbidez	El mayor de +/-2% y 0,3 NTU	0 a 1000 NTU

En todos los casos los sensores de la sonda instalada fueron verificados post limpieza o cambio de los mismos (calibración previa mediante), aplicando los siguientes rangos de aceptación:

*Rango de aceptación de la calibración de sonda.*

Sensor	Objetivo	Rango de aceptación
Temperatura	Variable según el estándar	+/-1 °C
pH	4 unidades	3,6 a 4,4 unidades
% de saturación de Oxígeno	0 %	0 a 5 %
Conductividad	84 µS/cm	71,4 a 96,6 µS/cm
Turbidez	12,7 NTU	10,8 a 14,6 NTU

Entre fines de febrero y mediados de abril de 2019 el muestreo se vio interrumpido debido a la reformulación en los programas de monitoreo arriba mencionada. Siendo que la interrupción temporal se materializó al no reemplazar la sonda sustituida a fines de febrero de 2019 pero no se afectó ni se reposicionó el fondeo de la boya. El reinicio de la acción de monitoreo, en similar modalidad que a la que hasta entonces se venía utilizando, se produjo una vez reinstalada a mediados de abril de 2019 nuevamente la sonda en la boya.

### 3.4.2. Resultados obtenidos

Los descriptores estadísticos de la variabilidad registrada en el período que aquí se informa, para los distintos parámetros de calidad de agua medidos en forma automática cada 20 minutos, se reportan en la tabla a continuación:

*Variabilidad y estadística general de parámetros medidos.*

Estadísticos	Temperatura	Conductividad	pH	Turbidez	OD
Media	20,14 °C	68 µS/cm	7,40	36,2 NTU	8,24 mg/L
Error típico	0,03 °C	0 µS/cm	0,00	0,1 NTU	0,01 mg/L
Mediana	19,68 °C	68 µS/cm	7,42	32,7 NTU	8,33 mg/L
Moda	13,84 °C	70 µS/cm	7,42	21,3 NTU	9,83 mg/L
Desviación estándar	4,66 °C	10 µS/cm	0,27	18,0 NTU	1,22 mg/L
Varianza de la muestra	21,70 °C	96 µS/cm	0,07	324,4 NTU	1,49 mg/L
Curtosis	-1,31	0	-0,66	36,1	-0,10
Coefficiente de asimetría	0,14	1	-0,28	3,1	-0,60
Rango	18,21 °C	60 µS/cm	1,27	417,3 NTU	5,94 mg/L
Mínimo	13,04 °C	49 µS/cm	6,71	7,5 NTU	4,40 mg/L
Máximo	31,25 °C	109 µS/cm	7,98	424,8 NTU	10,34 mg/L
Cuenta	22723	22702	16917	22699	22702

El descriptor “cuenta” indica el número total de determinaciones válidas realizadas para cada parámetro (que han satisfecho el posterior control de verificación del sensor) dentro del período informado (enero – diciembre 2019, con la interrupción arriba mencionada).

Cabe resaltar que para el parámetro turbidez existen algunas lecturas superiores a 150 NTU aparentemente anómalas correspondientes a varias mediciones de 2019 que son tratadas en mayor detalle más abajo.

### Nivel del río Uruguay (estación Fray Bentos)

A los fines de facilitar la interpretación de los patrones de variación observados para los parámetros de calidad de agua medidos resulta pertinente considerar también la evolución que contemporáneamente con aquellas mediciones ha tenido el nivel del río Uruguay en la zona (Figura 120). En tal sentido a continuación se muestran los valores de nivel medio diario del río registrados por la estación automática de Fray Bentos, durante el año 2019. Puede observarse que el nivel del río ha variado entre un mínimo de 0,5 m ocurrido el 30 de septiembre, y un máximo de 4 m ocurrido el 24 de enero (todos los valores referidos al cero local de la estación).

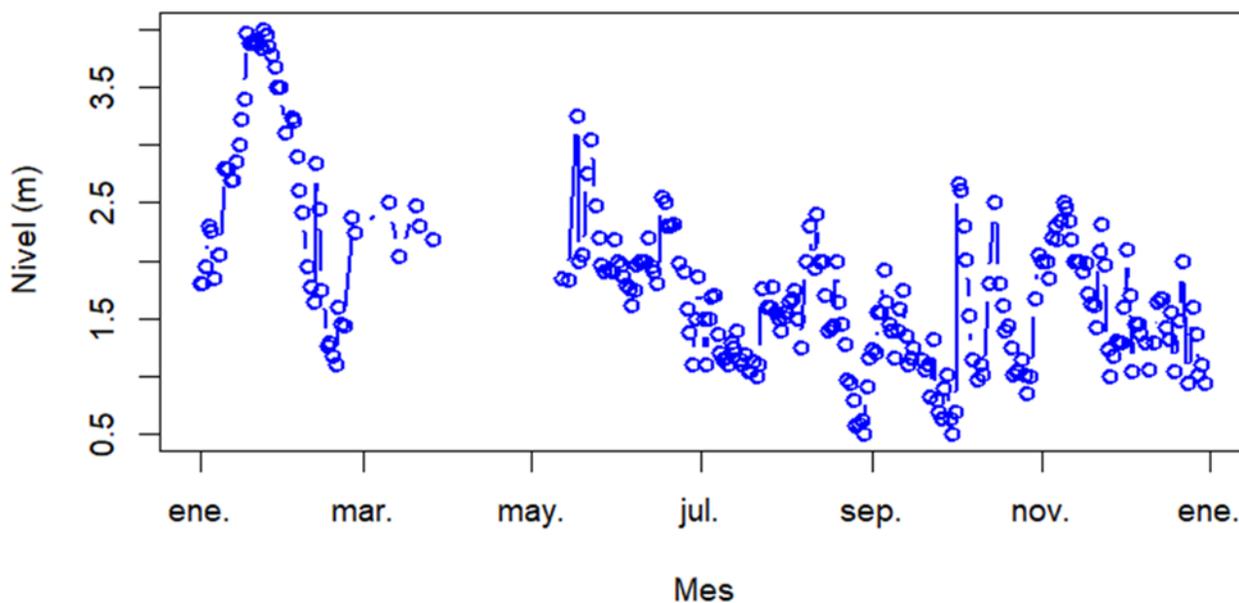


Figura 120: Nivel del río Uruguay en Fray Bentos, año 2019.

A continuación, se muestra la evolución temporal de los parámetros de calidad de agua medidos mediante la sonda multiparamétrica instalada en la boya T7A, con un breve comentario en relación a cada uno de ellos.

### Temperatura

Durante 2019, la temperatura en la zona de influencia de la desembocadura del río Guleguaychú ha variado entre un máximo de 31 grados el día 25 de febrero y un mínimo de 13 grados el día 9 de julio. La Figura 121 muestra la típica evolución estacional en la temperatura del agua con los valores más cálidos hacia los meses de verano (enero-marzo y diciembre) y los más templados hacia el invierno (junio-septiembre).

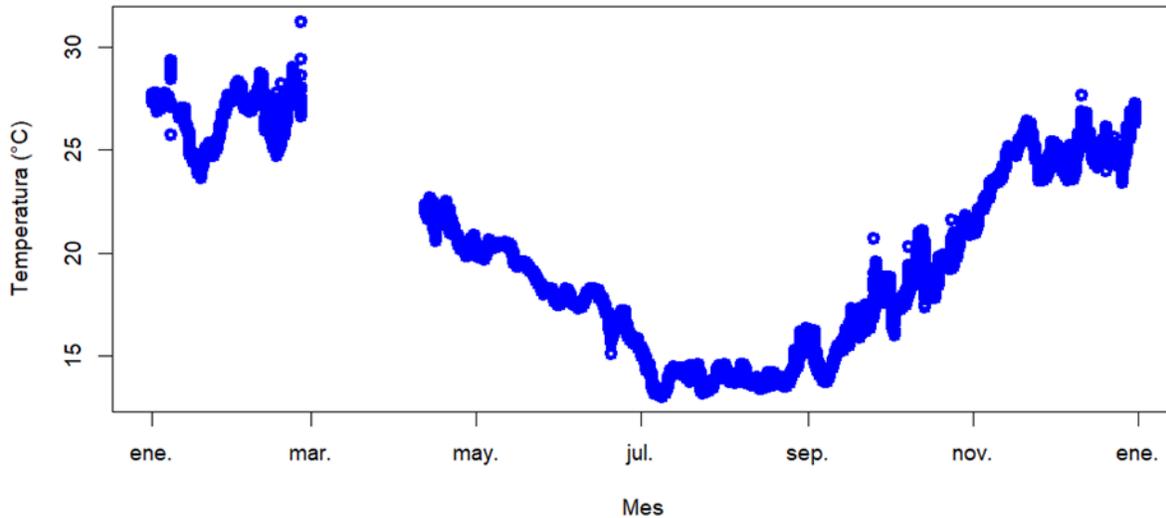


Figura 121: Variación temporal de la temperatura, año 2019.

## Conductividad

Los valores de conductividad en la zona de influencia de la desembocadura del río Gualeguaychú han variado entre un mínimo de 49  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , registrado entre los días 19 y 21 de enero, y un máximo de 109  $\mu\text{s}/\text{cm}$  registrado el 16 de septiembre (Figura 122). Esos valores mínimos de conductividad registrados en la boya T7A se han dado durante un pico de crecida del río Uruguay, con valores cercanos a los 4 m de nivel según la escala localizada en Fray Bentos (ver Figura 120), en tanto los valores más altos registrados han ocurrido mayormente para condiciones de río bajo, con nivel en Fray Bentos inferior a 1,3 m.

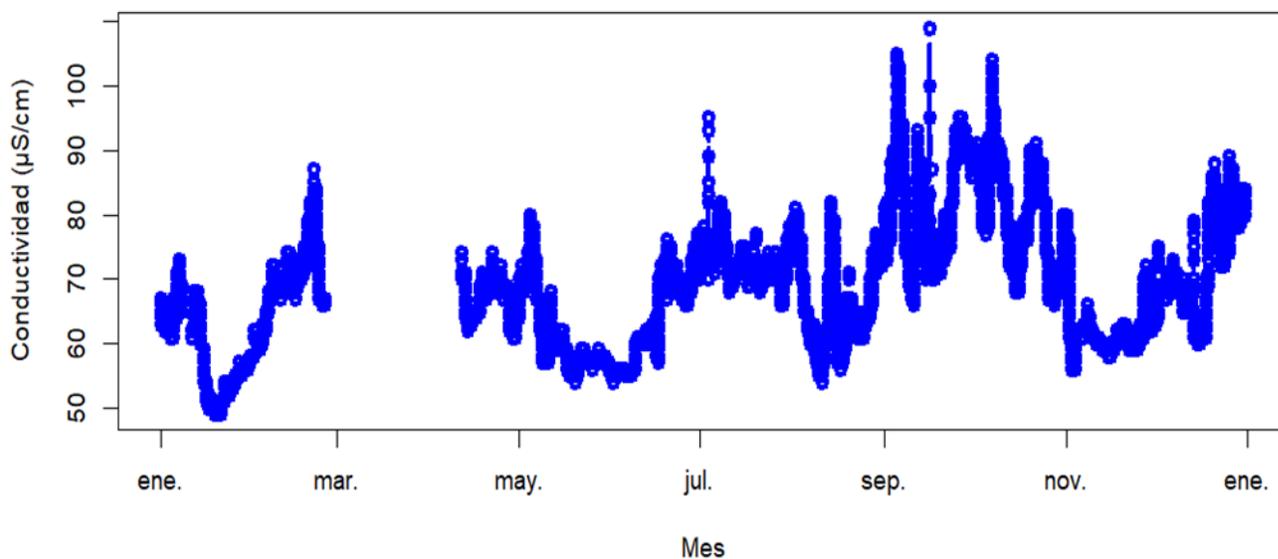


Figura 122: Variación temporal de conductividad, año 2019.

## pH

Los valores de pH registrados en la zona de influencia de la desembocadura del río Gualaguaychú han variado entre un valor mínimo de 6,7 ocurrido el 25 de mayo, y un valor máximo de 8, medido el 23 de julio (Figura 123). En ningún caso se han registrado incumplimientos normativos para este parámetro, en tanto todos los registros han quedado comprendidos entre los valores 6,5 y 8,3, que son los umbrales normativos indicados con líneas punteadas rojas en la gráfica (Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 2, que resulta ser el más exigente para este parámetro).

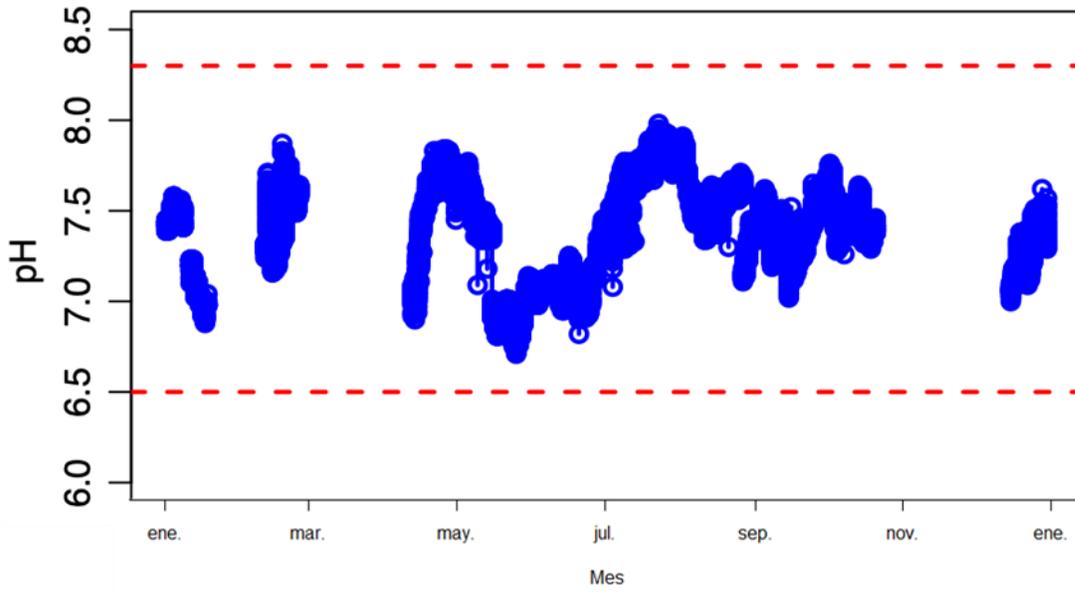


Figura 123: Variación temporal del pH, año 2019.

### Turbidez

Durante el periodo de monitoreo los valores han variado entre un mínimo de 7,5 NTU el 18 de febrero y un máximo de 425 NTU durante el 5 de febrero (Figura 124).

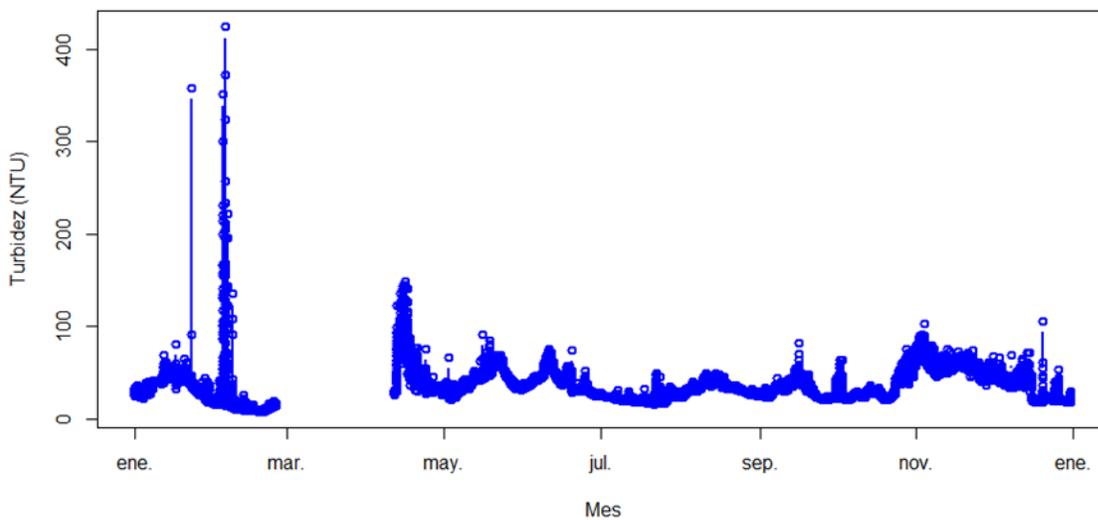


Figura 124: variación temporal de turbidez, año 2019.

Evaluando todo el periodo se registra un claro pico de turbidez con valores que sobrepasaron los 200 NTU entre el 4 y el 6 de febrero y otro pico con valores de menor magnitud, pero aún por encima de los 100 NTU, entre el 14 y el 17 de abril. En el periodo desde el 4 al 6 de febrero los valores superan los 100 NTU en un total de 44 medidas de las 216 registradas, ocurriendo de forma no consecutiva y provocando variaciones en el registro de valores desde un valor mínimo de 13 NTU hasta un máximo de 424 NTU en unas pocas horas. Esta dinámica de variación diaria podría considerarse como un comportamiento anómalo del sensor durante el pico de crecida del río de enero (ver figura 120). Más allá de esos periodos solo existen otros cuatro registros con valores puntuales superiores a los 100 NTU, que son el del día 23 de enero (un único valor de 358 NTU registrado a las 06:20 hrs), del día 8 de febrero (con dos valores superiores a 130 NTU) y el del día 20 de diciembre (también con un valor único de 105 NTU registrado a las 18:20 hrs). Estos cuatro últimos valores son considerados como valores anómalos, ya que en todos los casos son los únicos registros con valores elevados de cada uno de esos días, pudiendo ser producto -por ejemplo- de un error en la medición por presencia de alguna partícula u objeto interpuesto en la medida puntual. Es por esto por lo que estos registros puntualmente anómalos se omiten en la figura 125 que muestran los datos depurados para el parámetro turbidez y descarta aquellos que no serán abordados posteriormente en las conclusiones finales.

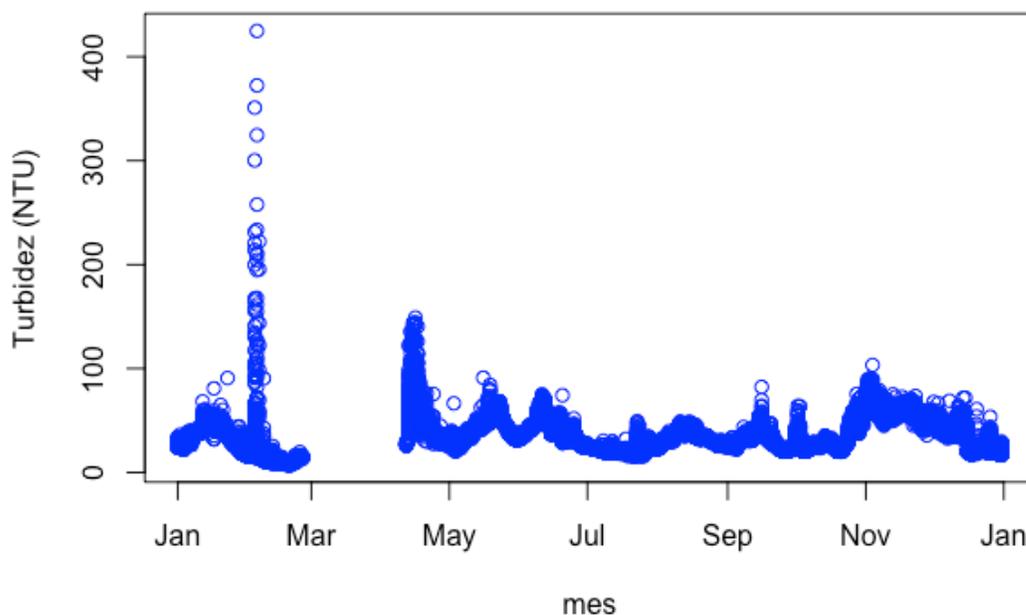


Figura 125: Registro depurado de turbidez, año 2019.

## **Oxígeno disuelto**

Los valores de oxígeno disuelto variaron entre un mínimo de 4,40 mg/L registrado el 7 de febrero y un máximo de 10,34 mg/L registrado el día 23 de julio. Todos los valores registrados por debajo del límite mínimo dispuesto por la normativa (5,6 mg/L, según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 4) ocurrieron en los meses de verano, cuando se tuvo 12 días con valores promedio diario de oxígeno disuelto por debajo del límite normativo (la línea roja punteada en la Figura 126).

Los incumplimientos arriba referidos se registraron durante siete días consecutivos desde el 27 de enero hasta el 2 de febrero, luego de lo cual los valores subieron por encima de los 5,6 mg/L establecidos como límite normativo durante los días 3 y 4 de febrero y volvieron posteriormente a caer a valores que representan un incumplimiento normativo por otros cinco días consecutivos más (desde el 5 al 9 de febrero). Finalmente, a partir del día 10 de febrero y hasta el fin del periodo los registros se mantuvieron en valores superiores al límite normativo. Ese período con bajos valores de oxígeno disuelto globalmente coincide temporalmente con la curva de recesión de niveles del río luego del evento de crecida que ocurrió hacia fines de enero, según puede apreciarse en la gráfica de evolución del nivel del río en Fray Bentos antes presentada (Figura 120).

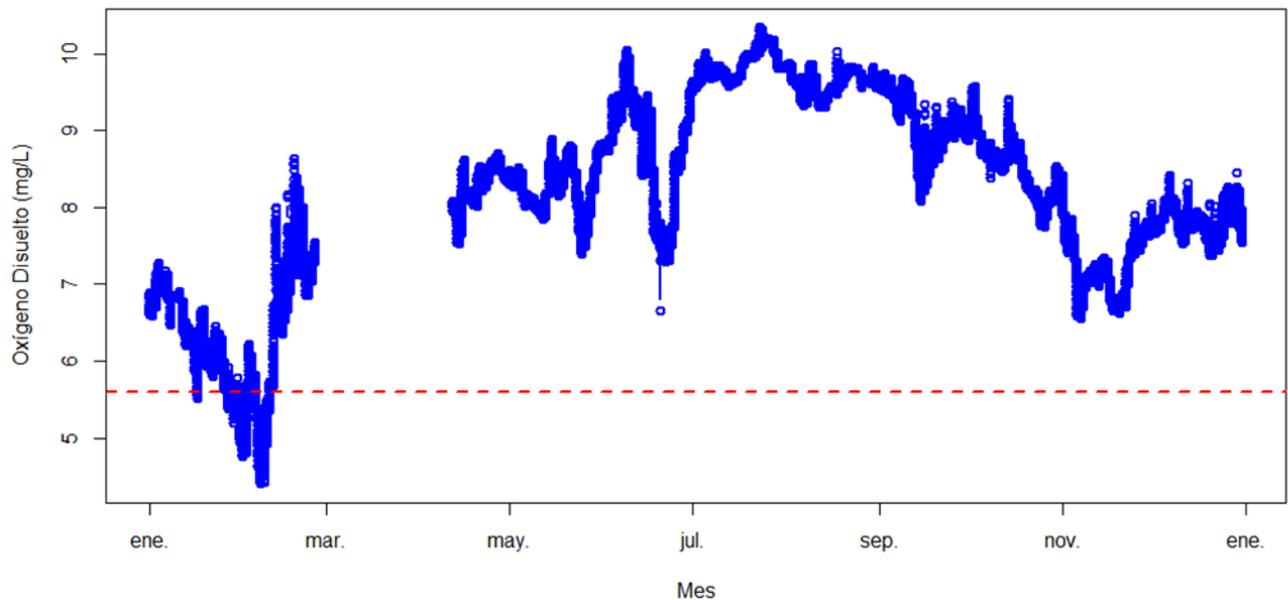


Figura 126: Evolución temporal de oxígeno disuelto, año 2019.

### 3.4.3. Comentarios finales sobre esta sección

La sonda instalada en la boya T7A registró con frecuencia de tres veces por hora los parámetros temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad y turbidez durante todo el año 2019, con las excepciones puntuales arriba detalladas, en la zona de influencia de la descarga de la desembocadura del río Gualeguaychú. Este registro continuo permite analizar la variabilidad en parámetros relevantes para la calidad de agua del río Uruguay en dicha zona, facilitando la comprensión sobre el efecto y posible impacto que la descarga del río Gualeguaychú genera sobre la calidad de agua del río Uruguay. En este contexto se mencionan a continuación los principales hallazgos del monitoreo realizado durante 2019 enfocados principalmente en los parámetros turbidez y oxígeno disuelto; el primero en tanto su origen está asociado a los materiales transportados por el río provenientes de las actividades agrícolas, industriales y urbanas que se desarrollan en la cuenca de drenaje, y el segundo en tanto puede muchas veces verse afectado por la carga de materia orgánica transportada por el río y por ser el único parámetro para el cual se han evidenciado incumplimientos normativos.

Durante los primeros días de febrero de 2019 se ha observado un claro pico de aumento de la turbidez con valores superiores a los 100 NTU, el cual ocurrió luego de un considerable aumento de nivel del río Uruguay en enero de ese año y durante un período con descarga del río Gualeguaychú también relativamente alta, pues en ocasión del muestreo realizado por el Comité Científico en la desembocadura del río Gualeguaychú el 30 de enero de 2019

(cuatro días antes del pico de turbidez en la boya T7A) se registró un caudal descargado de 308 m<sup>3</sup>/s en conjunto con una baja transparencia de Secchi (0,2 m) y un muy bajo valor de oxígeno disuelto (2,06 mg/L). Esto se debe además a las cuantiosas precipitaciones registradas en la cuenca del río Gualeguaychú, con un registro acumulado de 349 mm para enero y de 87mm para febrero en la estación meteorológica de Gualeguaychú.

Tales incrementos en la turbidez podrían, entre otros efectos, causar una disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto en el río. Por un lado, esto se puede deber a la reducción de la irradiación lumínica que penetra en el agua, causada por la mayor presencia de material en suspensión, ocasionando que los productores primarios dominantes (por ejemplo, algas planctónicas y bentónicas) vean limitada su actividad fotosintética y así la producción de oxígeno en la zona. Por otro lado, concomitantemente, la mayor carga de material en suspensión que da origen a los altos valores de turbidez también incluye carga de material orgánico, el cual puede favorecer el rápido desarrollo de comunidades microbianas que aportan significativamente al consumo de oxígeno en el ecosistema.

Precisamente, en sintonía con lo arriba expuesto, durante ese mismo periodo de fines de enero y primeros días de febrero (27/01 al 09/02) se han registrado valores de oxígeno disuelto que resultan en incumplimientos normativos para doce de esos días. La condición contemporánea de alto caudal, elevada turbidez y muy baja concentración de oxígeno disuelto en el río Gualeguaychú (308 m<sup>3</sup>/s, 0,2 m de Secchi y 2,06 mg/L registrados por el Comité Científico en el ingreso del 30 de enero de 2019, en el marco del monitoreo del propio río Gualeguaychú) podría interpretarse que contribuye a los bajos niveles de oxígeno registrados en el río Uruguay (y a los consecuentes incumplimientos normativos).

Esos bajos niveles de concentración de oxígeno disuelto registrados en el río Uruguay en la zona de influencia de la descarga del río Gualeguaychú (entre 4,4 y 5,59 mg/L) pueden conllevar condiciones de hipoxia y consecuente riesgo para las comunidades de peces e invertebrados que habitan dicha zona. La revisión de diversos estudios sobre riesgo a las comunidades de peces en base a datos disponibles a nivel global sugiere que, para sostener la biodiversidad, las concentraciones de oxígeno no deberían nunca ser menores a 5 mg/L (Franklin 2014), siendo los valores de oxígeno por debajo de 3 mg por litro letales para algunas especies de peces (Landman et al., 2005; Franklin, 2014)<sup>1</sup>. No obstante, esta pauta general debe tomarse con precaución en tanto la sensibilidad de los peces ante condiciones de hipoxia es altamente variable entre especies y entre estadios de desarrollo (siendo más críticos en embriones y larvas), y además los estudios disponibles sobre efectos de la hipoxia fueron hechos para otras regiones biogeográficas careciendo de estudios específicos para las especies de peces del río Uruguay. Corresponde asimismo hacer notar que los valores

---

<sup>1</sup> Michael J. Landman, Michael R. Van Den Heuvel & Nicholas Ling (2005) Relative sensitivities of common freshwater fish and invertebrates to acute hypoxia, 39:5, 1061-1067, DOI: 10.1080/00288330.2005.9517375

PA Franklin (2014) Dissolved oxygen criteria for freshwater fish in New Zealand: a revised approach, New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 48:1, 112-126, DOI: 10.1080/00288330.2013.827123

no han bajado de los 3 mg/l y que no se constataron fenómenos de mortandad de peces en la zona durante el período informado.

Finalmente cabe mencionar que los hallazgos de incumplimiento normativo de oxígeno disuelto en el río Uruguay en esta zona han sido registrados anteriormente en el marco de otros monitoreos previos en la zona. Es de destacar, sin embargo, que la resolución de registro del presente programa de monitoreo (horario) permite comprender de mejor forma la dinámica de esta potencial problemática, así como sus principales desencadenantes, permitiendo evaluar en mayor detalle su evolución temporal a futuro.

### **3.5. CONCLUSIONES DE LA MATRIZ AGUA**

A partir de la implementación de esta actividad de monitoreo reformulada se abordaron múltiples dimensiones (espaciales, temporales, matriciales y paramétricas) que posibilitan la interpretación de los efectos ambientales como consecuencia del ingreso al sistema de la descarga del río Gualeguaychú. En lo que refiere específicamente a la matriz agua, el diseño de la actividad busca identificar instancias en las que se observan cambios en el sistema, parámetros específicos que indican estas ocurrencias, magnitudes de los efectos y también explorar el comportamiento de estos aportes en zonas próximas a la desembocadura del río Gualeguaychú que reciben en mayor o menor medida las aguas provenientes de este último.

A partir del análisis de los resultados obtenidos para la matriz agua se observa inicialmente que en la zona objeto de estudio resulta evidente la existencia de un sitio que difiere sustantivamente de los demás en términos de calidad de sus aguas. En efecto el sitio G3 presenta sistemáticamente una menor transparencia y mayores valores de conductividad, turbidez y alcalinidad que los restantes sitios y a su vez las concentraciones de un subgrupo de 26 parámetros son también sistemáticamente más altas. Esta particularidad es pertinente tenerla presente al momento de analizar las diferencias significativas identificadas entre las diferentes zonas estudiadas.

Para el periodo abarcado en el presente informe, se observaron diferencias significativas para 34 de los parámetros de calidad de agua medidos entre la zona Referencia (conformada por G1 y G6) y alguna de las zonas objeto de estudio: zona Cercana a desembocadura (conformada por G3 y G4) y zona Lejana a desembocadura (conformada por G2 y G5).

Por una parte en 27 de los parámetros medidos (alcalinidad, aluminio, AOX, arsénico, azufre, bario, boro, calcio, cloruro, cobalto, carbono orgánico total y disuelto, cromo, DQO, dureza, estroncio, fluoruro, fósforo, litio, molibdeno, plomo, potasio, silicio, sodio, uranio, vanadio y zinc) se registraron valores en la zona Cercana a desembocadura

significativamente mayores a los de la zona Referencia, pero sin mostrar diferencias significativas con los valores obtenidos en zona Lejana a desembocadura. Esto sería indicativo de que la presencia de la descarga del río Gualeguaychú se vio reflejada en la zona Cercana a la desembocadura, aunque de forma tal que en la zona Lejana ya la condición del curso de agua para esos parámetros resultó intermedia entre las condiciones de la zona Referencia y la zona Cercana a desembocadura, no alcanzando a diferir significativamente de la de ninguna de las otras dos zonas.

Por otra parte, en 4 de los parámetros medidos (amoníaco, antimonio, níquel y ortofosfato) los valores de la zona Cercana a desembocadura resultaron significativamente mayores a los observados en la zona Referencia y también a los de la zona Lejana a desembocadura, aunque estas dos últimas presentaron una caracterización similar entre ellas. Ello refleja que el efecto más notorio de la presencia de los aportes de la desembocadura del río Gualeguaychú se observó sobre estos cuatro parámetros, pero que la magnitud de la afectación fue tal que en la zona Lejana a desembocadura ya el curso de agua no se diferencia de la zona Referencia.

Además de los parámetros arriba mencionados, hubo 3 parámetros que presentaron otros patrones de diferencias significativas entre las zonas de estudio. El manganeso resultó con valores significativamente menores en la zona Referencia con respecto a las zonas Cercana y Lejana a desembocadura, lo que indica un efecto notorio y extendido para ese parámetro de la descarga del río Gualeguaychú sobre esas zonas; y el nitrato y la suma nitrato+nitrato resultaron significativamente más elevados en la zona Referencia que en la zona Lejana a desembocadura, con un gradiente aparente en la evolución desde la zona Referencia hacia la zona Lejana pasando con valores intermedios entre ambos por la zona Cercana a desembocadura.

En relación a la agrupación realizada de los seis sitios de muestreo en las tres zonas de estudio, corresponde hacer notar que ello resultó en una variabilidad importante en los valores de los parámetros de calidad de agua dentro de cada zona de estudio, siendo esto particularmente apreciable para la zona Cercana a desembocadura (conformada con los sitios G3 y G4). En esta zona Cercana, en 31 de los casos en los que los resultados de los parámetros medidos son significativamente mayores que los de la zona Referencia ello se debe mayoritariamente a los elevados valores del sitio G3.

La antedicha particularidad en relación al sitio G3 hace que cualquier agrupación de sitios que se realice a los fines del análisis estadístico (necesaria, en tanto la cantidad de información disponible no permite aún comparar con robustez los sitios de manera independiente) resulte a priori presumiblemente influenciada por la decisión de la zona como parte de la cual se considere a ese sitio. El sitio G3 se encuentra ubicado en una bahía donde las condiciones del flujo de agua son más lentas, lo que a su vez genera una zona propicia para la sedimentación de la carga de finos que accede hasta ese lugar, y donde el tiempo de residencia de las descargas que hasta allí llegan se incrementa sensiblemente en

particular cuando las condiciones de nivel del río Uruguay restringen la libre descarga del río Gualeguaychú. La asignación del sitio G3 a la zona Cercana a desembocadura hace que aumenten los valores promedio de esa zona pero también la variabilidad dentro de ella, con lo cual la incidencia que ello puede tener en la significancia de las diferencias analizadas entre las diferentes zonas no es trivial.

La instalación de una boya equipada con sonda multiparamétrica ha permitido registrar de forma continua la evolución temporal de cinco parámetros de calidad de agua en la zona de influencia de la desembocadura del río Gualeguaychú (temperatura, conductividad, pH, turbidez y oxígeno disuelto), los cuales reflejan en gran parte la dinámica hidrológica de la zona, por ejemplo, registrando picos máximos de turbidez y mínimos de oxígeno disuelto y conductividad en períodos de crecida del río Uruguay en el verano de 2019. Además, ha permitido también analizar en una escala temporal más fina la ocurrencia de episodios en los que ocurren incumplimientos normativos de parámetros de calidad de aguas, como los que seguidamente se detallan.

En las muestras discretas de agua obtenidas durante el período aquí informado se ha registrado incumplimiento de lo normado en el Digesto de CARU vigente a la fecha del monitoreo para cuatro parámetros: oxígeno disuelto, pH, hierro y manganeso. Los incumplimientos en oxígeno disuelto fueron registrados tanto en el muestreo correspondiente al mes de enero, con valores inferiores al límite normativo para oxígeno disuelto en todos los sitios (a excepción de G6, Referencia), como por la boya equipada con sonda multiparamétrica, que midió en el registro continuo valores inferiores al límite durante un periodo total de 12 días (primero entre el 27 de enero y el 2 de febrero y luego entre los días 5 y 9 de febrero de 2019). También durante el muestreo discreto desarrollado en el mes de enero se observaron incumplimientos de los estándares para pH en todos los sitios de estudio, aunque en este caso no se registraron incumplimientos con la sonda multiparamétrica de registro continuo instalada en la boya. Estos incumplimientos, tanto en oxígeno disuelto como en pH, se han constatado en periodos con gran caudal circulante (tanto por el río Uruguay como por el río Gualeguaychú) y muy alta turbidez, con lo cual resulta esperable que esa menor concentración de oxígeno pueda -al menos en parte- corresponder a tales condiciones, en las que una menor penetración de la luz (por la alta turbidez) afecta la producción de oxígeno por parte de los productores y a su vez la alta disponibilidad de materia orgánica potencia comunidades microbianas consumidoras de oxígeno.

Se observaron incumplimientos del parámetro hierro para todos los sitios de estudio durante los meses de enero y abril, y en el mes de julio los valores resultaron por encima del estándar establecido para todos los sitios a excepción del sitio G4 (Cercano a desembocadura). Cabe destacar que el hierro es un metal de ocurrencia natural en la cuenca, por lo que no resultan anómalos los valores observados respecto a la condición

general del río Uruguay. Adicionalmente, se observó un incumplimiento respecto a manganeso en el sitio G2 (Lejano a desembocadura) en el mes de abril.

El análisis multivariado realizado, incluyendo tanto lo observado en los análisis de componentes principales como en el análisis de agrupamiento realizado en forma descriptiva y exploratoria, permite extraer algunas conclusiones relevantes en cuanto a lo que es la dinámica de la zona de estudio y en cuanto a la adecuación que tiene la agrupación de sitios adoptada para el análisis estadístico de los datos. A continuación, se profundiza en estos aspectos.

Por una parte, resultó acertado agrupar los sitios G1 y G6, dado que -incluso a pesar de la distancia río abajo existente entre uno y otro sitio- los valores allí medidos presentaron menor variabilidad entre sí que con cualquier otro de los demás sitios muestreados. Adicionalmente, el hecho que ambos sitios se encuentren dispuestos sobre el canal principal del río Uruguay genera que las condiciones determinadas en uno y otro sitio se comporten de forma similar aún en escenarios de bajo caudal (validando así la utilización de los sitios G1 y G6 como una condición de referencia del río Uruguay). Por otra parte, en la caracterización por separado de la zona Cercana a desembocadura y la zona Lejana a desembocadura, los resultados obtenidos mostraron que los sitios G3 y G4 no han resultado consistentemente similares en cuanto a la composición de su calidad de agua y además no parecen existir diferencias consistentes para las distintas situaciones muestreadas entre los sitios G4, G2 y G5.

A partir de este análisis se observa que el sitio G3 tiene una condición marcadamente distinta en las condiciones observadas respecto a los restantes sitios de monitoreo, siendo que los sitios G2, G4 y G5 presentaron comportamientos cambiantes en función de las condiciones de caudal del río Uruguay, mientras que los sitios ubicados en el canal principal del río Uruguay (G1 y G6) siempre se ubicaron agrupados de manera conjunta. En efecto, el caudal circulante en el río Uruguay pareciera tener una influencia determinante en la condición observada en los sitios incluidos en las zonas Cercana y Lejana a la desembocadura del río Gualeguaychú, siendo que en los meses donde se observaron los mayores caudales (enero y julio) todos los sitios presentaron condiciones similares a las observadas en el canal principal del río Uruguay (excepción hecha para el sitio G3), mientras que en los meses en los que se registraron caudales del río Uruguay más bajos, algunos de estos sitios presentaron condiciones más similares a las detectadas en el sitio G3.

Se concluye de lo anterior que en el sitio G3 prima un comportamiento particular respecto a la condición del agua en ese lugar, probablemente como resultante de las condiciones que tiene la bahía donde el mismo queda ubicado, la cual tiene un comportamiento más léntico que las restantes áreas del río. Por otro lado, también se concluye que en escenarios de caudales más altos todos los restantes sitios analizados presentan condiciones de calidad de agua similares a los observados en el canal principal del río Uruguay, mientras que al

decrecer los caudales del río Uruguay surgen condiciones que posibilitan identificar las condiciones particulares del río Gualeguaychú en su ingreso al río Uruguay.

No obstante, es importante notar que las conclusiones aquí presentadas refieren sólo a cuatro instancias de monitoreo, por lo que será de relevancia profundizar estos análisis con la reiteración sucesiva de la actividad de monitoreo incorporando análisis en una mayor cantidad de condiciones del sistema.

Los otros resultados de los análisis univariados y multivariados presentados en esta sección avalan lo expuesto precedentemente, siendo que en efecto en el sitio G3 se observaron condiciones paramétricas disímiles respecto a todos los sitios restantes en la zona de estudio, incluyendo una menor transparencia y mayores valores de conductividad, turbidez, alcalinidad y concentración de una gran cantidad de los analitos determinados (aluminio, amoníaco, antimonio, AOX, arsénico, bario, berilio, bromuro, calcio, circonio, cloruro, cobalto, cromo, DQO, dureza, estroncio, fluoruro, fósforo, litio, ortofosfato, plomo, silicio, sólidos totales, talio, torio y zinc), con algunos otros analitos que siguen ese mismo patrón aunque presentando excepciones (atrazina, azufre, boro, cadmio, carbono orgánico total, hierro, magnesio, manganeso, molibdeno, níquel, potasio, sodio, sulfato, titanio, uranio y vanadio).

La definición de las zonas de estudio, y consecuentemente los análisis realizados a partir de ellas, incide en la cuantificación de la significancia de las diferencias analizadas entre las distintas zonas. Por ello, en caso de ser posible a futuro analizar cada sitio por separado, con un análisis estadístico diferente al realizado en ocasión del presente informe en la medida que la información acumulada en la base de datos así lo permita, se podrá mejorar considerablemente la interpretación y el análisis más detallado de los patrones de mezcla y dilución de las descargas del río Gualeguaychú en el río Uruguay.

## CAPÍTULO IV: MATRIZ SEDIMENTO

### 4.1. METODOLOGÍA ESPECÍFICA

La matriz sedimentos se estudió con una frecuencia semestral, siendo el primer monitoreo de esta matriz realizado en el mes de abril de 2019, completando el segundo muestreo del año en el mes de octubre de 2019. En la zona de potencial influencia de la desembocadura del río Gualeguaychú en el río Uruguay se ubicaron tres sitios de muestreo para la extracción de sedimentos, uno aguas arriba de la desembocadura del río Gualeguaychú (Referencia, GByS1) otro agua debajo de la mencionada desembocadura (Cercano a la desembocadura, GByS2) y un tercero más alejada (Lejano a la desembocadura, GByS3, Figura 1).

Las muestras se extrajeron con draga Van Veen, modelo Fisalia mediana, de 15,8 kg de peso y una dimensión de área muestral de 20,4 cm x 25,3 cm; construida en material inoxidable AISI 304 con plomo confinado. Los sedimentos buscados en el muestreo fueron aquellos finos, preferentemente de arena muy fina o de granulometrías inferiores.

En cada sitio de muestreo se tomaron mediciones in situ con sonda multiparamétrica marca YSI, modelo EXO<sub>2</sub> con sensores para la medición de pH, conductividad/temperatura, oxígeno disuelto (OD), turbidez y clorofila. Se determinó además la transparencia con disco de Secchi y profundidad total y coordenadas de trabajo con ecosonda.

Las muestras fueron fraccionadas y acondicionadas en campo y, en caso de ser necesario, se agregó conservante. Posteriormente fueron almacenadas en frío y oscuridad en conservadoras de campo, las que fueron adecuadamente precintadas hasta su arribo al laboratorio del Comité Científico (LCC), desde donde fueron enviadas a su laboratorio de destino con las correspondientes cadenas de custodia y órdenes de compra.

Los laboratorios utilizados para esta actividad de monitoreo fueron:

- Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU), Uruguay.
- Laboratorio Instituto Nacional del Agua (INA), Argentina.

### Parámetros

A continuación, se detalla los parámetros analizados, reportando los laboratorios analíticos los límites de detección y cuantificación de cada una de las técnicas:

*Parámetros analizados en la matriz sedimento.*

Laboratorio	Parámetro	LD	LC
In situ	Profundidad total (cm)	-	1
In situ	Transparencia (cm)	-	1

In situ	Temperatura (°C)	-	0,001
In situ	Conductividad (µS/cm)	-	0,0001
In situ	pH (unidades de pH)	-	0,01
In situ	OD (mg/L)	-	0,01
In situ	Turbidez (FNU)	-	0,01
In situ	Clorofila (µg/L)	-	0,01
In situ	pH sedimento (unidades de pH)	-	0,01
INA	Cromo (mg Cr/kg)	10,0	30,0
INA	Níquel (mg Ni/kg)	5,00	15,00
INA	Naftaleno (PAH) (µg/kg)	354	1062
INA	Acenaftileno (PAH) (µg/kg)	54	163
INA	Acenafteno (PAH) (µg/kg)	43	129
INA	Fluoreno (PAH) (µg/kg)	58	174
INA	Fenantreno (PAH) (µg/kg)	23	68
INA	Antraceno (PAH) (µg/kg)	41	124
INA	Fluoranteno (PAH) (µg/kg)	54	163
INA	Pireno (PAH) (µg/kg)	45	135
INA	Benzo(a)antraceno (PAH) (µg/kg)	35	105
INA	Criseno (PAH) (µg/kg)	38	115
INA	Benzo(b)fluoranteno (PAH) (µg/kg)	44	131
INA	Benzo(k)fluoranteno (PAH) (µg/kg)	96	287
INA	Benzo(a)pireno(PAH) (µg/kg)	61	182
INA	Indenol(1,2,3-cd)pireno (PAH) (µg/kg)	248	744
INA	Dibenzo(a,h)antraceno (PAH) (µg/kg)	270	810
INA	Benzo(g,h,i) perileno (PAH) (µg/kg)	270	810
INA	Aroclor 1016 (PCB) (µg/kg)	149	-
INA	Aroclor 1221(PCB) (µg/kg)	58	-
INA	Aroclor 1232(PCB) (µg/kg)	100	-
INA	Aroclor 1242(PCB) (µg/kg)	264	-
INA	Aroclor 1248(PCB) (µg/kg)	131	-
INA	Aroclor 1254(PCB) (µg/kg)	48	-
INA	Aroclor 1260(PCB) (µg/kg)	91	-
LATU	EOX (como Cl) (µg/g)	4	14
LATU	COT (como C) (g/kg)	0,05	0,1
LATU	Fósforo como P (bs) (mg/kg)	1	3
LATU	Granulometría	-	-
LATU	Materia orgánica	0,1	-

### Sitios de muestreo de la matriz sedimento

Los sitios de muestreo utilizados respondieron a las coordenadas teóricas presentadas en el apartado 2.2. La localización exacta fue ajustada en campo acorde a la disponibilidad de sedimento fino en la zona, por ser este último el objeto de interés de este monitoreo. En la figura a continuación se ilustran los sitios de monitoreo para la matriz sedimento.

### Granulometría y corrección granulométrica

La granulometría se dividió en: Grava, arena muy gruesa, arena gruesa, arena mediana, arena fina, arena muy fina, limo y arcilla, siguiendo los rangos establecidos en la escala USDA. Se detallan en la tabla a continuación las categorías y granulometrías aplicadas:

*Categorías granulométricas.*

CATEGORÍA		RANGO DE TAMAÑO (mm)
<b>Grava</b>		>2,0
<b>Arena</b>	Muy gruesa	1,0-2,0
	Gruesa	0,50-1,0
	Media	0,25-0,50
	Fina	0,10-0,25
	Muy fina	0,05-0,10
<b>Limo</b>		0,002-0,05
<b>Arcilla</b>		<0,002

Dado su retención en las fracciones más finas del sedimento, para los compuestos orgánicos se reportan los valores de concentración obtenidos por masa total de la muestra seca y también relativos al porcentaje de material de granulometría fina en la muestra, cotejándolos con los niveles establecidos en normativas de referencia internacional (debido a que la normativa CARU vigente al momento de estos muestreos no contempla la matriz sedimento).

## 4.2. RESULTADOS DE LAS DETERMINACIONES DE CAMPO

### Parámetros en agua

Durante el desarrollo de las actividades se registraron parámetros in situ en agua para cada punto de muestreo. Se detallan en las tablas subsiguientes las condiciones mencionadas para cada una de las instancias de monitoreo.

*Condiciones in situ en agua durante la instancia de muestreo de abril.*

	Referencia	Cercano a desembocadura	Lejano a desembocadura
<b>Fecha de muestreo</b>	29/04/2019	29/04/2019	29/04/2019
<b>Profundidad total (m)</b>	0,6	0,7	0,7
<b>Temperatura (°C)</b>	19,32	19,42	19,29
<b>Conductividad (µS/cm)</b>	66	110,1	117,7
<b>Transparencia (m)</b>	0,5	0,2	0,3
<b>pH</b>	7,45	7,59	7
<b>Oxígeno disuelto (mg/L)</b>	8,55	8,58	6,79

*Condiciones in situ en agua durante la instancia de muestreo de octubre.*

	Referencia	Cercano a desembocadura	Lejano a desembocadura
<b>Fecha de muestreo</b>	14/10/2019	14/10/2019	14/10/2019
<b>Profundidad total (m)</b>	1,5	0,9	0,5
<b>Temperatura (°C)</b>	17,93	16,19	16,07
<b>Conductividad (µS/cm)</b>	75,9	158,5	169
<b>Transparencia (m)</b>	0,4	0,2	0,2
<b>pH</b>	7,44	7,78	7,49
<b>Oxígeno disuelto (mg/L)</b>	8,65	9,39	8,64

### 4.2.1. Parámetros de detección frecuente

#### Granulometría

Se presentan a continuación las curvas granulométricas de las muestras extraídas en cada uno de los sitios de muestreo en las campañas reportadas en el presente informe. El sitio Referencia se encuentra caracterizado por una predominancia de arenas finas y muy finas, sin presencia de arcillas y con una fracción porcentualmente menor de limos (Figura 127). Las muestras obtenidas en este sitio durante el muestreo de abril presentaron proporciones

mayores de limo respecto que las muestras obtenidas en el mismo sitio durante el mes de octubre.

Las muestras obtenidas en el sitio Cercano a desembocadura presentaron una alta variación respecto a la composición granulométrica y en función del mes de muestreo, observándose que la muestra colectada en el mes de abril se caracterizó por una predominancia marcada de arenas finas y medianas, mientras que la muestra colectada en el mes de octubre presentó una granulometría caracterizada por una predominancia de limos seguido por arenas muy finas y finas. En ninguna de estas instancias se observaron presencias de arcillas en las muestras de sedimento (Figura 128).

También se observaron composiciones variables respecto a la granulometría del sedimento en el sitio Lejano a desembocadura, siendo que las muestras obtenidas durante el mes de abril resultaron comparativamente más finas (compuesto por arenas finas, pero con proporciones considerables de las fracciones limo, arena muy fina y arena mediana), mientras que la fracción mayoritaria de la muestra de sedimento obtenida en octubre fue de arenas finas y medianas, con proporciones muy bajas de limo (Figura 129).

*Porcentajes de granulometría fina en sedimento.*

Sitio	Fracción de granulometría fina (%)	
	04/2019	10/2019
Referencia	44,2	23
Cercano a desembocadura	10,6	63
Lejano a desembocadura	48,3	8

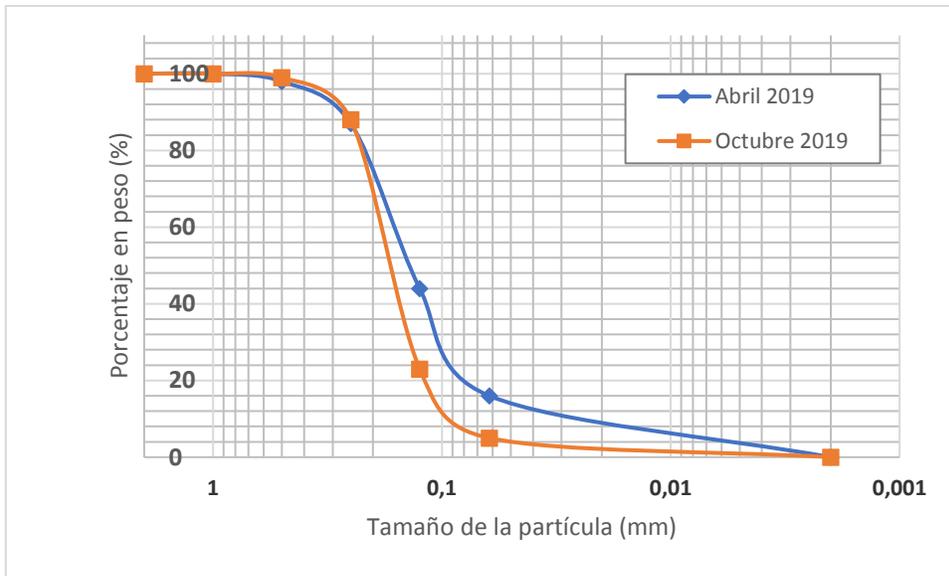


Figura 127: Granulometría de sedimento en el sitio Referencia.

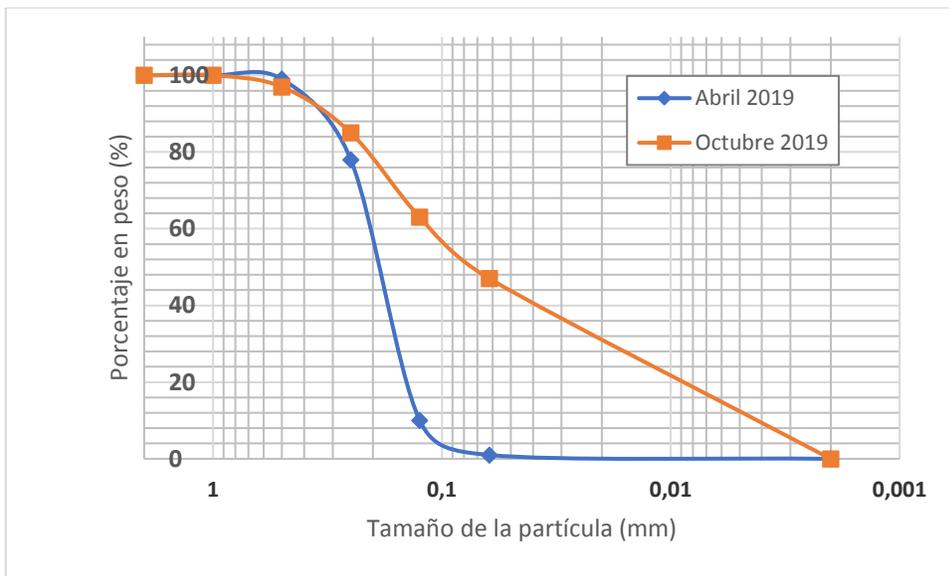


Figura 128: Granulometría de sedimento en el sitio Cercano a desembocadura.

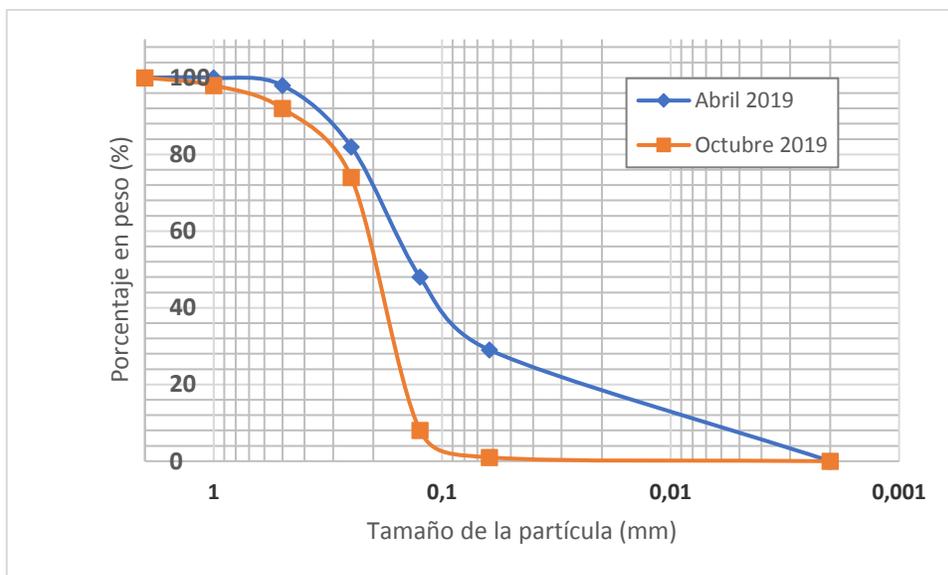


Figura 129: Granulometría de sedimento en el sitio Lejano a desembocadura.

### **Carbono orgánico total**

Los valores de carbono orgánico total en el sedimento de la zona de influencia resultaron en una media de 13,8 mg/Kg, siendo que el valor máximo fue 33,8 mg/Kg y corresponde al sitio Lejano a desembocadura (GByS3) en el mes de abril. La concentración mínima de carbono orgánico total resultó 2,6 mg/Kg y se observó en el sitio Cercano a desembocadura (GByS2) durante el mes de abril.

Debido a las menores proporciones de fracciones finas observadas en el mes de octubre en el sitio Lejano a desembocadura, la corrección granulométrica realizada para carbono orgánico total en sedimento resultó en la concentración más alta del periodo informado (98,8 mg/Kg, Figura 130).

*Valores de carbono orgánico total.*

Sitio	Resultado (mg/Kg)		Corrección fracción fina (mg/Kg)	
	abr-19	oct-19	abr-19	oct-19
Referencia	13,2	4	29,9	17,4
Cercano a desembocadura	2,6	21,2	24,9	33,7
Lejano a desembocadura	33,8	7,9	70,0	98,8

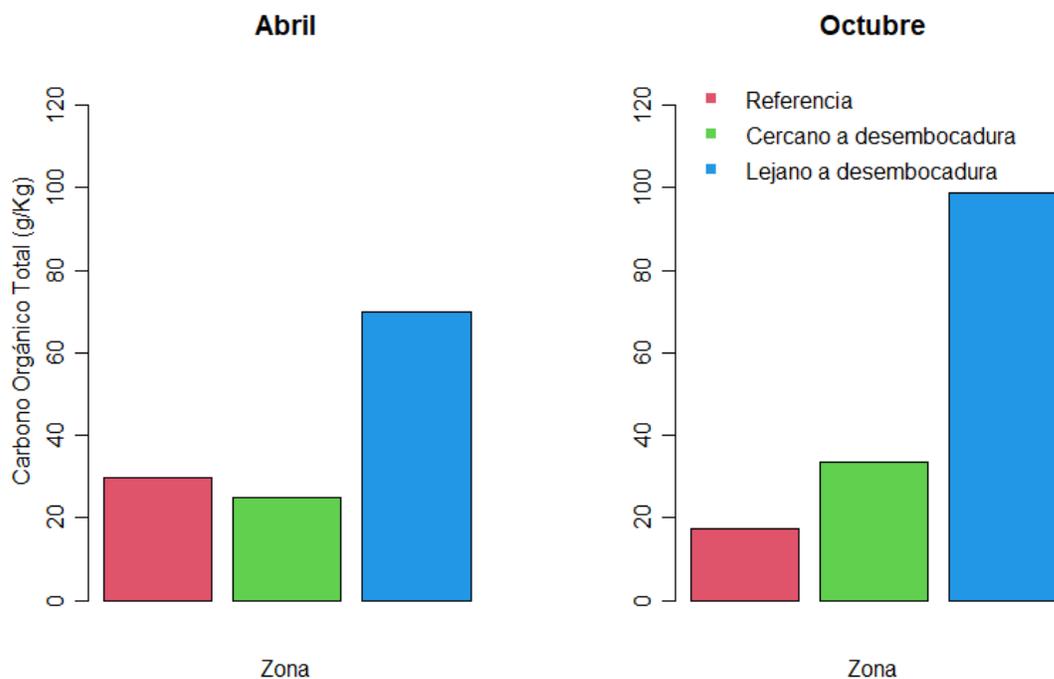


Figura 130: Valores de carbono orgánico total corregidos por granulometría.

### Cromo

La única determinación de cromo por encima del límite de detección fue 36 mg/Kg observada en el sitio Referencia en abril de 2019 (Figura 131).

Al momento del desarrollo de la actividad el parámetro cromo en sedimento no se encontraba contemplado en la normativa de aplicación de CARU y la normativa de referencia internacional utilizada por el Comité en otros casos establece un estándar de 37,2 mg/Kg para este parámetro. Por ello es posible afirmar que no se registran incumplimientos normativos para cromo en sedimento en este periodo de estudio.

Valores de cromo.

Sitio	Resultado (mg/Kg)	
	abr-19	oct-19
Referencia	36	< 30

Cercano a desembocadura	< 30	< 30
Lejano a desembocadura	< 30	< 10

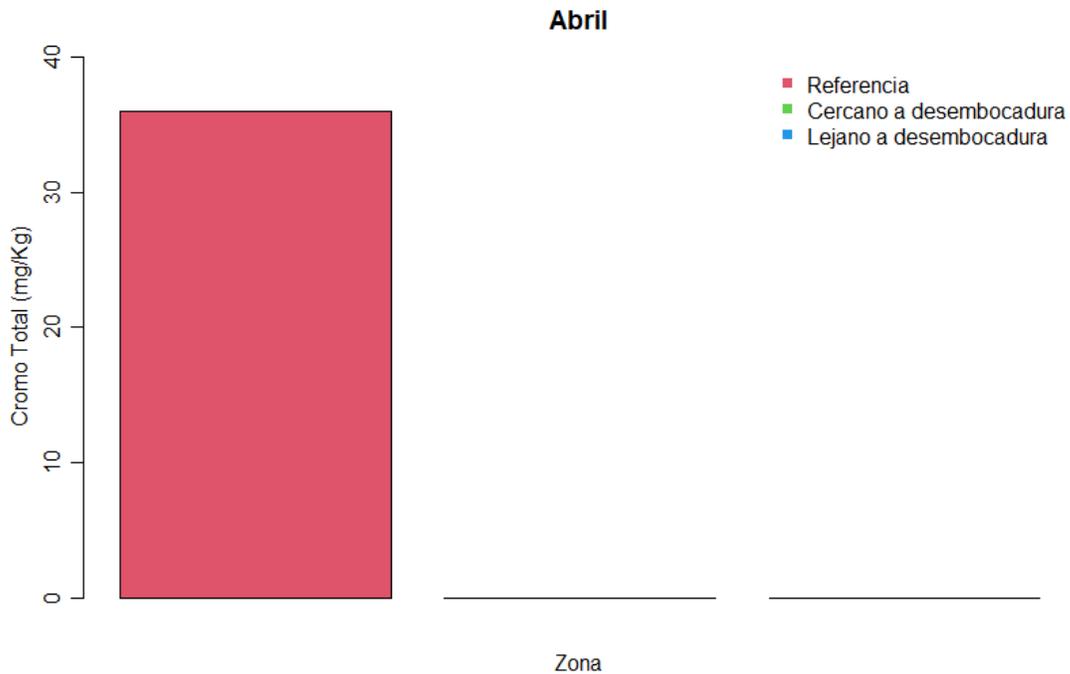


Figura 131: Variación espacial de cromo. Nota: En esta figura los valores por debajo del límite de detección se grafican como 0.

### **Fósforo total**

Sólo se registran valores válidos respecto al fósforo total para las determinaciones realizadas durante el mes de abril de 2019, donde el valor máximo fue 329 mg/Kg y corresponde al sitio Referencia durante el mes de abril, y el valor mínimo fue 223 mg/Kg, registrado en el sitio Lejano a desembocadura. La media de estas determinaciones resultó 260 mg/Kg.

Como consecuencia de la menor proporción de las fracciones más finas observada en el sitio Cercano a desembocadura durante el mes de abril, la corrección realizada para fósforo total resulta en la estimación más elevada (2151 mg/Kg, Figura 132).

Valores de fósforo total.

Sitio	Resultado (mg/Kg)		Corrección fracción fina (mg/Kg)	
	abr-19	oct-19	abr-19	oct-19
Referencia	329	s/d	744,4	s/d
Cercano a desembocadura	228	s/d	2151,0	s/d
Lejano a desembocadura	223	s/d	461,7	s/d

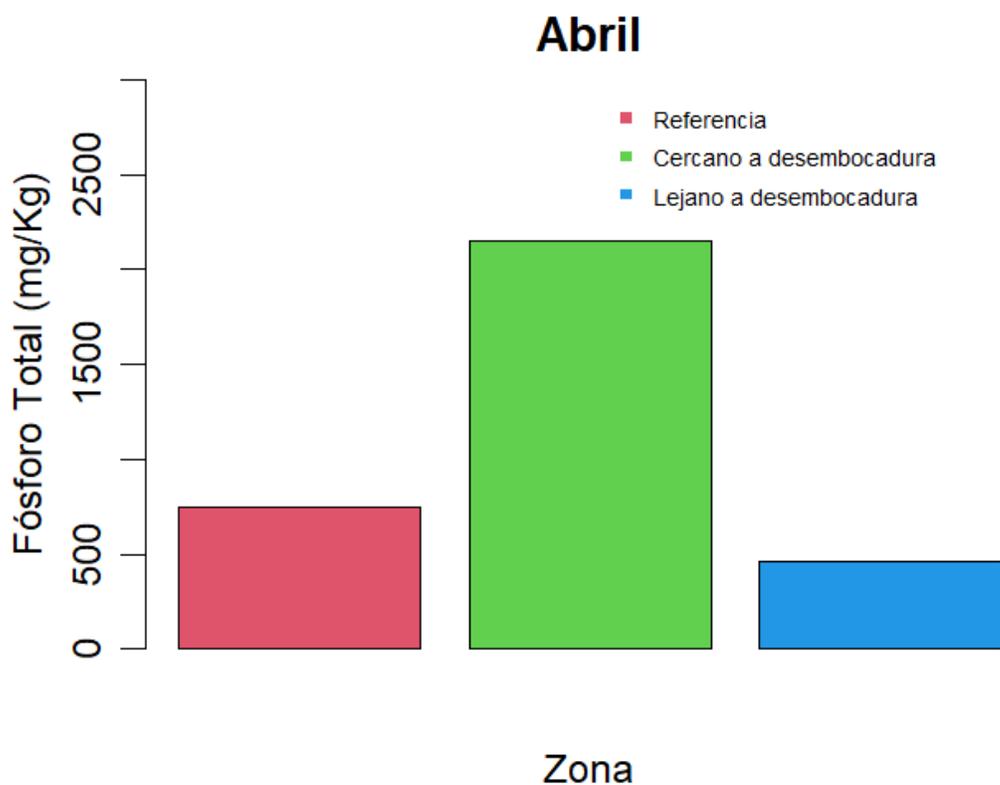


Figura 132: Valores de fósforo total corregidos por granulometría.

### **Materia orgánica en base húmeda**

Sólo se cuentan con determinaciones válidas respecto a la materia orgánica en base húmeda para el mes de octubre, donde se observó una media de 1,9 g/100 g. El valor máximo resultó 3 g/100 g y corresponde al sitio Cercano a desembocadura, mientras que el valor mínimo para este parámetro fue 1,1 g/100 g correspondiente al sitio Referencia.

En el mes de octubre sólo un 8% de la muestra obtenida en el sitio Lejano a desembocadura corresponde a las fracciones más finas, lo cual incidió en que se observe el valor máximo observado para las correcciones granulométricas de este parámetro (21,3 g/100 g de materia orgánica en base húmeda, Figura 133).

*Valores de materia orgánica en base húmeda.*

Sitio	Resultado (g/100 g)		Corrección fracción fina (g/100 g)	
	abr-19	oct-19	abr-19	oct-19
Referencia	s/d	1,1	s/d	4,8
Cercano a desembocadura	s/d	3	s/d	4,8
Lejano a desembocadura	s/d	1,7	s/d	21,3

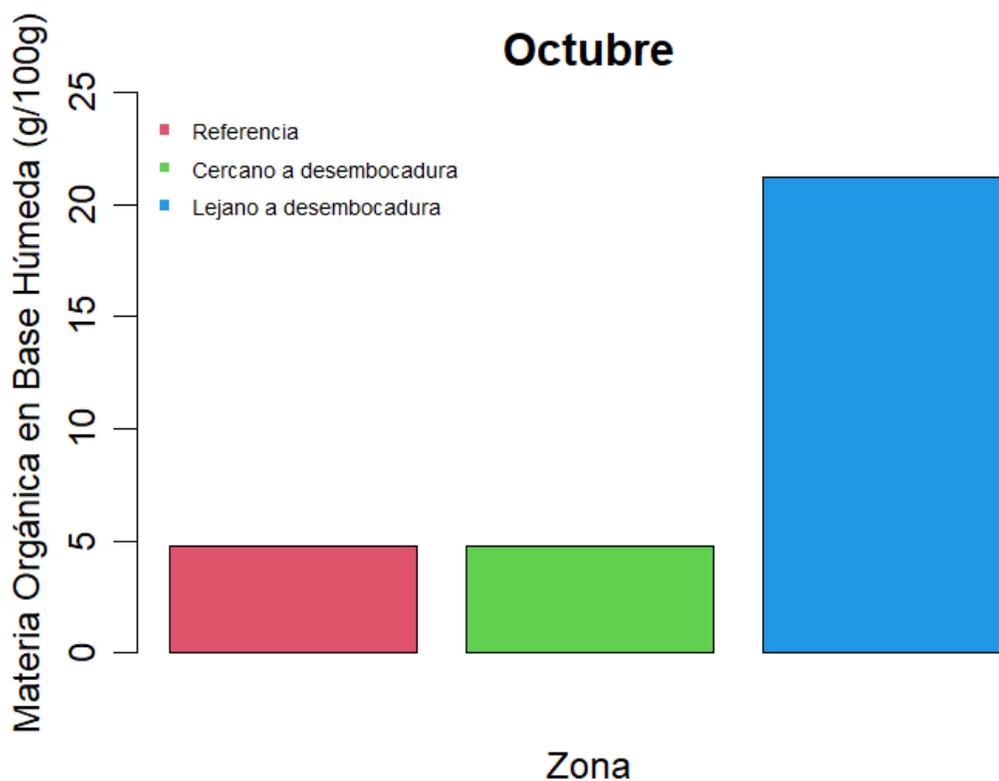


Figura 133: Valores de materia orgánica en base húmeda corregidos por granulometría.

### **Materia orgánica en base seca**

Al igual que en el apartado precedente, se reportan datos válidos respecto a la materia orgánica en base seca sólo para el mes de octubre, donde el valor máximo resultó 7,8 g/100 g y fue observado en el sitio Cercano a desembocadura. Por el contrario, el valor mínimo se observó en el sitio Referencia y fue 1,6 g/100 g). El valor medio de estas tres determinaciones es 4 g/100 g.

También en concordancia con lo reportado en el apartado anterior, la corrección de los valores de materia orgánica en base seca en función de la granulometría del sedimento resultó en un valor máximo de 32,5 g/100 g en el sitio Lejano a desembocadura, también influenciado por la menor fracción más fina del sedimento observada en este sitio (Figura 134).

*Valores de materia orgánica en base seca.*

<b>Sitio</b>	<b>Resultado (mg/Kg)</b>		<b>Corrección fracción fina (mg/Kg)</b>	
	<b>abr-19</b>	<b>oct-19</b>	<b>abr-19</b>	<b>oct-19</b>
Referencia	s/d	1,6	s/d	7,0
Cercano a desembocadura	s/d	7,8	s/d	12,4
Lejano a desembocadura	s/d	2,6	s/d	32,5

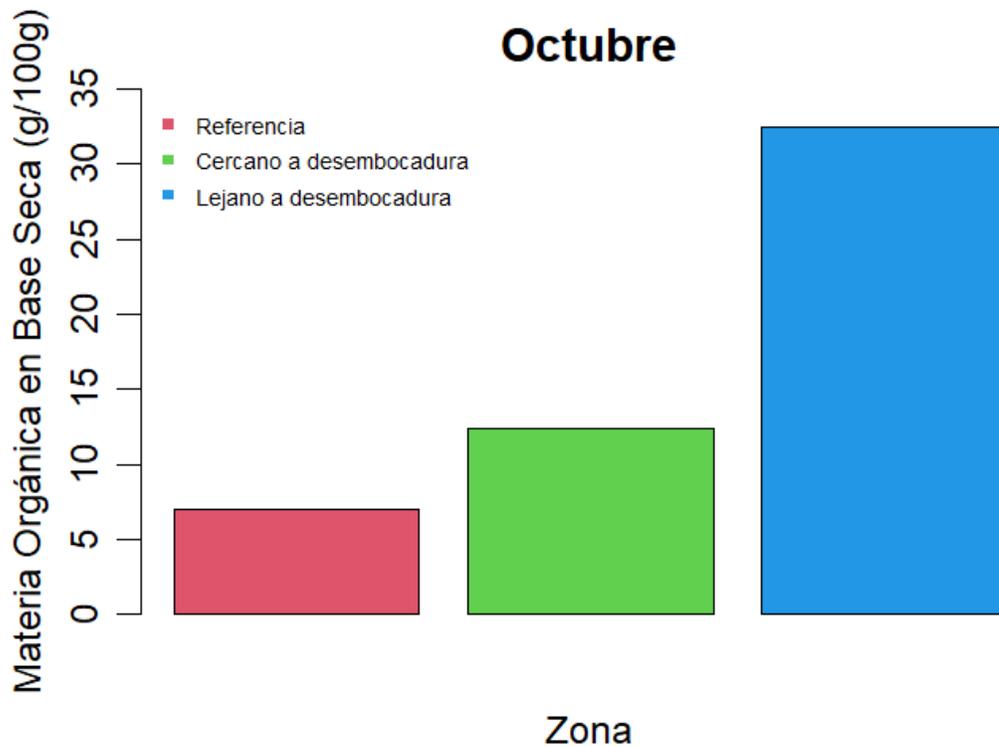


Figura 134: Valores de materia orgánica en base seca corregidos por granulometría.

#### 4.2.2. Parámetros no detectados

Los siguientes parámetros no fueron detectados en sedimento durante el periodo reportado en ninguno de los sitios de estudio:

Parámetro
Níquel (mg Ni/kg)
Naftaleno (PAH) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Acenaftileno (PAH) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Acenafteno (PAH) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Fluoreno (PAH) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Fenantreno (PAH) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Antraceno (PAH) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Fluoranteno (PAH) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Pireno (PAH) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Benzo(a)antraceno (PAH) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Criseno (PAH) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Benzo(b)fluoranteno (PAH) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Benzo(k)fluoranteno (PAH) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Benzo(a)pireno (PAH) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )

Indenol(1,2,3-cd)pireno (PAH) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Dibenzo(a,h)antraceno (PAH) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Benzo(g,h,i) perileno (PAH) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Aroclor 1016 (PCB) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Aroclor 1221(PCB) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Aroclor 1232(PCB) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Aroclor 1242(PCB) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Aroclor 1248(PCB) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Aroclor 1254(PCB) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Aroclor 1260(PCB) ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
EOX (como Cl) ( $\mu\text{g}/\text{g}$ )

#### 4.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Dado el bajo número de muestras y la falta en esta instancia de al menos tres réplicas por cada sitio, no fue posible realizar análisis estadísticos para comparar los valores de los parámetros entre cada uno de los sitios muestreados. Conforme el desarrollo de la actividad de monitoreo permita un número de muestras suficiente se abordarán comparaciones estadísticas según las posibilidades.

#### 4.4. CONCLUSIONES DE LA MATRIZ SEDIMENTO

A partir de la implementación de la actividad de monitoreo en la zona de influencia de la desembocadura del río Gualeguaychú se observa inicialmente que existe una variabilidad elevada entre las proporciones de granulometrías más finas en el sedimento de cada uno de los sitios estudiados. Esta variación se hace particularmente manifiesta para los sitios Cercano y Lejano a desembocadura, siendo que el primero de ellos presentó una fracción fina del 10,6% en abril y del 63% en octubre. Por el contrario, en el sitio Lejano a desembocadura se observaron mayores proporciones de las fracciones más finas en la instancia de monitoreo de abril (48,3%) con respecto a la instancia de octubre (tan solo un 8%).

A partir de la situación arriba descrita, para los subsiguientes muestreos se revisaron los procedimientos realizados durante la toma de muestras, ajustando los sitios de toma de muestra en función de identificar puntos donde existe mayor acumulación de sedimento más fino, permitiendo una mayor homogeneidad en las proporciones de granulometrías más finas entre las distintas muestras, y facilitando los posteriores procesos de análisis y comparación de resultados obtenidos.

Las ocurrencias anteriores contribuyen a interpretar los resultados observados para los parámetros carbono orgánico total (con determinaciones válidas para abril y octubre) y

materia orgánica tanto en base seca como en base húmeda (en ambos casos sólo con determinaciones válidas para el mes de octubre), donde los sitios que presentaron mayores proporciones de fracciones más finas del sedimento presentaron también las mayores concentraciones en cada parámetro.

En el sitio Referencia se observaron los valores máximos para fósforo y cromo, lo que podría indicar la ocurrencia en esa zona de aportes con cargas mayores de estos compuestos provenientes de poblaciones, actividades agrícolas o industriales, aunque es necesario completar los estudios con la continuidad de la actividad a fin de interpretar con mayor certidumbre la presencia de estos compuestos en la zona.

No se constataron incumplimientos normativos para los parámetros analizados en sedimento, en tanto por una parte CARU no contaba con normativa propia al momento de la realización de esta actividad y por otra parte los valores registrados están aún por debajo de límites de referencia internacional utilizada por el Comité en otros casos.

## CAPÍTULO V: MATRIZ BIOTA

### 5.1. ALMEJAS

#### 5.1.1. Metodología específica

La utilización de bioensayos de campo *in situ* utilizando almejas para estimar bioacumulación de contaminantes es una metodología estandarizada (ASTM Norma E2122) ampliamente utilizada a nivel global para caracterizar variaciones espacio-temporales en la calidad de agua, y más en concreto determinar la presencia de contaminantes que puedan bioacumularse en la biota. Esta metodología tiene la ventaja de usar organismos vivos que se alimentan y respiran de la columna de agua asimilando los compuestos presentes en el cada sitio de disposición específico, pudiéndose regular de forma experimental su localización específica evitando incertidumbres dadas por posibles desplazamientos de los organismos, el tiempo de exposición, y la estructura de la población a exponer (por ejemplo, en cuanto a sus tallas y abundancias). El presente informe representa la primera aproximación al estudio de bioacumulación de contaminantes en biota mediante esta metodología para el bajo río Uruguay.

En este ensayo de campo se escogió un sitio de referencia de donde obtener los individuos de almejas de la especie *Corbicula fluminea*, tanto los que serían usados para la caracterización de estado inicial o de línea de base, de aquí en más denominada muestra “Blanco”, como los que serán expuestos en diferentes sitios del río en la zona de influencia de la desembocadura del río Gualeguaychú en el río Uruguay. El sitio de recolección en cuestión fue la bahía del Ñandubaysal sobre la margen derecha del río Uruguay en las coordenadas 33° 04' 06" S y 58° 22' 53" O; un sitio suficientemente alejado de la descarga a analizar y conocido por las altas abundancias de *C. fluminea* que allí se han observado. Se colectaron aproximadamente 800 individuos para la realización de esta actividad.

Los individuos colectados fueron transportados vivos al laboratorio del Comité Científico (LCC) y acondicionados en acuarios que contenían agua de río, procurando mantener condiciones estables de temperatura - similares a las del río - y aportando aireación artificial a esos acuarios. Al día siguiente de colectados, los individuos fueron separados en grupos de similar distribución de tallas conteniendo cada uno de ellos 49 individuos. Para lograr esto se colocaron en cada grupo 14 individuos de las tallas menores presentes (que en esta ocasión resultaron menores a 2,0 cm de largo de valva), y otros 35 individuos de tallas mayores (en este caso de tallas de entre 2,1 y 2,7 cm de largo de valva).

Luego del armado de los grupos, se comprobó estadísticamente que no existieran diferencias entre las tallas de cada grupo en este momento inicial mediante un test de ANOVA, analizando posibles diferencias en largo, alto y peso individual. Esto tuvo por objetivo estandarizar al máximo posible las condiciones de inicio del bioensayo. Si bien los individuos de mayores tallas son los que aportan más cantidad de tejido para los análisis, son los individuos pequeños los que poseen mayores tasas de crecimiento y recambio, por

lo cual es importante tener la mayor diversidad de clases de talla representadas en el bioensayo.

Se organizaron los individuos en 13 grupos: uno para servir a modo de muestra Blanco en los análisis de bioacumulación y doce para ser colocados en arreglo de a cuatro grupos por cada uno de los tres sitios de monitoreo. El alto y largo máximo, así como el peso total en fresco de cada almeja fue registrado mediante el uso de calibres digitales y de una balanza semi-analítica.

Luego del registro de datos biométricos se procedió a diseccionar las almejas del grupo “Blanco”, conformando una muestra de pulpa integrada de 49 individuos para los análisis de bioacumulación. El pool de tejido colectado se agrupó por peso hasta obtener una muestra compuesta suficiente según fuera el análisis solicitado (20 g de tejido para análisis de compuestos fenólicos y EOX y 3 g de tejido para análisis de metales). El tejido fue colocado en los envases correspondientes según el tipo de análisis y congelado en un freezer a -20 °C.

Por otro lado, cada grupo de almejas a disponer en los tres sitios del río objeto de monitoreo (Referencia -GByS1-, Cercano a la desembocadura -GByS2- y Lejano a la desembocadura -GByS3-, ya identificados en la Figura 1) fue colocado en una caja de acrílico conformada por 49 compartimentos que contenían grava, a razón de un (1) individuo por compartimento. A cada caja se le colocó un precinto numerado de modo de tener un seguimiento de cada dispositivo, y al finalizar la jornada de preparación las cajas con los individuos fueron cerradas con una malla plástica de protección, para evitar la pérdida de ejemplares y controlar la depredación por agentes externos. Acto seguido se procedió a la colocación de las cajas fondeadas en los sitios designados durante un periodo de aproximadamente 90 días (desde el 3 de septiembre hasta el 26 de noviembre).

El diseño de muestreo contempló la colocación de 4 cajas conteniendo almejas por cada uno de los sitios de monitoreo. Cada pareja de cajas fue sujeta mediante precintos plásticos a un marco de PVC que se fondeó en el río, y ambos marcos quedaron unidos mediante un cable de acero de aproximadamente 2 m de largo. De este modo en cada sitio de monitoreo se tienen potencialmente cuatro (4) réplicas de cada dispositivo de medición (caja con 49 individuos). Las cajas permanecieron sumergidas en el río en cada sitio aproximadamente durante noventa días, luego de lo cual fueron retiradas y transportadas al laboratorio del Comité Científico.

Las coordenadas (sistema UTM 21) de cada uno de estos sitios han sido:

*Ubicación de los sitios de monitoreo de almejas.*

Sitio	Coordenadas	
<b>GByS1</b>	0374445 E	6336170 S
<b>GByS2</b>	0368821 E	6334613 S
<b>GByS3</b>	0367270 E	6330750 S

La Imagen 1 ilustra algunas de las etapas de obtención de las almejas y su procesamiento durante el bioensayo. De izquierda a derecha y de arriba abajo se observan imágenes de la colecta de almejas en campo; colocación en las cajas de acrílico; mantenimiento de las cajas en acuarios; dispositivos con cajas recuperadas luego del fondeo en el río; registro de medidas de los individuos recuperados; colección de individuos recuperados de una caja; y obtención de las muestras de tejido de almejas para su envío a laboratorios analíticos.



*imagen 1: Etapas del bioensayo y procesamiento de almejas.*

Con las almejas recuperadas vivas se procedió a medir y pesar nuevamente a cada uno de los individuos, y posteriormente se procedió a la disección preparando muestras compuestas de cada caja. Los individuos hallados muertos fueron separados y se descartaron para el análisis de tallas y pesos. El tejido obtenido se colocó en los envases correspondientes según el parámetro a determinar, y luego éstos fueron precintados y congelados a  $-20^{\circ}\text{C}$ . Posteriormente, las muestras congeladas fueron enviadas a los laboratorios de Canadá.

Los laboratorios utilizados para los análisis de parámetros de bioacumulación en esta actividad de monitoreo fueron el Laboratorio Pacific Rim, Econotech y Element de Canadá. Los parámetros analizados y sus límites de detección se detallan a continuación. Nótese que el programa de monitoreo oportunamente aprobado por CARU dispone la determinación de “compuestos fenólicos”, dado que el laboratorio internacional especializado en la materia contratado para tal fin realiza las determinaciones según el análisis estandarizado EPA 16-52, se informan aquí el siguiente conjunto de compuestos fenólicos.

*Parámetros, laboratorios y límites de detección.*

<b>Laboratorio</b>	<b>Parámetro</b>	<b>LD</b>
	4-Clorofenol (mg/kg)	0,001
	2,4-Diclorofenol (mg/kg)	0,001
	2,6-Diclorofenol (mg/kg)	0,001
	2,4,5-Triclorofenol (mg/kg)	0,001
	2,4,6-Triclorofenol (mg/kg)	0,001
	2,3,4,6-Tetraclorofenol (mg/kg)	0,001
	Pentaclorofenol (mg/kg)	0,001
<b>Pacific Rim</b>	4-Cloroguaiacol (mg/kg)	0,001
	3,4-Dicloroguaiacol (mg/kg)	0,001
	4,5-Dicloroguaiacol (mg/kg)	0,001
	4,6-Dicloroguaiacol (mg/kg)	0,001
	3,4,5-Tricloroguaiacol (mg/kg)	0,001
	3,4,6-Tricloroguaiacol (mg/kg)	0,001
	4,5,6-Tricloroguaiacol (mg/kg)	0,001
	Tetraclorocatecol (mg/kg)	0,001

	4-Clorocatecol (mg/kg)	0,010
	3,4-Diclorocatecol (mg/kg)	0,010
	3,6-Diclorocatecol (mg/kg)	0,010
	4,5-Diclorocatecol (mg/kg)	0,010
	3,4,5-Triclorocatecol (mg/kg)	0,010
	3,4,6-Triclorocatecol (mg/kg)	0,010
	Tetraclorocatecol (mg/kg)	0,001
	5-Clorovanillina (mg/kg)	0,005
	6-Clorovanillina (mg/kg)	0,005
	5,6-Clorovanillina (mg/kg)	0,010
	2-Cloro Siringaldeido (mg/kg)	0,005
	5,6-Diclorosiringaldeido (mg/kg)	0,005
	Triclorosiringol (mg/kg)	0,005
<b>Econotech</b>	EOX (mg/kg)	50
<b>Element</b>	Cromo (µg/g)	0,04
	Níquel (µg/g)	0,1

### **Análisis de datos**

En el caso de los bioensayos con bivalvos en cajas el diseño cumple a grandes rasgos con la metodología BACI (Before and After Impact Assessment), ya que se cuenta con muestras de tejido de almejas pertenecientes a la misma población analizadas previo a su exposición en los tres sitios del río (muestra “Blanco”), las que se emplean a modo de condición de línea de base en las comparaciones estadísticas. Es así que en esta dimensión los análisis estadísticos apuntan a comparar las concentraciones pre-exposición y post-exposición, a la misma vez que comparar los valores entre un sitio de Referencia, un sitio Cercano a desembocadura y un sitio Lejano a desembocadura del río Gualeguaychú luego de un periodo de exposición de 90 días.

En este caso, por problemas logísticos, se carece de réplicas para la muestra “Blanco”, por lo cual se reportan únicamente los valores de los parámetros analizados en el Blanco a modo de referencia para cotejarlos con los valores obtenidos post-exposición, pero sin

poder contar con apoyo estadístico para el análisis de las diferencias existentes entre las determinaciones realizadas.

Desafortunadamente a la finalización del plazo de exposición de este bioensayo todas las almejas dispuestas en el sitio Cercano a desembocadura (GByS2) fueron halladas muertas, se estima producto de la alta tasa de sedimentación en el sitio que colmató las cajas y posiblemente ocasionó anoxia y muerte de las almejas. Por esto no se pudo analizar crecimiento o bioacumulación en el sitio Cercano a desembocadura (GByS2) en el presente periodo. En resumen, al final del periodo de bioacumulación se recuperaron almejas vivas en las cuatro cajas del sitio Referencia (GByS1) y en las cuatro cajas del sitio Lejano a desembocadura del río Gualeguaychú (GByS3), por lo cual a ellas se limita el presente análisis.

Los resultados presentados constan, en primera instancia de una comparación en el crecimiento ocurrido entre los sitios donde se han recuperado las almejas, y por último en el reporte de los valores de concentración de los parámetros analizados en una muestra de tejido de almejas del Blanco, en las cuatro muestras del sitio Referencia (GByS1) y en las cuatro del sitio Lejano a desembocadura del río Gualeguaychú (GByS3), realizando una comparación estadística de las concentraciones de los diferentes compuestos analizados que se hallaran detectados entre los sitios Referencia y Lejano a desembocadura.

Para análisis de crecimiento se usó un test de ANOVA factorial mixto, analizando el efecto del tiempo (valores iniciales vs. valores finales luego de 90 días), del sitio (sitio Referencia vs sitio Lejano a desembocadura) y de la interacción entre estos dos factores, sobre los parámetros largo, alto y masa de las almejas. Para este análisis se utilizaron los individuos como réplicas y la identidad de cada caja a la cual pertenecían los individuos fue considerada como un efecto aleatorio. Las diferencias fueron consideradas significativas cuando el p valor resulta  $< 0,05$ .

Los análisis de crecimiento fueron realizados primeramente considerando todos los individuos recolectados como el grupo de interés, y seguidamente se realizó el mismo análisis, pero únicamente para el subgrupo de los individuos de largo  $< 2,0$  cm, excluyendo del análisis los datos de los individuos de largo  $> 2,0$  cm. Esto responde -como fue antes mencionado- a que es en los individuos de menores tallas donde se espera tener mayores tasas de crecimiento y por tanto una mayor capacidad de apreciar diferencias estadísticamente significativas entre los resultados obtenidos.

Para el análisis de una posible bioacumulación diferencial entre el sitio Referencia y el sitio Lejano a desembocadura se usó un test de ANOVA para comparar las concentraciones de cromo total y de níquel, siendo que son éstos los compuestos detectados en ambos sitios y para los cuales se cuenta con valores a usar en la comparación. Las diferencias fueron consideradas significativas cuando el p valor resulta  $< 0,05$ .

### 5.1.2. Resultados de las determinaciones de campo

#### Crecimiento

Del análisis realizado considerando todo el grupo de individuos recolectados se concluye que estadísticamente no se ha detectado crecimiento apreciable, es decir que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los valores inicial y final de los tamaños promedio de cada caja en largo, alto o masa, ni tampoco se hallaron diferencias significativas en el crecimiento entre los distintos GByS1 GByS3. Esto probablemente se deba a que las almejas más grandes son las de mayor edad, ya que tallas mayores a 2,0 cm suelen corresponder a individuos adultos mayores a un año de edad, para las cuales se enlentece sustancialmente la tasa de crecimiento (Ituarte, 1985)<sup>2</sup>. Dado que en cada caja se colocaron inicialmente 35 almejas mayores a 2,0 cm de largo, en las cuales, según los resultados obtenidos, no se registró crecimiento apreciable en un lapso de 90 días, esto podría estar dificultando la detección de crecimiento que sí pudieran registrar las almejas de menores tallas.

Considerando exclusivamente los ejemplares de talla menor a 2,0 cm de largo, sí se registró crecimiento apreciable de las almejas en ambos sitios (diferencias estadísticamente significativas en largo, alto y masa respecto a los valores iniciales; ANOVA,  $p < 0,05$ ), tanto de las colocadas en el sitio Referencia ubicado aguas arriba de la desembocadura del río Gualeguaychú (GByS1) como de las colocadas en el sitio Lejano a desembocadura (GByS3). Cabe destacar que ese crecimiento se ha dado de forma diferencial entre los sitios Referencia y Lejano a desembocadura, denotado esto por el hallazgo de una interacción significativa entre los factores “tiempo” y “sitio” producto del análisis realizado. En este sentido, ha existido menor crecimiento en el sitio Lejano a desembocadura del río Gualeguaychú (GByS3) en comparación con el sitio Referencia (GByS1), como se puede observar en la Figura 135 (el \* en esta figura indica la existencia de diferencias significativas entre los valores graficados).

---

<sup>2</sup> Ituarte, Cristián F. (1985). *Growth dynamics in a natural population of Corbicula fluminea (Bivalvia Sphaeriacea) at Punta Atalaya, Rio de La Plata, Argentina*. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 20(4), 217–225. doi:10.1080/01650528509360693

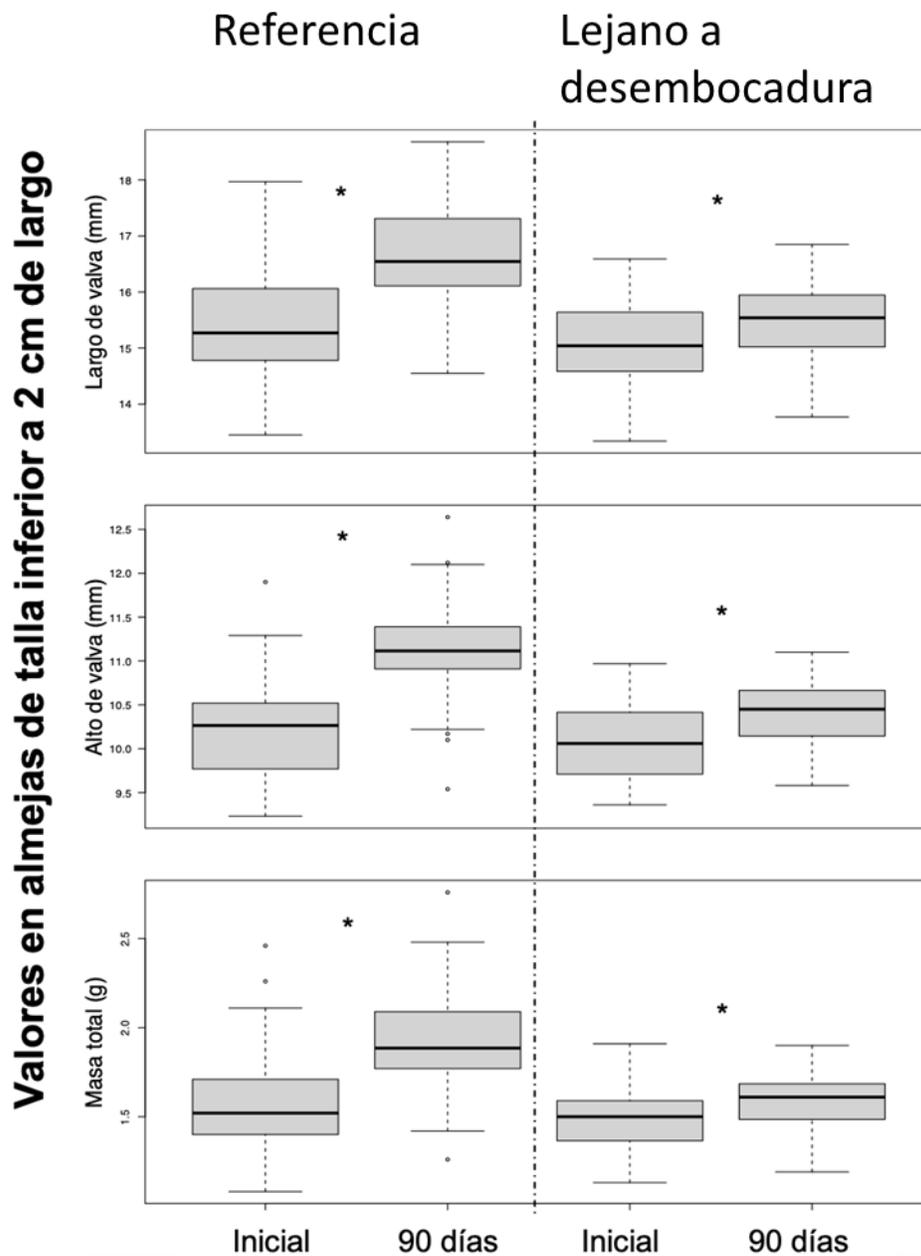


Figura 135: Tasa de crecimiento en almejas.

**Bioacumulación en tejidos de almejas**

De los 32 parámetros analizados, en un total de 8 muestras compuestas de tejido de almejas recuperadas en los sitios Referencia (GByS1, 4 muestras) y Lejano a desembocadura (GByS3,

4 muestras) más la muestra “Blanco”, se ha detectado la presencia de cuatro compuestos. Estos son los compuestos fenólicos 2-6-Diclorofenol y 4-Clorofenol, y los metales cromo y níquel. No se han detectado en ninguna de las muestras analizadas compuestos orgánicos halogenados (EOX).

En cuanto a la normativa de aplicación para los parámetros aquí analizados en la matriz biota con respecto a los valores de bioacumulación hallados, se destaca que no existen valores normativos de referencia para los parámetros analizados que estuvieran comprendidos en normativa vigente de CARU ni de referencia internacional.

En la tabla a continuación se muestran los resultados las muestras recuperadas en el muestreo de noviembre de 2019.

Bioacumulación en almejas.

Parámetros de bioacumulación	Muestra Blanco	Sitio Referencia				Sitio Lejano a la desembocadura			
	BBA	GByS1-1	GByS1-2	GByS1-3	GByS1-4	GByS3-1	GByS3-2	GByS3-3	GByS3-4
2-Cloro Siringaldeido (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2,3,4,6-Tetraclorofenol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2,4-Diclorofenol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2,4,5-Triclorofenol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2,4,6-Triclorofenol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2,6-Diclorofenol (mg/kg)	0,001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,001	ND
3,4-Diclorocatecol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3,4-Dicloroguaiacol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3,4,5-Triclorocatecol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3,4,5-Tricloroguaiacol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3,4,6-Triclorocatecol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3,4,6-Tricloroguaiacol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3,6-Diclorocatecol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4-Clorocatecol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

4-Clorofenol (mg/kg)	ND	ND	0,001	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4-Cloroguaiacol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4,5-Dicloroguaiacol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4,5-Diclorocatecol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4,5,6-Tricloroguaiacol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4,6-Dicloroguaiacol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
5-Clorovanillina (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
5,6-Dicloro Siringaldeido (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
5,6-Diclorovanillina (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6-Clorovanillina (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Pentaclorofenol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tetraclorocatecol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tetracloroguaiacol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Triclorosiringol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
EOX (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cromo total (µg/g)	0,332	0,288	0,248	0,21	0,315	0,279	0,276	0,335	0,277
Niquel (µg/g)	0,2	0,1	0,1	0,09	0,1	0,1	0,1	0,1	0,09

La tabla a continuación muestra un resumen de los rangos de valores obtenidos y las frecuencias de detección de cada parámetro, así como los resultados de las comparaciones estadísticas realizadas (última columna). No se han detectado diferencias significativas en las concentraciones de cromo o de níquel entre el sitio Referencia y el sitio Lejano a desembocadura del río Gualeguaychú.

Resumen de valores obtenidos.

Compuestos detectados	Blanco			GByS1			GByS3			Comparación GByS1 vs. GByS3 Test ANOVA p<0,05
	Concentración mínima- máxima (mg/kg)	Número de detecciones	Frecuencia de detección	Concentración mínima- máxima (mg/kg)	Número de detecciones	Frecuencia de detección	Concentración mínima- máxima (mg/kg)	Número de detecciones	Frecuencia de detección	
2,6-Diclorofenol	0,001	1	100				0,001	1	25	No analizado por baja frecuencia de detección
4-Clorofenol				0,001	1	25				No analizado por baja frecuencia de detección
Cromo total	0,332	1	100	0,21-0,315	4	100	0,276-0,335	4	100	No existen diferencias significativas (p>0,05)
Niquel	0,2	1	100	0,09-0,1	4	100	0,09-0,1	4	100	No existen diferencias significativas (p>0,05)

### 5.1.3. Conclusiones de la matriz biota-almejas

#### Ejecución del primer bioensayo de campo con almejas

La ejecución del bioensayo ha sido realizada, con algunos imprevistos, pero de forma exitosa considerando que es la primera implementación de este tipo de monitoreo en el río Uruguay.

Un buen indicador del éxito del bioensayo y la factibilidad de realizar un monitoreo de este tipo con este diseño específico es que en la mayoría de los casos las tasas de mortandad registradas no han impedido la obtención de una muestra por cada caja de almejas y que en los individuos menores se ha detectado crecimiento significativo luego de los 90 días de exposición en el río.

Sin embargo, no se puede dejar de resaltar algunos problemas encontrados, particularmente en el sitio Cercano a desembocadura GByS2 con la alta sedimentación sobre las cajas allí fondeadas, lo que ha ocasionado que las cajas se cubrieran de sedimentos y posiblemente a consecuencia de ello la mortandad de todas las almejas de esas cajas. Este problema se intentará solucionar para futuras instancias, relocalizando las cajas correspondientes al sitio Cercano a desembocadura (GByS2) de forma que se acumule menos sedimento sobre las mismas.

#### Crecimiento

La mayor tasa de crecimiento observada en el sitio Referencia GByS1 con respecto al sitio Lejano a desembocadura GByS3 podría responder a una menor disponibilidad de alimento, o a que algunas de las condiciones ambientales imperantes en el sitio Lejano a desembocadura GByS3 generan un mayor gasto energético y stress fisiológico sobre las almejas en comparación con aquellas dispuestas en el sitio Referencia GByS1.

Estudios científicos con diferentes especies de bivalvos a nivel internacional han detectado que algunos factores, como la concentración de sólidos inorgánicos suspendidos, limitan la actividad alimenticia por filtración de ciertos organismos, por ejemplo, ocasionando disminuciones en su tasa de crecimiento (e.g. Tokumon et al., 2015)<sup>3</sup>. En tal sentido la continuación en el tiempo de estos monitoreos, tanto en la matriz agua como en la matriz sedimento, permitirá identificar eventuales diferencias en algunos parámetros potencialmente estresores para las almejas que puedan explicar la menor tasa de crecimiento que se registra aguas abajo de la desembocadura del río Gualeguaychú.

---

<sup>3</sup> Romina Tokumon, Daniel Cataldo and Demetrio Boltovskoy. 2015. *Effects of suspended inorganic matter on filtration and grazing rates of the invasive mussel Limnoperna fortunei (Bivalvia: Mytiloidea)*. Journal of Molluscan Studies. 1–4. doi:10.1093/mollus/eyv024

## **Bioacumulación**

De un total de 32 contaminantes analizados, dos compuestos clorofenólicos y dos metales se han detectado en los tejidos de las almejas. No se ha detectado otros compuestos persistentes, como los compuestos órgano-halogenados (EOX). De los cuatro compuestos detectados, corresponde destacar que tres de ellos se encontraron presentes también en la muestra “Blanco” (previo a la exposición), en valores de concentración en el mismo orden de magnitud a los registrados luego de los 90 días de exposición en cada sitio (o incluso levemente mayores como en el caso de níquel, donde la muestra Blanco presentó 0,2 µg/g y las muestras dispuestas en los sitios Referencia y Lejano a desembocadura un máximo de 0,1 µg/g). La única excepción a esto se tiene para el 4-clorofenol, que fuera registrado en una de las cuatro muestras del sitio Referencia en concentraciones del orden de microgramos por kilogramo, siendo no detectado en todas las demás muestras. En este sentido, considerando que las detecciones han sido en el sitio Referencia, es probable que el 4-clorofenol detectado provenga de otras fuentes ajenas al río Gualeguaychú.

Existieron niveles detectables para dos compuestos clorofenólicos y uno de ellos fue detectado también en la muestra Blanco. Más allá de lo explicitado en cuanto a la imposibilidad de realizar comparaciones estadísticas en esta oportunidad (por falta de réplicas en el “Blanco”) los valores de 2,6 diclorofenol hallados en la muestra Blanco resultan de similar magnitud que los hallados en una de las muestras del sitio Lejano a desembocadura, mientras que el hallazgo de 4-clorofenol corresponde únicamente a una de las muestras dispuestas en el sitio Referencia. Dado este patrón, la bioacumulación de compuestos clorofenólicos no parecen poseer un origen directamente atribuible a las descargas provenientes de la desembocadura del río Gualeguaychú.

En cuanto a los metales, estos elementos han sido detectados en tejido en concentraciones que no difieren significativamente (ANOVA,  $p > 0,05$ ) entre el sitio Referencia y el sitio Lejano a desembocadura del río Gualeguaychú. Sin embargo, al no tener réplicas de la muestra Blanco, en este caso no se ha podido analizar estadísticamente la significancia de esta variabilidad con respecto al estadio inicial o de línea de base del bioensayo. Si bien algunos compuestos como metales hallados no mostraron diferencias en su bioacumulación entre el sitio Referencia y el sitio Lejano a desembocadura del río Gualeguaychú, la menor tasa de crecimiento detectada para los individuos expuestos en el sitio Lejano, localizado aguas abajo de la descarga de la desembocadura del río Gualeguaychú amerita un seguimiento y atención especial para el caso que vuelva a repetirse este tipo de resultados en futuros muestreos, pues podría representar un efecto crónico sobre la biota en este sitio.

## 5.2. PECES

### 5.2.1. Metodología específica

Las especies que han sido seleccionadas como especies centinelas son *Iheringichthys labrosus* (bagre trompudo) y *Hoplias argentinensis* (tararira), en razón de ser la primera aquella que aparece con mayor frecuencia en los diferentes sitios de muestreo y la segunda por su rol como depredador tope en el ecosistema de hábito local y con biomasa suficiente para la obtención y procesamiento de muestras.

Para la colecta de ejemplares de *Iheringichthys labrosus* (bagre trompudo) y *Hoplias argentinensis* (tararira) de donde obtener las muestras para el monitoreo de bioacumulación se utilizaron redes nórdicas estandarizadas (Standard 1.5 Nordic Surveynet) de 30 m de largo y 1,5 m de alto, las que constan de 12 paneles de 2,5 m de largo con diferente tamaño de malla cada uno de ellos que van de 5 a 55 mm de distancia entre nudos opuestos. Complementariamente, para maximizar la chance de capturar individuos de mayor porte de la especie objetivo *Hoplias argentinensis*, se usaron dos redes agalleras de 105 y 120 mm de distancia entre nudos opuestos de 60 m de largo y 2 m de alto. Las redes han sido caladas al atardecer de un día y viradas durante las primeras horas de la mañana del día siguiente, permaneciendo aproximadamente 12 horas en el agua en cada instancia de muestreo.

El programa de monitoreo en esta dimensión ha comenzado en el mes de octubre de 2019 y tiene previsto desarrollarse con periodicidad semestral. El día 28 de octubre se calaron redes en el sitio Referencia BBP1 y el día 30 de octubre fueron caladas en los sitios GBP2 y GBP3.

En cada uno de los tres sitios de estudio se han colocado cuatro redes nórdicas, a profundidades de entre 1 y 3 m, y una red agallera. Como sitio Referencia (BBP1) ha sido seleccionado el entorno de la isla Bonfiglio (Arg.), localizado aproximadamente a 43 km aguas arriba de la zona de influencia analizada. El criterio de seleccionar un sitio aguas arriba lo más alejado posible se debe a que los peces son organismos muy móviles y cuanto mayor es la distancia entre el sitio referencia y los sitios cercanos a la zona de influencia de la desembocadura aumentan las posibilidades de que el muestreo incluya poblaciones diferentes de las mismas especies, lo cual es fundamental para poder comparar la acumulación de contaminantes entre peces colectados en zonas diferentes. Los sitios Cercano y Lejano a la desembocadura del río Guleguaychú han sido los definidos para los análisis en la matriz biota como GBP2 y GBP3 respectivamente. GBP2 es una zona Cercana a la desembocadura del río Guleguaychú localizada aproximadamente a 3 km aguas abajo de la misma, mientras que GBP3 se encuentra más alejada a una distancia aproximada de 8 km aguas debajo de la citada desembocadura.

En la siguiente tabla se informan las coordenadas establecidas para cada sitio de muestreo con redes:

*Sitios de monitoreo de peces.*

Sitio de muestreo	Coordenada E	Coordenada S
Referencia (BBP1)	0394351	6367499
Cercano a la desembocadura (GBP2)	0368821	6334613
Lejano a la desembocadura (GBP3)	0367228	6330490

Las muestras de peces fueron procesadas siguiendo el procedimiento PRD.022 del Comité Científico, obteniendo datos tanto de la estructura comunitaria como datos biométricos de las especies centinela para estimar índices de estado fisiológico.

En cuanto al estado fisiológico de las especies centinela, para al menos 20 individuos de *I. labrosus* y para la mayor cantidad posible de *H. argentinensis* se registraron las medidas biométricas largo estándar, peso, sexo, peso del hígado, peso de las gónadas y peso eviscerado, y con esas métricas se procedió a estimar los siguientes índices de condición:

**Índice Gonadosomático (IGS):** Indicador del tamaño de las gónadas de un espécimen relativo a su peso total eviscerado (peso sin órganos). Se estima según la ecuación  $IGS = (Pg / Pe) * 100$ ; donde “Pg” es el peso de las gónadas y “Pe” es el peso eviscerado. Este indicador debe ser analizado en individuos adultos de sexo determinable.

**Índice Hepatosomático (IHS):** Indicador del tamaño del hígado de un espécimen relativo a su peso total eviscerado (peso sin órganos). Se estima según la ecuación:  $IHS = (Ph / Pe) * 100$ ; donde “Ph” es el peso del hígado y “Pe” es el peso eviscerado.

**Factor de condición (K):** Indicador de la masa de un espécimen relativo a su longitud estándar. Se estima según la ecuación:  $K = 100 * Pt / (Lst^b)$  donde “Pt” es el peso total (en gramos), “Lst” el largo estándar (en cm), y b es el coeficiente de la relación largo-peso de todos los individuos de la especie colectados, según surge de la relación:  $Pt = a * Lst^b$

Luego del registro de las medidas biométricas se obtuvieron seis muestras de músculo por especie centinela y por sitio, siempre que la abundancia y biomasa de los peces colectados así lo permitiera, para realizar en ellas las determinaciones tendientes a evaluar la bioacumulación.

Dado que la masa necesaria para conformar una muestra en ocasiones ha superado la masa de músculo que ha podido ser extraída de un ejemplar individual, algunas de las muestras de músculo tomadas de aquellos ejemplares de menor porte fueron compuestas de forma de obtener una única muestra que será objeto de análisis, conformada con tejido proveniente de más de un individuo. Se ha procurado en todos los casos tener muestras representativas de las distintas clases de talla presentes, para poder evaluar

posteriormente - cuando la cantidad de datos así lo permita - un posible efecto de la talla en la acumulación de contaminantes.

La composición de las muestras empleadas para los análisis de laboratorio se detalla en la tabla a continuación.

*Composición de las muestras de peces.*

Especie	Número de muestra	Número de individuos en la muestra	Rango de tallas (largo estándar mínimo-máximo, en cm)
<i>Hoplias argentinensis</i>	BBP1-1	1	35,2
	BBP1-2	1	22,4
	BBP1-3	1	33,5
<i>Iheringichthys labrosus</i>	BBP1-4	2	19,0 - 20,4
	BBP1-5	3	17,3 - 19,3
	BBP1-6	2	22,0 - 22,6
	BBP1-7	3	18,7 - 20,2
	BBP1-8	2	19,8 - 21,2
	BBP1-9	3	16,5 - 20,0
<i>Hoplias argentinensis</i>	GBP2-1	1	40,4
<i>Iheringichthys labrosus</i>	GBP2-2	1	19,9
	GBP2-3	1	20,7
<i>Iheringichthys labrosus</i>	GBP3-1	3	14,6 - 18,5
	GBP3-2	2	11,7 - 19,7
	GBP3-3	2	15,7 - 18,2
	GBP3-4	2	11,7 - 19,2
	GBP3-5	2	12,2 - 19,3
	GBP3-6	4	10,8 - 14,3

En las muestras de músculo se han analizado los siguientes compuestos: compuestos órgano-halógenados extraíbles (EOX), dioxinas y furanos, y compuestos fenólicos totales. Los laboratorios canadienses que han llevado a cabo los análisis de estos compuestos son Pacific Rim Laboratories (compuestos fenólicos totales, dioxinas y furanos) y Econotech (EOX).

Para el caso particular del análisis del parámetro compuestos fenólicos totales, dado que no se halló laboratorio que analizara este parámetro en la matriz biota, se procedió a realizar el análisis estandarizado EPA 1653 que abarca un conjunto amplio de compuestos fenólicos que incluye clorofenoles, catecoles, guaiacoles, siringaldehidos y vanilinas, entre otros compuestos analizables por acetilación.

El detalle de los parámetros analizados se muestra en la tabla a continuación, junto con los límites de detección analíticos en cada caso.

*Parámetros analizados en músculo de peces y límites de detección.*

Parámetros		Límite de detección (mg/kg)
EOX		50
Dioxinas y Furanos (PCDD/PCDF) (WHO-TEQs)*		0,22 x 10 <sup>-6</sup>
Compuestos Fenólicos Totales	2-Cloro Siringaldeido	0,005
	2,3,4,6-Tetraclorofenol	0,001
	2,4-Diclorofenol	0,001
	2,4,5-Triclorofenol	0,001
	2,4,6-Triclorofenol	0,001
	2,6-Diclorofenol	0,001
	3,4-Diclorocatecol	0,01
	3,4-Dicloroguaiacol	0,001
	3,4,5-Triclorocatecol	0,01
	3,4,5-Tricloroguaiacol	0,001
	3,4,6-Triclorocatecol	0,01
	3,4,6-Tricloroguaiacol	0,001
	3,6-Diclorocatecol	0,01
	4-Clorocatecol	0,01
	4-Clorofenol	0,001
	4-Cloroguaiacol	0,001
	4,5 Dicloroguaiacol	0,001
	4,5-Diclorocatecol	0,01
	4,5,6-Tricloroguaiacol	0,001
	4,6-Dicloroguaiacol	0,001
	5-Clorovanillina	0,001
	5,6-Dicloro Siringaldeido	0,005
	5,6-Diclorovanillina	0,01
6-Clorovanillina	0,001	
Pentaclorofenol	0,001	
Tetraclorocatecol	0,001	
Tetracloroguaiacol	0,001	
Triclorosiringol	0,005	

*\*Se analizan diferentes congéneres de Tetra, Penta, Hexa, Hepta y Octa-dioxinas y furanos, cada una con sus límites de detección, sin embargo, a fines del reporte se utiliza el equivalente toxicológico de la sumatoria de compuestos según la escala de la organización mundial de la salud (WHO-TEQ 2005).*

Si bien los datos de estructura comunitaria no son el objetivo específico de este plan de monitoreo, ya que se han obtenido de forma estandarizada y que existe una carencia general de información sobre la estructura de las comunidades de peces y su variación espacio-temporal en el bajo río Uruguay, se reportan todas las especies colectadas junto a sus abundancias y biomásas totales.

### 5.2.2. Análisis de datos

El presente programa de bio-monitoreo se ha diseñado siguiendo al máximo posible un diseño BACI (ver sección análisis de datos de metodología general, Capítulo II). Sin embargo, dado que en el caso del monitoreo de bioacumulación en peces no se cuenta con datos de línea de base, para este caso concreto se realizará una comparación simple (sin tener en cuenta el efecto temporal) del sitio Referencia BBP1 con dos sitios receptores: uno Cercano a desembocadura del río Gualeguaychú (GBP2) y otro Lejano a desembocadura (GBP3). Como ya fue explicitado, en este informe se reportan únicamente los datos obtenidos de la campaña realizada en octubre de 2019.

La comparación consiste en un análisis de la varianza obtenida en los resultados de cada parámetro analítico frecuentemente detectado como variable independiente, con el sitio como variable dependiente. Estas comparaciones estadísticas se realizan siempre que la cantidad de detecciones así lo permitan, siguiendo el criterio general de analizar los resultados detectados en más del 10 % de las muestras.

Con los resultados de los índices de estado fisiológico calculados se realizan comparaciones de las curvas largo-peso de los individuos, así como de los valores de los índices de condición, Índice gonadosomático y hepatosomático entre los distintos sitios, con el fin de caracterizar aspectos de las poblaciones existentes en cada sitio de muestreo y validar que se trate de poblaciones diferentes, ya que esos indicadores por si solos pueden variar ampliamente debido a las condiciones ambientales sitio-específicas y, sin contar con una línea de base apropiada, resulta muy riesgoso concluir sobre efectos sitio-específicos en base a muestreos puntuales.

Las comparaciones estadísticas entre las pendientes de la curva largo-peso entre sitios se realizan mediante un análisis de la covarianza, ANCOVA, analizando un potencial efecto del sitio de estudio en la relación largo-peso de las poblaciones relevadas. En el caso de las comparaciones entre los índices de condición, éstas se realizan mediante pruebas de ANOVA ( $\alpha=0,05$ ) comparando los valores de los índices calculados entre los tres sitios de monitoreo. Cabe destacar que al ser colectados únicamente cuatro individuos de la especie

*H. argentinensis*, los análisis de índices de condición se han limitado a la especie bagre trompudo, *I. labrosus*.

Se hace notar que, dado que en el sitio Cercano a desembocadura GBP2 los individuos colectados fueron mayormente juveniles menores a 11 cm de largo estándar, no se obtuvieron medidas biométricas para la estimación de índices de estado fisiológico en número suficiente para realizar una comparación estadística. Por ello, los resultados relativos a la estructura de tallas e índices de condición fisiológica de *I. labrosus* se limitan a la comparación del sitio Referencia con el sitio Lejano a desembocadura (GBP3).

Adicionalmente, el análisis de los resultados referidos a las comunidades de peces tiene como objetivo la caracterización de la estructura comunitaria y se reportan a fines descriptivos, no realizando análisis estadísticos sobre los mismos. En los análisis a nivel comunitario, así como de los parámetros de condición determinados a nivel poblacional, la carencia de una línea de base imposibilita extraer conclusiones firmes sobre un potencial impacto por la mera comparación de sitios con características ambientales diferentes. Sin embargo, se realiza una comparación estadística entre sitios en el caso de los parámetros de bioacumulación en músculo, dado el supuesto de que los organismos son relativamente locales y que la acumulación de los compuestos específicos asociados a determinadas actividades está dada por su presencia en cada sitio.

### 5.2.3. Análisis de la información

#### Índices de estado fisiológico en especies de peces centinela

En la Figura 136 se observa la relación entre el largo y el peso de los individuos de bagre trompudo (mayores a 11 cm de longitud estándar) que han sido seleccionados para el registro de sus medidas biométricas.

## Relación largo–peso en *I.labrosus*

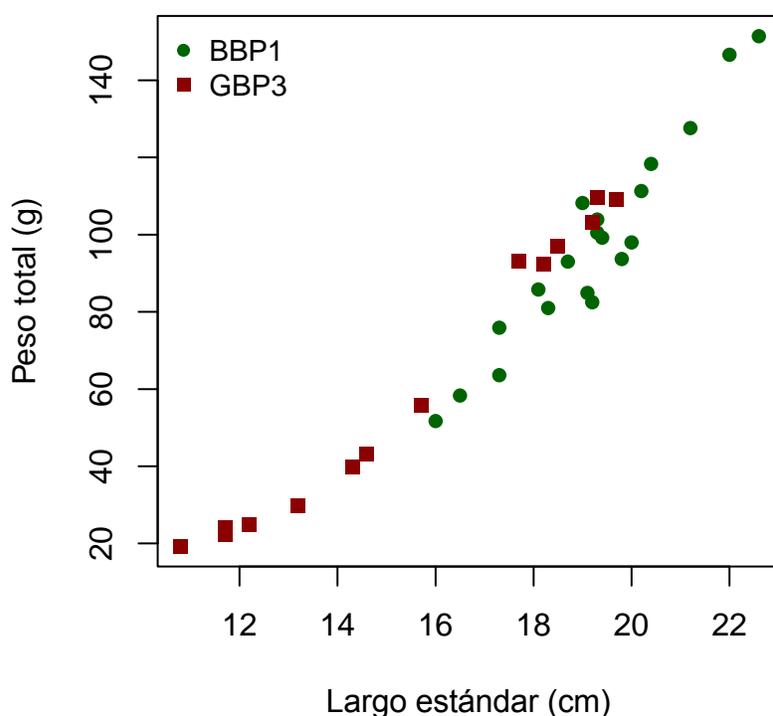


Figura 136: Relación largo-peso en *I. Labrosus*.

Se observa que en la relación-largo peso para los individuos de la especie *I. labrosus* analizados existe cierto sesgo de mayores tallas presentes en el sitio Referencia BBP1 con respecto a los colectados en el sitio Lejano a desembocadura (GBP3). A pesar de no haber registrado de forma estandarizada la estructura de tallas de la población, al haber sistemáticamente seleccionado individuos del subgrupo de los de mayor porte para la obtención de muestras y el registro de los parámetros biométricos, se puede afirmar que las mayores tallas de *I. labrosus* se encuentran principalmente representadas en el sitio Referencia (BBP1) en comparación con el sitio Lejano a desembocadura (GBP3). Eligiendo individuos de similar rango de talla (usando individuos de entre 16 y 20 cm de largo estándar) se ha evaluado si la pendiente de esta relación largo-peso difiere entre los sitios de estudio, no hallando diferencias estadísticamente significativas en este sentido (ANCOVA,  $p > 0,05$ ).

La tabla a continuación muestra el valor promedio y el desvío estándar de cada uno de los índices de estado fisiológico registrados para la especie *I. labrosus* en cada uno de los sitios

de monitoreo, indicando las diferencias estadísticamente significativas entre los dos sitios analizados.

*Índices de estado fisiológicos registrados para *I. labrosus*.*

<b>Índices de estado fisiológico para la especie centinela <i>Iheringichthys labrosus</i></b>			
	<b>Factor de condición</b>	<b>Índice gonadosomático</b>	<b>Índice hepatosomático</b>
<b>BBP1</b>	0,81 ± 0,06	<b>2,28 ± 1,99*</b>	0,82 ± 0,23
<b>GBP3</b>	<b>0,87 ± 0,06*</b>	0,3 ± 0,15	0,71 ± 0,16

\* Los valores en negrita indicados con un asterisco señalan las diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio (ANOVA,  $p < 0,05$ ).

El factor de condición en el sitio Lejano a la desembocadura (GBP3) es mayor que en la zona Referencia (BBP1), indicando que la masa corporal para individuos de similares tallas es mayor en el sitio Lejano a la desembocadura del río Gualaguaychú que en el sitio Referencia.

El índice gonadosomático es el mayor en el sitio Referencia BBP1, lo cual significa que los individuos allí presentes presentan mayor masa de gónadas relativo a su masa corporal. Cabe destacar que este último indicador fue comparado únicamente entre hembras, para reducir la variabilidad dada por las posibles diferencias en la proporción de machos (de menor masa de gónadas) y hembras en las muestras.

Finalmente, no se hallaron diferencias en el índice hepatosomático, lo cual refleja una actividad fisiológica hepática similar en los individuos de diferentes sitios.

### **Concentración de contaminantes en músculos de peces**

Sobre un total de 18 muestras de peces para las que se analizaron 31 compuestos, sólo se han detectado dos compuestos en alguna de las muestras, estos son los compuestos fenólicos: pentaclorofenol, hallado en todos los sitios de estudio; y el 2,6-Diclorofenol, siendo hallado únicamente en el sitio Cercano a desembocadura (GBP2). No se han hallado niveles detectables de compuestos órgano-halogenados (EOX) ni tampoco de ninguno de los congéneres de dioxinas o furanos.

Se detectaron las siguientes concentraciones de compuestos en las muestras de músculo de peces:

Compuestos detectados en músculo de peces (se identifican en cada caso el número de muestras -n-).

Parámetros detectados en músculo de peces	Referencia				Cercano a desembocadura				Lejano a desembocadura	
	<i>Hoplias argentinensis</i> (n=3)		<i>Iheringichthys labrosus</i> (n=6)		<i>Hoplias argentinensis</i> (n=1)		<i>Iheringichthys labrosus</i> (n=2)		<i>Iheringichthys labrosus</i> (n=6)	
	Frecuencia de detección (%)	Valor máximo (mg/kg)	Frecuencia de detección (%)	Valor máximo (mg/kg)	Frecuencia de detección (%)	Valor máximo (mg/kg)	Frecuencia de detección (%)	Valor máximo (mg/kg)	Frecuencia de detección (%)	Valor máximo (mg/kg)
<i>Pentaclorofenol</i>	67	0,002	17	0,002	100	0,001	100	0,002	17	0,001
<i>2,6-Diclorofenol</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	50	0,001	ND	ND

### **Estructura de las comunidades de peces**

En cuanto a la riqueza específica de los distintos sitios relevados, se colectaron en total 50 especies de peces, 42 estando presentes en el sitio Referencia (BBP1), 27 en el sitio Cercano a desembocadura del río Gualeguaychú (GBP2) y 30 en el sitio Lejano a desembocadura (GBP3).

En cuanto a las abundancias totales se colectaron 741 individuos en el sitio Referencia, 271 en el sitio Cercano a desembocadura y 240 en el sitio Lejano a desembocadura, habiéndose colectado biomاسas de 28,6 kilogramos en BBP1, 34,4 Kg en GBP2 y 21,9 Kg en GBP3.

Cabe destacar que solo 19 de las 50 especies registradas en este muestreo son comunes a los tres sitios de estudio. En la tabla a continuación se detallan las especies colectadas, así como la abundancia y biomasa total encontradas en cada sitio.

Riqueza, abundancia y biomasa de peces en los sitios relevados.

Orden	Familia	Especie	Zona Referencia		Zona Cercana a la desembocadura		Zona Lejana a la desembocadura		Totales	
			Biomasa (g)	Abundancia (N° de individuos)	Biomasa (g)	Abundancia (N° de individuos)	Biomasa (g)	Abundancia (N° de individuos)	Biomasa (g)	Abundancia (N° de individuos)
<b>Redes agalleras 105-120 mm distancia entrenudos</b>										
Characiformes	Anostomidae	<i>Megaleporinus obtusidens</i>			7206,5	7	1990,5	2	9197	9
	Bryconidae	<i>Salminus brasiliensis</i>			1237,8	1			1237,8	1
	Erithrynidae	<i>Hoplias argentinensis</i>			1373	1			1373	1
	Prochilodontidae	<i>Prochilodus lineatus</i>	639,6	7					639,6	7
Pleuronectiformes	Achiridae	<i>Catathyridum jenynsii</i>					115,1	1	115,1	1
Siluriformes	Auchenipteridae	<i>Ageneiosus militaris</i>					567,3	1	567,3	1
	Loricariidae	<i>Hypostomus commersoni</i>	565	1	1136,9	3	227,6	1	1929,5	5
		<i>Loricariichthys anus</i>			1077,9	1	1163,6	1	2241,5	2
		<i>Paraloricaria vetula</i>	268,5	1	1471,5	3	602,6	1	2342,6	5
	Pimelodidae	<i>Luciopimelodus pati</i>	537,3	1					537,3	1
<b>Redes nórdicas multimalla 5-55 mm distancia de entrenudos</b>										
Atheriniformes	Atherinopsidae	<i>Odonthestes humensis</i>	42,7	1					42,7	1
Characiformes	Acestrorhynchidae	<i>Acestrorhynchus pantaneiro</i>	895	16					895	16
	Anostomidae	<i>Megaleporinus obtusidens</i>	2076,9	19	2167,2	3	1169,6	1	5413,7	23
		<i>Schizodon platae</i>	125,8	1	43,6	1			169,4	2
	Bryconidae	<i>Salminus brasiliensis</i>	1172,3	5	109	1	182,5	1	1463,8	7
	Characidae	<i>Astyanax lacustris</i>	103	6					103	6
		<i>Astyanax sp</i>	897	138	367,3	46	67,8	16	1332,1	200
		<i>Bryconamericus stramineus</i>	17,8	5		1			17,8	6
		<i>Cheirodon interruptus</i>	2	3					2	3
		<i>Cynopotamus argenteus</i>	444,4	18	29,4	2	54	2	527,8	22
		<i>Galeocharax humeralis</i>	200,1	3	32,7	1			232,8	4
		<i>Odontostilbe pequirá</i>	9	17					9	17
	Curimatidae	<i>Oligosarcus jenynsii</i>	199,4	7	59,5	3			258,9	10
		<i>Cyphocharax platanus</i>	3445,9	136	127,2	12	580,6	39	4153,7	187
		<i>Cyphocharax spilotos</i>	17,3	2	20,4	2	12,5	2	50,2	6
		<i>Steindachnerina brevipinna</i>	208,9	15					208,9	15
Erithrynidae	<i>Hoplias argentinensis</i>	1844,3	3					1844,3	3	
	Parodontidae	<i>Apareiodon affinis</i>	103,5	13				103,5	13	
	Prochilodontidae	<i>Prochilodus lineatus</i>	1261,5	4	705,2	4	150,5	1	2117,2	9
	Serrasalminidae	<i>Pygocentrus natereri</i>	255,9	1					255,9	1
	Clupeiformes	Clupeidae	<i>Ramnogaster melanostoma</i>	56,6	9					56,6
Engraulidae		<i>Lycengraulis grossidens</i>	829,6	21	210,2	6	154,3	4	1194,1	31
Pristigasteridae		<i>Pellona flavipinnis</i>	895,8	5	1140,7	4			2036,5	9
Gymnotiformes	Gymnotidae	<i>Gymnotus sp.</i>					42,1	1	42,1	1
	Sternopygidae	<i>Eigenmannia trilineata</i>	35,1	2					35,1	2
<i>Eigenmannia virescens</i>		68,9	3	54,5	2	58,8	2	182,2	7	
Perciformes	Scianidae	<i>Pachyurus bonariensis</i>	464,3	22	106,4	3	139	3	709,7	28

Riqueza, abundancia y biomasa de peces en los sitios relevados (cont.)

Pleuronectiformes	Achiridae	<i>Catathyridum jenynsii</i>	36,5	1				36,5	1	
Siluriformes	Auchenipteridae	<i>Ageneiosus militaris</i>	437,3	3	70,8	1	1221	5	1729,1	9
		<i>Auchenipterus nuchalis</i>	16,9	2					16,9	2
		<i>Trachyloperus albicrux</i>	886,9	6					886,9	6
	Doradidae	<i>Rhinodoras dorbignyi</i>			3765,2	40	1485,4	19	5250,6	59
	Loricariidae	<i>Brochiloricaria chauliodon</i>					323,6	1	323,6	1
		<i>Hisonotus charrua</i>					1,1	1	1,1	1
		<i>Hypostomus aspilogaster</i>					473,4	1	473,4	1
		<i>Hypostomus commersoni</i>			4486,5	12	3530,4	7	8016,9	19
		<i>Loricariichthys anus</i>			757,9	1	1167,4	2	1925,3	3
		<i>Loricariichthys edentatus</i>					2,8	1	2,8	1
		<i>Loricariichthys melanocheilus</i>	229,8	5	1202,8	7	790,6	5	2223,2	17
		<i>Loricariichthys platymetopon</i>	135,6	1					135,6	1
		<i>Otocinclus sp.</i>	5,5	11					5,5	11
		<i>Paraloricaria vetula</i>	2734,1	9	3298,7	31	602,9	9	6635,7	49
		<i>Ricola macrops</i>	39,1	4			16,2	1	55,3	5
	Pimelodidae	<i>Iheringichthys labrosus</i>	4791,2	151	552,8	11	728,9	18	6072,9	180
		<i>Luciopimelodus pati</i>			203,9	1	392,2	2	596,1	3
		<i>Parapimelodus valenciennis</i>	943,8	37	1126,9	41	3143,7	75	5214,4	153
<i>Pimelodella gracilis</i>		76,8	20	29,7	10	11	3	117,5	33	
<i>Pimelodus absconditus</i>						11,2	1	11,2	1	
<i>Pimelodus maculatus</i>		546,2	5	206,3	9	720,1	9	1472,6	23	
Trichomycteridae	<i>Pseudostegophilus maculatus</i>	1	1			2,1	1	3,1	2	
<b>Biomasa y abundancias totales</b>			28564,1	741	34378,4	271	21902,4	240	84844,9	1252
<b>Riqueza específica total</b>				42		27		30		50

#### 5.2.4. Conclusiones de la matriz biota-peces

##### Índices de estado fisiológico

Sólo se determinaron índices de estado fisiológico para la especie *I. labrosus*. Estos índices han revelado una mayor condición corporal de los peces en el sitio Lejano a desembocadura y un mayor desarrollo gonadal en los individuos hembra de bagre trompudo obtenidos en el sitio Referencia (BBP1).

Los mayores factores de condición observados en el sitio Lejano a desembocadura (GBP3) podrían indicar que los individuos allí presentes poseen mayor grasa corporal acumulada, quizás dada por una mayor disponibilidad de alimento en la zona o por un menor gasto energético que realizan los individuos que habitan en dicho sitio. Cabe mencionar que *I. labrosus* en el bajo río Uruguay posee una dieta omnívora con tendencia detritívora, alimentándose tanto de invertebrados acuáticos como de materia orgánica en descomposición del fondo del río (López-Rodríguez et al., 2019<sup>4</sup>).

Las ejemplares de *I. labrosus* tuvieron un mayor índice gonadosomático en el sitio Referencia (BBP1). Esto podría estar relacionado con el hecho de que durante esta campaña se colectó un mayor número de individuos de tallas grandes (> 20cm) en el sitio Referencia con respecto a los sitios Cercano y Lejano a desembocadura (con solo 6 individuos >20 cm en el sitio Lejano a desembocadura (GBP3), no habiéndose registrado ninguno superior a esa talla en el sitio Cercano a desembocadura (GBP2).

En el contexto del monitoreo de posibles efectos de las descargas provenientes del río Gualeguaychú cabe cuestionarse si el menor desarrollo gonadal en los sitios aguas abajo de la desembocadura podría relacionarse con un potencial efecto de contaminantes que pudieran ser transportados por el río Gualeguaychú. Sin embargo, no se cuenta con elementos suficientes como para responder dicha pregunta ya que se carece de información de línea de base sobre aspectos reproductivos de *I. labrosus*. En este sentido, y dado que se carece de información reproductiva básica para esa especie, no se puede descartar que las diferentes características ambientales de los sitios de monitoreo favorezcan que la reproducción ocurra naturalmente en algunas zonas en mayor grado que otras, o que incluso las diferencias en el desarrollo reproductivo de esta especie sean debido a un desfase en la época de reproducción en las poblaciones de las diferentes localidades, como ha sido hipotetizado anteriormente (Vidal et al., 2020<sup>5</sup>). En todo caso el

---

<sup>4</sup> López-Rodríguez A, Silva I, de Ávila-Simas S, Stebniki S, Bastian R, Massaro MV, País J, Tesitore G, Teixeira de Mello F, D'Anatro A, Vidal N, Meerhoff M, Reynalte-Tataje D, Zaniboni-Filho E, González-Bergonzoni I (2019) Diets and trophic structure of fish assemblages in a large and unexplored subtropical river: The Uruguay River. *Water* 11(7):1374. <https://doi.org/10.3390/w11071374>.

<sup>5</sup> Vidal N, Teixeira de Mello F, González-Bergonzoni I, López-Rodríguez A, Tesitore G, País J, Stebniki S, Silva I, D'Anatro A (2020) Long-term study of the reproductive timing of the Neotropical catfish *Iheringichthys labrosus* (Lütken, 1874): influence of temperature and river discharge. *Ecol Freshw Fish* 29:334–345. <https://doi.org/10.1111/eff.12518>.

hallazgo de diferencias en el desarrollo gonadal debe mantenerse en foco durante los subsiguientes monitoreos, para establecer si es un patrón recurrente, consistente, y si -en todo caso- se lo puede asociar a una exposición diferencial de contaminantes que pudieran desencadenar esas diferencias.

Al cotejar nuestros resultados con normativa internacional no se advierten apartamientos normativos en el presente monitoreo. Cabe aclarar al respecto, que únicamente el parámetro dioxinas y furanos, no detectado en ninguna de las muestras (bajo un límite de detección de 0,22 ng/Kg), posee normativa internacional en este caso, estableciendo que los valores acumulados en biota no deben superar los 65000 ng/kg.

Durante los análisis de bioacumulación no se han detectado tampoco compuestos órgano-halogenados (EOX) bioacumulados en los tejidos de peces colectados en el sitio Referencia y en los sitios Cercano y Lejano a desembocadura del río Guleguaychú. Al respecto, cabe mencionar que el laboratorio informó un límite de detección de 50 mg/kg debido a la baja cantidad de tejido remitido, el cual se estima que se podrá reducir en futuras instancias en las que se pueda remitir mayor cantidad de tejido muestra hasta valores entorno a los 7 mg/kg, permitiendo así una mejor resolución de este análisis.

Durante los análisis de bioacumulación no se han detectado ninguno de los congéneres de dioxinas y furanos analizados, ni compuestos órgano-halogenados (EOX) bioacumulados en los tejidos de los peces de la zona Referencia ni de las zonas expuestas a las descargas del río Guleguaychú. No obstante, se hallaron concentraciones de algunos compuestos clorofenólicos no normados en concentraciones bajas, sin existir diferencias significativas detectables entre los tres sitios de monitoreo, a pesar de que el 2,6 Diclorofenol fuera exclusivamente hallado en una de las dos muestras compuestas tomadas en el sitio Cercano a desembocadura (GBP2). Los compuestos clorofenólicos han sido detectados en todas las muestras del sitio Cercano a desembocadura (GBP2) (en tararira y bagre trompudo) y en algunas de las del sitio Referencia y del sitio Lejano a desembocadura (GBP3). A continuación, se profundiza en la posible significancia de la detección de estos compuestos.

El pentaclorofenol se usa como pesticida multi-función para combatir principalmente insectos y hongos de la madera, pero también puede ser de uso general como herbicida (PPDB database, 2023<sup>6</sup>). Su uso más frecuente es como tratamiento en todas las maderas de uso en construcción, caminería e infraestructura agrícola (e.g. columnas, alambrados). Si bien este compuesto es rápidamente asimilado y excretado por los organismos, siendo poco acumulable, puede ser letal para los peces para concentraciones en agua por encima de 170 µg/L y ocasionar efectos para concentraciones superiores a 1 µg/L (Eisler, 1989<sup>7</sup>;

---

<sup>6</sup> <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/>

<sup>7</sup> Eisler, R., 1989. Pentachlorophenol hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. Contam. Hazard Rev. Rep. (17).

Singh & Chandra, 2019<sup>8</sup>), dependiendo de la especie analizada. A nivel global se han registrado eventos de mortandad puntuales en peces asociados con este compuesto cuando las concentraciones en músculo de los individuos expuestos han variado aproximadamente entre 8 y 60 mg/Kg. Una revisión de los valores de concentración reportados a modo de línea de base para la bioacumulación de este compuesto en músculo de peces en ecosistemas de agua dulce de Estados Unidos encontró niveles de entre 0,003 a 0,260 mg/Kg (Eisler, 1989; Owen et al., 1994).

Si no se cuenta con determinaciones de los niveles de concentración de este compuesto en agua, es de hacer notar que las detecciones en músculo de *H. argentinensis* y de *I. labrosus* se encuentran en valores inferiores a lo antes citado, con una concentración máxima de 0,002 mg/Kg. Dado que en las muestras del sitio Cercano a desembocadura del río Gualeguaychú (GBP2) es donde se detecta en mayor frecuencia el pentaclorofenol en musculo de peces (es hallado en cada una de las muestras analizadas), es probable que dichos compuestos sean originados en mayor medida en la zona afectada por las descargas de la desembocadura del río Gualeguaychú aunque la frecuencia de detección de este compuesto también supera el 50% de las muestras del sitio Referencia indicando varias fuentes de este compuesto. Dadas las concentraciones de efecto reportadas en la literatura, es posible concluir que las concentraciones de pentaclorofenol detectadas en este monitoreo probablemente no suponen un riesgo para la biota.

En cuanto a la detección de 0,001 mg/Kg de 2,6 Diclorofenol acumulado en músculos de un individuo de bagre trompudo en el sitio Cercano a desembocadura (GBP2), se entiende que este valor podía ser considerado como bajo ya que uno de los pocos trabajos publicados al respecto reporta concentraciones de línea de base en otros ambientes en un rango de entre 1 y 9 mg/kg de los diferentes compuestos clorofenólicos (Owens et al., 1994<sup>9</sup>).

### **Estructura Comunitaria**

Durante el presente monitoreo se realizó una descripción de la estructura de la comunidad de peces habiendo registrado en esta primera instancia una proporción significativa de la diversidad de especies reportada para el bajo río Uruguay, habiendo colectado en tres sitios, durante un día de muestreo en cada uno, aproximadamente el 50% de las especies registradas para todo el tramo compartido del río Uruguay.

---

<sup>8</sup> Singh, A.K., Chandra, R., 2019. Pollutants released from the pulp paper industry: Aquatic toxicity and their health hazards. *Aquatic toxicology*, 211, 202-216.

<sup>9</sup> Owens, J. W., Swanson, S. M., and Birkholtz, D. A. 1994b. Environmental monitoring of bleached kraft pulp mill chlorophenolic compounds in a Northern Canadian river system. *Chemosphere* 29:89-109.

## **Especies centinela**

Más allá de su poder descriptivo y de poder evaluar a futuro cambios en la estructura comunitaria en el tiempo en función de factores ambientales determinantes, los resultados obtenidos permiten evaluar la decisión tomada en cuanto a las especies centinela a utilizar. Es así que este primer muestreo ha validado la elección de la especie local bagre trompudo (*I. labrosus*) como primer especie objetivo ya que es la única de las especies de hábito local colectadas (es decir, descartando especies migradoras de grandes distancias como *M. obtusidens*, *S. brasiliensis* o *P. lineatus*, entre otras) que cumple con la condición de estar presente en todos los sitios de muestreo y en abundancia y biomasa tales que permiten la extracción del número de muestras estipulado (al menos 6 individuos y 500 gramos por sitio).

En cuanto a la elección de la especie *H. argentinensis*, en el presente no se colectaron individuos en el sitio Lejano a desembocadura (GBP3), únicamente obteniéndose tres muestras del sitio Referencia BBP1 y una del sitio Cercano a desembocadura (GBP2). No obstante, dada la relevancia como especie depredadora e integradora de vías energéticas que potencialmente demuestran procesos de bio-magnificación de contaminantes, se procedió al análisis de las muestras obtenidas apuntando a aumentar el esfuerzo de captura de esta especie en próximas instancias de monitoreo para generar una base de datos de más largo plazo que permita analizar al detalle la situación de bio-acumulación con esta especie. Alternativamente, en caso de no colectarse a futuro suficientes individuos de *H. argentinensis*, y a partir de los resultados comunitarios, podrán incorporarse otras especies complementarias como por ejemplo, las especies de vieja del agua *Paraloricaria vetula*, *Loricariichthys melanocheilus* o *Hypostomus commersoni* (Siluriformes, Loricariidae), cuya presencia común en todos los sitios y sus abundancias y biomásas colectadas permitirían al menos obtener un mínimo de tres muestras por sitio de estudio.

## **5.3. DIVERSIDAD DE BENTOS EN SEDIMENTO**

### **5.3.1. Metodología específica**

Con el objetivo de caracterizar el ensamble de organismos del bentos asociado a la fracción más fina del sedimento en la zona de influencia de la Desembocadura del río Gualeguaychú en el río Uruguay se colectaron tres muestras de sedimento durante cada campaña de monitoreo: una de un sitio aguas arriba de la desembocadura, Referencia, (GByS1), una de un sitio Cercano a la desembocadura (GByS2) y otra de un sitio Lejano a la desembocadura (GByS3). Durante 2019 se realizaron dos campañas de muestreo de sedimentos en esta zona de influencia: una el día 24 de abril y otra el día 14 de octubre.

El muestreo de sedimentos se realizó utilizando una draga Van Veen de 500 cm<sup>2</sup> de superficie de boca. En cada instancia de muestreo se colectó un volumen de sedimentos

finos (desde arena muy fina a arcilla) de aproximadamente tres dragas completas. Ese volumen colectado fue homogeneizado y de allí se tomó la muestra, que se almacenó en un recipiente de 4 litros con una solución de formol al 4% como preservante, para su posterior envío al laboratorio del Instituto Nacional de Limnología (INALI, Arg.) donde se realizó la determinación taxonómica de las especies presentes y sus abundancias.

El documento de formulación del programa de monitoreo plantea que el estudio de los atributos de las comunidades de bentos se efectúe a los fines de poder interpretar otros resultados del monitoreo de sedimentos intra-sitio, de modo que no se han llevado a cabo réplicas de muestreo como para realizar tests estadísticos de comparación entre diferentes sitios.

Atento a los fines planteados, lo que se realiza con los resultados obtenidos es una caracterización descriptiva, en términos de parámetros tales como la abundancia y riqueza de cada grupo hallado, correspondiente a la composición taxonómica del ensamble de macroinvertebrados asociados a los sedimentos finos muestreados en cada sitio.

### **5.3.2. Resultados de las determinaciones de campo**

En la tabla a continuación se detallan los taxa de macroinvertebrados colectados y sus abundancias en las muestras de sedimento fino obtenido en cada sitio de monitoreo.

Taxa y abundancia de bentos en sedimento.

Clase	Orden	Familia	Especie/taxa	Zona Referencia		Zona Cercana a la desembocadura		Zona Lejana a la desembocadura	
				Abril	Octubre	Abril	Octubre	Abril	Octubre
Bivalvia	Mytilida	Mytilidae	<i>Limnoperna fortunei</i>	-	-	3	-	-	2
	Veneroida	Corbiculidae	<i>Corbicula fluminea</i>	-	-	4	-	2	-
Clitellata	Haplotaxida	Naididae	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	-	-	1	-	-	-
			<i>Tubificinae sp.</i>	-	-	3	-	-	-
			<i>Bothrioneurum sp.</i>	-	8	-	20	-	2
		Megadrilacea	<i>Megadrili sp.</i>	-	1	-	-	-	-
		Alluroididae	Alluroididae	-	-	-	2	-	-
Hirudinea	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	<i>Hirudinoidea sp.</i>	1	-	-	-	-	-
Insecta	Diptera	Chironomidae	<i>Parachironomus sp.</i>	-	-	1	-	-	-
<b>Abundancia total</b>				1	9	12	22	2	4
<b>Riqueza de taxa total</b>				1	2	5	2	1	2

Se ha registrado en total la presencia de nueve taxa de macroinvertebrados en los sedimentos finos de la zona de influencia de la desembocadura del río Gualeguaychú; tres de estos taxa han sido registrados en el sitio Referencia localizado aguas arriba de la desembocadura, siete en el sitio Cercano a desembocadura y tres de ellos en el sitio Lejano a desembocadura del río Gualeguaychú. Entre los grupos taxonómicos que dominan los ensamblajes se destacan los oligoquetos (Clitellata) de la familia Naididae (con tres especies registradas). También se identificaron individuos de las familias Megadrilacea y Alluroididae (con una especie cada una). Se han registrado dos especies de bivalvos exóticos invasores: *Corbicula fluminea* y *Limnoperna fortunei*, larvas una especie del género *Parachironomus* correspondiente a la familia Chironomidae de dípteros (insectos) y un individuo de la clase hirudínea.

### 5.3.3. Conclusiones sobre la matriz bentos en sedimento

Los ensamblajes de macroinvertebrados asociados a sedimentos finos han resultado muy variables entre los dos muestreos realizados en cada zona, colectando una composición diferente en cada instancia, siendo la única especie colectada consistentemente en todos los sitios durante una instancia de muestreo (octubre de 2019) el oligoqueto *Bothrioneurum* sp.

Los menores valores de riqueza y abundancia se han encontrado en el muestreo del mes de abril de 2019 para el sitio Referencia (GByS1) con 1 individuo perteneciente a 1 taxa y para la zona Lejana a desembocadura (GByS3) con 2 individuos y 1 taxa. En tanto para la zona Cercana a desembocadura (GByS2) la menor abundancia se da también para ese muestreo (12 individuos), pero la riqueza resulta menor en el muestreo de octubre (5 taxa en abril y 2 taxa en octubre). La mayor riqueza registrada se da para el mes de abril en el sitio Cercano a desembocadura (GByS2) con 5 taxa y la mayor abundancia en el mes de octubre con 22 individuos, para el mismo sitio.

Las especies o taxa halladas pertenecen mayoritariamente a grupos como los oligoquetos, los hirudíneos y los quironómidos, que son conocidas por habitar ambientes dominados por sedimentos finos y muchas veces con bajo nivel de oxígeno, por lo cual muchas de ellas poseen adaptaciones a tolerar la anoxia del sedimento. Es por esto que las especies presentes en este ambiente pueden ser clasificadas como especies tolerantes a condiciones de alta carga de materia orgánica y bajas concentraciones de oxígeno.

Si bien con los resultados que se exponen en este informe no es posible aún observar patrones claros ni analizar potenciales diferencias en abundancias y riquezas específicas, es esperable que a futuro -a partir de la acumulación de información en el tiempo con los sucesivos monitoreos- se puedan analizar posibles patrones en la composición de los ensamblajes de macroinvertebrados asociados a sedimentos finos en cada sitio.

## CAPÍTULO VI: ENSAYOS DE TOXICIDAD

### 6.1. TOXICIDAD AGUDA

#### 6.1.1. Metodología específica

Para los estudios de toxicidad aguda, se determinó un punto cercano a la desembocadura del río Gualeguaychú, denominado G2 (ver Figura 1). En ese sitio se realizaron estudios de toxicidad aguda en muestras de agua con *Daphnia magna* y con *Vibrio fischeri* (Microtox), con una frecuencia trimestral.

Las muestras de agua para la determinación de toxicidad aguda se colectaron realizando una muestra compuesta a tres profundidades (1 m por debajo de la superficie, mitad de columna y 1 m por encima del fondo, siempre que esto fuera posible). Las muestras se tomaron con una bomba peristáltica cuya succión estaba adosada al cuerpo de una sonda multiparamétrica con la que se midieron parámetros in situ (pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, turbidez y clorofila).

Los ensayos de toxicidad aguda iniciaron a partir segundo muestreo del año, realizado en el mes de abril de 2019.

Los ensayos de toxicidad aguda con *Daphnia magna* (determinación de EC50, 48 h, es decir concentración efectiva 50; concentración a la cual el 50 % de los organismos presentan uno o más efectos ante la exposición a un compuesto) fueron realizados por el Laboratorio Tecnológico de Uruguay (LATU) siguiendo la metodología PEC. PQAR.607 basado en Environment Canadá EPS 1/RM/14. Second Edition. Dec. 2000.

Los ensayos de toxicidad aguda con *Vibrio fischeri* (Microtox) (IC 50, concentración que es capaz de inhibir el 50 % de la emisión de luz en un tiempo dado, en la bacteria marina bioluminiscente *Vibrio fischeri*. Los cambios en la luminiscencia se deben a cambios en el ritmo respiratorio debido a un cambio en el metabolismo o a daños en la estructura celular) fueron encargados al laboratorio LATU, quien a su vez lo tercerizó. Para el citado ensayo se siguió la metodología referida en el Manual de Procedimientos analíticos para muestras ambientales, 6059 UY - 6069UY, segunda edición, 2009, Dinama.

#### 6.1.2. Resultados

##### Toxicidad aguda en *Daphnia magna* (EC50 48 hs)

Sitio G2	Abril 2019	Julio 2019	Octubre 2019
Resultado (%)	s/d	>100%	s/d
Observaciones	- *	No tóxico	- *

\*Los resultados para estos meses de abril y octubre (mayor que 100% en ambos casos) fueron rechazados debido a que se excedieron los tiempos máximos de almacenamiento establecidos previo al análisis.

##### Toxicidad agua en Microtox® (*Vibrio fischeri*) (IC50)

Sitio G2	Abril 2019	Julio 2019	Octubre 2019
Resultado (%)	s/d	>100%	s/d
Observaciones	-*	No tóxico	-*

\*Los resultados para estos meses de abril y octubre (mayor que 100% en ambos casos) fueron rechazados debido a que se excedieron los tiempos máximos de almacenamiento establecidos previo al análisis.

### 6.1.3. Conclusiones respecto a la toxicidad aguda

Para el periodo informado no se detectó toxicidad aguda con *Daphnia magna* en ninguna de las muestras analizadas por el laboratorio. Del mismo modo, no se detecta toxicidad aguda con *Vibrio fischeri* (ensayo Microtox®) en ninguna de las muestras analizadas por el laboratorio.

A fin de asegurar la validez de los resultados analíticos contratados, se insistió en la solicitud a los laboratorios respecto al cumplimiento de los tiempos máximos de almacenamiento de muestras definidos por el Comité Científico siguiendo lo establecido en la normativa internacional de referencia.

## 6.2. TOXICIDAD CRÓNICA EN MUESTRAS DE AGUA

### 6.2.1. Metodología específica

Para los estudios de toxicidad crónica el diseño del programa prevé determinaciones en tres puntos de muestreo: un sitio de Referencia aguas arriba de la desembocadura, un sitio de muestreo Cercano a la desembocadura y un tercer sitio Lejano a la desembocadura. Estos sitios son coincidentes con los sitios donde se toman muestras de sedimentos.

La frecuencia de este muestreo fue semestral y se trabajó con dos especies, un pez (*Pimephales promelas*) de referencia internacional y un crustáceo anfípodo (*Hyalella curvispina*) que es una especie local (habita el río Uruguay) y que se utiliza regionalmente como especie de referencia. Ambas especies tienen metodologías validadas para análisis de toxicidad crónica.

Las muestras de agua para la determinación de toxicidad crónica se colectaron realizando una muestra simple en la mitad de la columna de agua. Las muestras se tomaron con bomba peristáltica con succión adosada al cuerpo de una sonda multiparamétrica con la que se midieron parámetros in situ (pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, turbidez y clorofila).

Para los ensayos de toxicidad crónica sobre larvas del pez *Pimephales promelas*, se evaluaron efectos sobre la supervivencia y crecimiento (LC50 96 hs., LC50 7 días y efectos en biomasa). El método se basa en los efectos adversos sobre la supervivencia y el crecimiento de los organismos expuestos a muestras de agua con relación a grupos de control específicos para cada muestra, según la metodología de EPA "Short-term methods for estimating the chronic

toxicity of effluents and receiving waters to freshwater organisms 4th edition (2002) EPA-821-R-02-013” Method 1000.0: Fathead minnow, *Pimephales promelas*, larval survival and growth; Chronic Toxicity”. Los análisis fueron realizados por el Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU).

Para los ensayos de toxicidad crónica con el anfípodo *Hyalella curvispina* se realizaron determinaciones de supervivencia, crecimiento y reproducción sobre ensayos de 96 hs de exposición. El método se basa en los efectos adversos sobre la supervivencia y además se determinan efectos sobre crecimiento y reproducción de los organismos expuestos a muestras de agua basados en los métodos de EPA: “Short-term methods for estimating the chronic toxicity of effluents and receiving waters to freshwater organisms, fourth edition, October 2002” y “Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms, fifth edition, October 2002”, con modificaciones menores. Estos ensayos fueron realizados por el Laboratorio del Instituto Nacional de Limnología (INALI).

Los monitoreos de toxicidad se realizaron en los meses de abril y octubre de 2019. Para el mes de abril de 2019 se analizó únicamente la muestra extraída en el sitio G2 que se encuentra Cercano a la desembocadura del río Gualaguaychú. Para el mes de octubre se realizaron análisis de toxicidad crónica en los sitios G1 y G6 (zona Referencia), G3 y G4 (zona Cercana a desembocadura) y G2 y G5 (zona Lejana a desembocadura, ver Figura 1).

## 6.2.2. Resultados

### Toxicidad en *Pimephales promelas*

#### Abril de 2019

En el mes de abril se realizó el análisis de toxicidad aguda con *Pimephales promelas* en el sitio G2, indicado como resultado no tóxico, aunque ese resultado fue rechazado debido a que se excedió el tiempo máximo de almacenamiento establecido previo al análisis.

A fin de asegurar la validez de los resultados analíticos contratados, se insistió en la solicitud a los laboratorios respecto al cumplimiento de los tiempos máximos de almacenamiento de muestras definidos por el Comité Científico siguiendo lo establecido en la normativa internacional de referencia.

#### Octubre 2019

Para los análisis del mes de octubre no se registran efectos sobre la mortalidad de larvas del pez *Pimephales promelas* a las 96 hs (toxicidad aguda) ni a los 7 días (toxicidad crónica).

En la muestra del sitio G5 (Lejano a desembocadura) se ha detectado cambios significativos ( $p < 0,05$ ) en la biomasa de las larvas con respecto a su grupo control (una disminución en biomasa de los organismos) cuando los individuos han sido expuestos durante 96 hrs a la

muestra de agua directamente extraída del río (concentración 100%). Para ninguno de los restantes sitios se ha detectado efectos significativos sobre la biomasa respecto a su grupo control ( $p>0,05$ ) cuando los individuos han sido expuestos directamente a la muestra extraída.

El laboratorio ha informado también acerca de la detección de cambios significativos en los individuos expuestos a distintas fracciones de muestras de agua del río, en diluciones crecientes con niveles de concentración 50%, 25%, 12,5% y 6,25%, en todos los casos comparando la biomasa luego de 96 hrs de exposición contra el respectivo grupo control del sitio evaluado. Se detectó una disminución significativa ( $p<0,05$ ) en la biomasa con respecto al grupo control para las concentraciones al 25% y 6,25% de agua de río en el sitio G1 (Referencia) y para una concentración al 50% de agua de río en el sitio G5 (Lejano a desembocadura). Para los restantes sitios y diluciones no se observaron diferencias significativas ( $p>0,05$ ).

Se presenta a continuación la tabla con los estudios de toxicidad correspondiente para el mes de octubre de 2019:

Sitio	Parámetro	Resultado	Unidad
<b>G1</b>	Toxicidad aguda LC50 (96hs)	>100	%
	Toxicidad crónica LC50 (7d)	>100	%
	Efectos de biomasa	Las concentraciones al 25 % y 6,25% produjeron una disminución en la biomasa de los organismos.	%
<b>G2</b>	Toxicidad aguda LC50 (96hs)	>100	%
	Toxicidad crónica LC50 (7d)	>100	%
	Efectos de biomasa	Sin efecto	%
<b>G3</b>	Toxicidad aguda LC50 (96hs)	>100	%
	Toxicidad crónica LC50 (7d)	>100	%
	Efectos de biomasa	Sin efecto	%
<b>G4</b>	Toxicidad aguda LC50 (96hs)	>100	%
	Toxicidad crónica LC50 (7d)	>100	%
	Efectos de biomasa	Sin efecto	%
<b>G5</b>	Toxicidad aguda LC50 (96hs)	>100	%
	Toxicidad crónica LC50 (7d)	>100	%

	Efectos de biomasa	Las concentraciones al 100% y 50% produjeron una disminución en la biomasa de los organismos.	%
<b>G6</b>	Toxicidad aguda LC50 (96hs)	>100	%
	Toxicidad crónica LC50 (7d)	>100	%
	Efectos de biomasa	Sin efecto	%

Téngase presente que los resultados aquí presentados para toxicidad aguda y crónica en *Pimephales promelas* durante el mes de octubre de 2019 fueron realizados sobre muestras que debieron ser congeladas, debido a que en caso contrario se excederían los tiempos máximos de almacenamiento establecidos previo al análisis. A fin de asegurar la validez de los resultados analíticos contratados, se insistió en la solicitud a los laboratorios respecto al cumplimiento de los tiempos máximos de almacenamiento de muestras definidos por el Comité Científico siguiendo lo establecido en la normativa internacional de referencia.

### Toxicidad crónica en *Hyalella curvispina*

Abril de 2019

Para el mes de abril de 2019, no se observaron efectos de la muestra correspondiente al sitio G2 respecto a la supervivencia de *Hyalella curvispina*.

*Supervivencia (%) de Hyalella curvispina para el mes de abril de 2019.*

Supervivencia (%)		
Hora	Muestra	
	C0	G2
0	100	100
24	100	100
48	100	100
72	100	100
96	100	100

Tampoco se observaron efectos de crecimiento a 9 días de exposición respecto al grupo Control C0 ( $p > 0,05$ ).

Con respecto a la reproducción (apareamiento) la exposición de los organismos a muestras de agua provenientes del sitio G2 no provocó interrupciones en el amplexo precopulatorio, ya que no se observaron diferencias significativas entre las parejas pertenecientes al grupo Control (C0) y los individuos expuestos a la muestra del sitio G2 ( $p > 0,05$  en todas las horas).

*Estudio de reproducción de Hyalella curvispina respecto al porcentaje de parejas en amplexo precopulatorio, abril 2019.*

Porcentaje de parejas en amplexo precopulatorio					
Tratamiento	Hora				
	1	2	3	4	24
<b>C0</b>	100	90	90	90	90
<b>G2</b>	100	100	100	100	100

Adicionalmente no se detectaron diferencias en el número de neonatos por hembra con respecto al grupo Control C0.

### Octubre 2019

Respecto al mes de octubre de 2019 los estudios de supervivencia reportan un efecto letal del 5% en la muestra correspondiente al sitio G4 (Cercano a desembocadura).

*Supervivencia (%) de Hyalella curvispina para el mes de octubre de 2019.*

Supervivencia (%)							
Hora	Muestra						
	C0	G1	G2	G3	G4	G5	G6
<b>0</b>	100	100	100	100	100	100	100
<b>24</b>	100	100	100	100	100	100	100
<b>48</b>	100	100	100	100	95	100	100
<b>72</b>	100	100	100	100	95	100	100
<b>96</b>	100	100	100	100	95	100	100

También se reportó una disminución estadísticamente significativa en el crecimiento de los individuos luego de 18 días de exposición a la muestra correspondiente al sitio G5 (Lejano a desembocadura) con respecto al grupo Control.

Los estudios de reproducción (apareamiento) indican que la exposición a las muestras no provocó interrupciones en el amplexo precopulatorio, y no se observaron diferencias significativas entre las parejas pertenecientes al grupo Control y a los individuos expuestos a las muestras de los seis sitios relevados ( $p > 0,05$ ).

*Estudio de reproducción de Hyalella curvispina respecto al porcentaje de parejas en amplexo precopulatorio, octubre 2019.*

Porcentaje de parejas en amplexo precopulatorio	
	Hora

Tratamiento	1	2	3	4	24
C0	100	90	80	70	60
G1	90	90	90	80	40
G2	100	100	100	100	50
G3	100	90	80	90	80
G4	100	90	90	90	70
G5	100	100	100	80	50
G6	100	100	100	100	60

Tampoco se observaron diferencias significativas en el número promedio de neonatos producidos por hembra. Sin embargo, las muestras de los sitios G1 (Referencia) y G3 (Cercano a desembocadura) produjeron menos neonatos en total que la muestra del grupo Control.

*Estudio de reproducción de Hyalella curvispina respecto a neonatos por tratamiento, octubre 2019.*

Neonatos por tratamiento	
Tratamiento	Neonatos
C0	17
G1	3
G2	16
G3	0
G4	27
G5	9
G6	14

### 6.2.3. Conclusiones respecto a la toxicidad crónica en agua

En relación con la presencia de efectos de toxicidad crónica en *Pimephales promelas*, al exponer los organismos directamente al agua del río (concentración al 100%) no se han detectado cambios significativos en la supervivencia. Con respecto a los efectos sobre el crecimiento, únicamente se ha registrado una disminución significativa en la biomasa para las larvas de *Pimephales promelas* luego de 96 hrs expuestas a la muestra (concentración al 100%) del sitio G5 (Lejano a desembocadura). Se ha registrado también una disminución significativa en la biomasa respecto al grupo Control para los sitios G1 y G5 al ser expuestos los organismos a condiciones experimentales con agua del río diluida al 25 % y 6,25 % en el primero de los casos y diluida al 50 % en el segundo.

Los bioensayos con *Hyalella curvispina* muestran que no se ha detectado afectación a la supervivencia para ninguno de los sitios monitoreados en las dos campañas realizadas, excepto para el sitio G4 (Cercano a desembocadura) en la campaña del mes de octubre de 2019 para la cual se reportó un efecto letal del 5%, aunque sin la posibilidad de asignar

significación estadística a este resultado visto la cantidad de réplicas utilizadas en este bioensayo. En relación a los efectos sobre el crecimiento, se observó únicamente una disminución estadísticamente significativa en el crecimiento de los individuos expuestos a la muestra del sitio G5 (Lejano a desembocadura) con respecto al grupo Control. En cuanto a efectos sobre la reproducción, no se observaron diferencias significativas en el amplexo precopulatorio entre las parejas pertenecientes al grupo Control (C0) y los individuos expuestos a las muestras tomadas en los distintos sitios monitoreados ( $p > 0,05$  en todas las horas), sin perjuicio de que las muestras de los sitios G1 (Referencia), G3 (Cercano a desembocadura) y G5 (Lejano a desembocadura) produjeron menos neonatos en total que el grupo Control para el muestreo del mes de octubre de 2019, aunque para ambos muestreos no se detectaron diferencias estadísticamente significativas en el número de neonatos por hembra con respecto al grupo Control.

### 6.3. TOXICIDAD CRÓNICA EN MUESTRAS DE SEDIMENTO

#### 6.3.1. Metodología específica

La toxicidad crónica en sedimento se estudió con una frecuencia semestral, siendo el primer monitoreo de esta matriz realizado en el mes de abril de 2019, completando el segundo muestreo del año en el mes de octubre de 2019. En la zona de la desembocadura del río Gualeguaychú en el río Uruguay, se ubicaron tres sitios de muestreo para el estudio, uno aguas arriba de la desembocadura (Referencia, GByS1), otro aguas abajo de la mencionada desembocadura (Cercano a desembocadura, GByS2) y el tercero más alejado (Lejano a desembocadura, GByS3). Se remite a la Figura 1 para la localización de estos sitios.

Las muestras se extrajeron con draga Van Veen, modelo Fisalia mediana, de 15,8 kg de peso y una dimensión de área muestral de 20,4 cm x 25,3 cm; construida en material inoxidable AISI 304 con plomo confinado. Los sedimentos de preferencia buscados en el muestreo fueron aquellos finos, preferentemente de arena muy fina o menor. En todos los casos las determinaciones de toxicidad crónica se realizaron sobre las muestras completas de sedimentos extraídas del lecho del río.

Para la determinación de la toxicidad crónica en sedimentos se utilizó el anfípodo *Hyalella curvispina* (especie que habita el río Uruguay). Se determinó supervivencia y crecimiento de los organismos exponiendo cinco réplicas (con diez organismos cada una) al sedimento de cada sitio durante diez días en relación a un grupo Control).

Los análisis se realizaron siguiendo la metodología establecida en la Norma IRAM 29123, "Determinación de la toxicidad de sedimentos de agua dulce usando *Hyalella curvispina*". USEPA. 2000. Methods for measuring the toxicity and bioaccumulation of sediment-associated contaminants with freshwater invertebrates. Second Edition. EPA 600/R-99/064. Estos análisis fueron realizados en el Laboratorio del Programa de Ecofisiología Aplicada, perteneciente al Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable (INEDES), Universidad Nacional de Luján, (UNLU).

### 6.3.2. Resultados

#### Toxicidad crónica en sedimentos con *Hyalella curvispina*

Abril 2019

Para los estudios correspondientes al mes de abril ninguna de las muestras evaluadas presentó mortalidad significativa de los animales respecto al Control ( $p > 0,05$ ). Se obtuvieron supervivencias en promedio mayores al 75% en todos los casos, mientras que la supervivencia del grupo Control fue en promedio del 80% (lo que cumple con los criterios aceptados por la USEPA (2000) para bioensayos con sedimento completo).

*Estudios de supervivencia de Hyalella curvispina, abril 2019. Supervivencia (%) (+/-) desvío estándar a tiempo final del ensayo (n=5) para los diferentes tratamientos.*

Tratamiento	Supervivencia
Control	80 (+/-)11
GByS1	76 (+/-)9
GByS2	82 (+/-)11
GByS3	84 (+/-)25

En referencia a los parámetros de crecimiento determinados para las muestras del mes de abril (longitud y peso), no se observaron diferencias significativas entre los anfípodos expuestos a las muestras evaluadas en relación al grupo Control ( $p > 0,05$ , Figura 137).

Otro resultado de los ensayos reportados indica un crecimiento de los individuos con un aumento significativo en relación al grupo inicial en el peso de los animales expuestos al sedimento Control y a las muestras GByS1 (Referencia) y GByS2 (Cercano a desembocadura), en tanto los organismos expuestos a la muestra GByS3 (Lejano a desembocadura) no incrementaron su peso significativamente en relación al tiempo inicial del ensayo (Figura 137).

TRATAMIENTO	LONGITUD (mm/ind)		PESO (mg/ind)	
	MEDIA	DESUDIO ESTANDAR	MEDIA	DESUDIO ESTANDAR
TIEMPO INICIAL	4,16	0,73	0,45	0,22
CONTROL	4,85	0,83	0,87	0,32

<b>GByS1</b>	4,82	0,76	0,76	0,29
<b>GByS2</b>	4,87	1,14	0,86	0,52
<b>GByS3</b>	4,54	0,98	0,64	0,38

En la Figura 137, correspondiente a los resultados obtenidos para el mes de abril de 2019, se observan los valores de peso (media y desvío estándar en mg) registrados para los tratamientos de *Hyaella curvispina* expuestos a sedimentos de un sitio Control y de cada sitio de estudio, en comparación con el peso previo a la exposición (“Tiempo Inicial”). Las letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los distintos tratamientos.

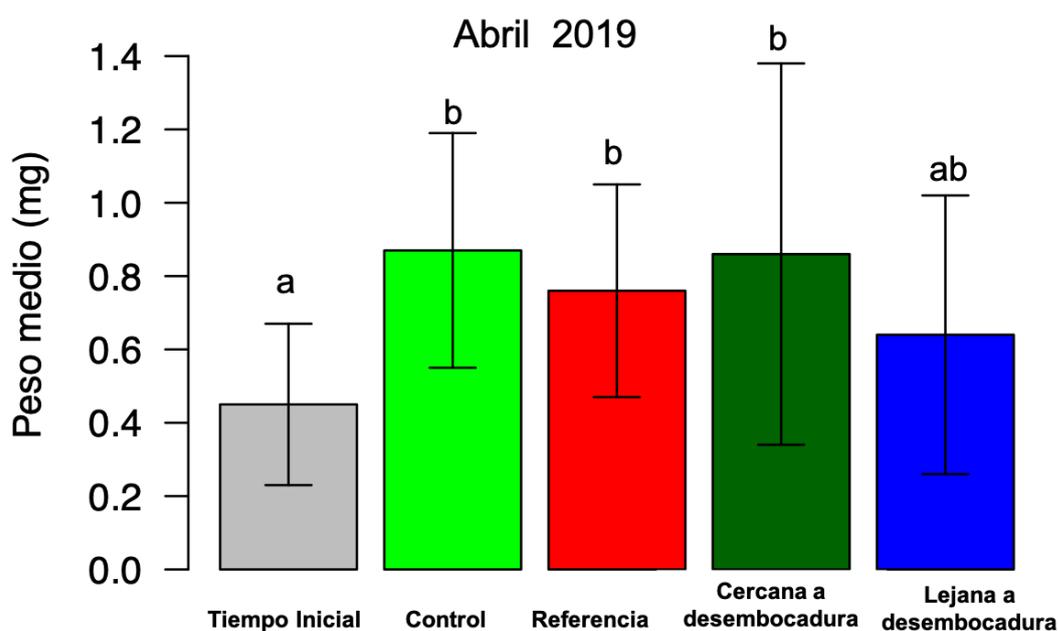


Figura 137: Estudio de crecimiento de *Hyaella curvispina*, abril de 2019.

### Octubre 2019

En referencia a los estudios de supervivencia, en ninguna de las muestras analizadas hubo mortalidad significativa de los animales respecto al Control ( $p > 0,05$ ). El porcentaje de supervivencia de los anfípodos expuestos al sedimento Control fue en promedio del 98%, cumpliendo con los criterios aceptados por USEPA (2000) para bioensayos con sedimento

completo, mientras que el promedio de supervivencia para todos los sitios monitoreados resultó por encima del 93%.

En cuanto al estado general de los animales al finalizar el ensayo, los anfípodos expuestos a los sedimentos rotulados como GByS1 (Referencia) y GByS3 (Lejano a desembocadura) no presentaron un buen aspecto, debido a una menor coloración y en algunos casos a la presencia de manchas en los ojos.

*Estudio de supervivencia de Hyalella curvispina, octubre 2019. Supervivencia (%) (+/-) desvío estándar a tiempo final del ensayo (n=5) para los diferentes tratamientos.*

Tratamiento	Supervivencia
Control	98 (+/-)5
GByS1	94(+/-)9
GByS2	96(+/-)5
GByS3	98 (+/-)5

En referencia a los posibles efectos sobre el crecimiento, se observó un aumento significativo tanto en el peso como en la longitud de los animales expuestos a los sedimentos Control y a los de los sitios GByS2 (Cercano a desembocadura) y GByS3 (Lejano a desembocadura), en relación al grupo inicial, en tanto que los expuestos a los sedimentos de la muestra GByS1 (Referencia) no incrementaron estos parámetros significativamente, en relación al tiempo inicial del ensayo (Figura 138).

*Estudio de crecimiento de Hyalella curvispina, octubre 2019.*

TRATAMIENTO	LONGITUD (mm/ind)		PESO (mg/ind)	
	MEDIA	DESVIO ESTANDAR	MEDIA	DESVIO ESTANDAR
TIEMPO INICIAL	2,83	0,43	0,25	0,09
CONTROL	3,49	0,61	0,46	0,24
GByS1	3,48	0,75	0,37	0,23
GByS2	3,79	0,54	0,47	0,19
GByS3	3,66	0,62	0,42	0,21

En la Figura 138, correspondiente a los resultados obtenidos para el mes de octubre de 2019, se observan los valores de peso (media y desvío estándar en mg) registrados para los tratamientos de *Hyalella curvispina* expuestos a sedimentos de un sitio Control y de cada sitio

de estudio, en comparación con el peso previo a la exposición (“Tiempo Inicial”). Las letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los distintos tratamientos.

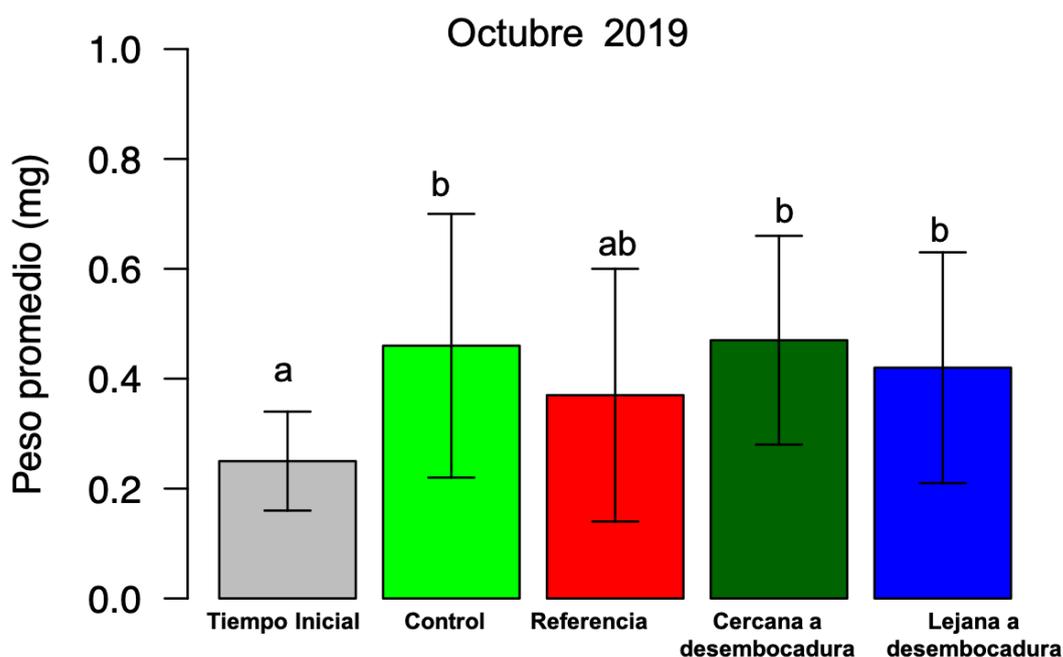


Figura 138: Estudio de crecimiento de *Hyaella curvispina*, octubre de 2019.

### 6.3.3. Conclusiones respecto a la toxicidad crónica en sedimento

En cuanto a la toxicidad crónica en sedimento ninguna de las muestras evaluadas presentó mortalidad significativa de los animales respecto al Control ( $p > 0,05$ ) y los porcentajes promedio de supervivencia en las distintas muestras e instancias variaron entre 76 y 98 %.

En cuanto a los efectos sobre el crecimiento a tiempo final del ensayo, en ninguna de las dos instancias de monitoreo se ha detectado diferencias respecto al grupo Control en el crecimiento de los individuos expuestos al sedimento de GByS1 (Referencia), GByS2 (Cercano a desembocadura), y GByS3 (Lejano a desembocadura), ni tampoco diferencias significativas en el crecimiento entre los tres distintos sitios.

En cuanto al crecimiento registrado con respecto al tiempo inicial luego de exponer a *Hyaella* al sedimento de cada sitio por 10 días, los patrones entre los dos bioensayos realizados son levemente diferentes, siendo que en el bioensayo de abril los individuos analizados para

GByS3 (Lejano a desembocadura) fueron los únicos que no crecieron significativamente luego de la exposición a los sedimentos, mientras que para el bioensayo de octubre tal situación se dio para los individuos expuestos a los sedimentos de GByS1 (Referencia). Durante el monitoreo de octubre, además, el laboratorio indica que al final del ensayo los organismos expuestos a los sedimentos de GByS1 y GByS3 presentaron mal aspecto.

#### 6.4. CONCLUSIONES RESPECTO A LOS ESTUDIOS DE TOXICIDAD

No se ha detectado toxicidad aguda en ninguno de los ensayos realizados en la zona de influencia bajo estudio, ni se han detectado efectos sobre la supervivencia de los diferentes organismos modelo analizados (el micro crustáceo *Daphnia magna*, el anfípodo *Hyaella curvispina* y el pez *Pimephales promelas*) al ser expuestos al agua (y también al sedimento en caso de *Hyaella curvispina*) correspondiente a los sitios Cercano y Lejano a desembocadura. De hecho, no se han registrado efectos en la supervivencia en ninguno de los sitios analizados, excepto una mortandad leve (menor al 10%) en las *H. curvispina* expuestas al agua del sitio G4 (Cercano a desembocadura), durante el bioensayo desarrollado en octubre de 2019. De forma global se concluye que el agua y sedimentos del río en la zona de monitoreo no afectan la supervivencia de los organismos acuáticos analizados.

En relación con la presencia de efectos de toxicidad crónica en *Hyaella curvispina* y *Pimephales promelas* para las muestras de agua del río, se han obtenido resultados diferentes entre los monitoreos de abril y de octubre de 2019. Mientras que durante el monitoreo de abril al exponer a individuos de *H. curvispina* al agua del río no se han detectado cambios significativos ni en la actividad copulatoria de los anfípodos ni en su crecimiento, en el mes de octubre se ha registrado un efecto sobre el crecimiento (disminución de la biomasa de los organismos con respecto al grupo Control) en los individuos expuestos al agua colectada en el sitio G5 (Lejano a desembocadura). Consistentemente, durante el monitoreo de octubre también se reportó un efecto en el crecimiento (disminución de la biomasa de los organismos con respecto al grupo Control) para las larvas del pez *P. promelas* que fueran expuestas a la muestra de agua colectada en el sitio G5 (Lejano a desembocadura).

En referencia a la toxicidad crónica analizada en el sedimento, los ensayos con *Hyaella* desarrollados muestran que no se registran efectos sobre la supervivencia de los organismos expuestos a los sedimentos de ninguno de los tres sitios analizados, ni tampoco diferencias significativas entre estos tres sitios en el crecimiento que han tenido a la finalización del ensayo. No obstante, se ha observado un comportamiento diferente en las dos instancias de monitoreo realizadas en cuanto al aumento en el peso de los organismos expuestos a las distintas muestras en relación a los del Tiempo inicial, asunto que deberá seguirse en futuros muestreos.

A modo general, si bien no se han detectado efectos de toxicidad aguda o sobre la supervivencia de los organismos sí se ha detectado consistentes efectos crónicos sobre el crecimiento tanto para los anfípodos como para los peces que fueran expuestos al agua tomada del sitio Lejano a desembocadura (G5) durante el monitoreo de octubre de 2019, registrando menores tasas de crecimiento en este sitio que en el Control para ambos tipos de

organismos, y además en ese mes de octubre se detectó también un aspecto descolorido para los individuos de *H. curvispina* expuestos a los sedimentos del sitio GByS3 (Lejano a desembocadura). Esto podría deberse a una disponibilidad diferencial de nutrientes o a la incorporación de sustancias químicas que de alguna manera perjudiquen los mecanismos de crecimiento de los organismos en la zona Lejana a la desembocadura, debiendo esto ser profundizado con una mayor disponibilidad de datos.

## CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

A partir de la implementación de esta actividad de monitoreo reformulada se concretó un abordaje integral, atendiendo al seguimiento de parámetros específicos en múltiples matrices ambientales y generando en consecuencia distintos niveles de información complementaria, respecto a los efectos ambientales que implica el ingreso de las aguas del río Gualeguaychú al río Uruguay. De este modo las aproximaciones a múltiples matrices permiten analizar tanto la ocurrencia específica de cambios en las distintas zonas de posible afectación como consecuencia de la descarga del río Gualeguaychú, en los niveles de los diferentes parámetros físicos y químicos e indicadores utilizados para la caracterización de cada una de las matrices abordadas, como también explorar las correlaciones entre los resultados obtenidos para las diferentes matrices.

### **Sobre la matriz agua**

En lo que refiere a la matriz agua, se compararon estadísticamente los valores de 59 parámetros medidos en el agua del río Uruguay de muestras obtenidas en cuatro campañas en una zona Referencia (que se presume la condición del Río Uruguay no afectada por la desembocadura del río Gualeguaychú), en una zona Cercana y otra Lejana a la desembocadura del río Gualeguaychú.

En líneas generales, en las zona de influencia de la desembocadura del río Gualeguaychú se observaron cambios estadísticamente significativos con respecto a la condición del río Uruguay atribuibles a la descarga del río Gualeguaychú en los parámetros: amoníaco, antimonio, alcalinidad, aluminio, AOX, arsénico, azufre, bario, boro, calcio, cloruro, cobalto, carbono orgánico total y disuelto, cromo, DQO, dureza, estroncio, fluoruro, fósforo, litio, molibdeno, manganeso, níquel, ortofosfato, plomo, potasio, silicio, sodio, uranio, vanadio y zinc, nitrato y nitrito + nitrato. Cabe mencionar que para la mayoría de los parámetros los valores aumentan al recibir aportes del río Gualeguaychú, con la excepción de los parámetros nitrato y nitrito + nitrato cuyas concentraciones decrecen hacia la zona de afectación de la desembocadura del río Gualeguaychú.

En relación con la agrupación realizada de los seis sitios de muestreo en las tres zonas de estudio, corresponde hacer notar que ello resultó en una variabilidad importante en los valores de los parámetros de calidad de agua dentro de cada zona de estudio, siendo esto particularmente apreciable para la zona Cercana a desembocadura (conformada con los sitios G3 y G4). En esta zona Cercana, en 31 de los casos en los que los resultados de los parámetros medidos son significativamente mayores que los de la zona Referencia ello se debe mayoritariamente a los elevados valores del sitio G3. El sitio G3 se encuentra ubicado en una bahía donde las condiciones del flujo de agua son más lentas, lo que a su vez genera una zona propicia para la sedimentación de la carga de finos que accede hasta ese lugar, y donde el tiempo de residencia de las descargas que hasta allí llegan se incrementa sensiblemente en particular cuando las condiciones de nivel del río Uruguay restringen la libre descarga del río Gualeguaychú.

Además, mediante la aplicación de análisis multivariados se ha observado que los patrones espaciales en los parámetros de calidad de aguas parecen altamente dependientes de la condición hidrológica del río al momento de cada monitoreo. En los escenarios de caudales más altos todos los sitios analizados, excepto G3, presentan condiciones de calidad de agua similares a los observados en el canal principal del río Uruguay (sitios G1 y G6), mientras que en los escenarios con menores caudales del río Uruguay surgen condiciones que posibilitan identificar las condiciones particulares del río Gualeguaychú en su ingreso al río Uruguay en varios de los sitios ubicados en la Zonas Cercana y Lejana a Desembocadura (G2, G4 y G5).

Se ha registrado incumplimiento de lo normado en el Digesto de CARU vigente a la fecha del monitoreo para cuatro parámetros: oxígeno disuelto, pH, hierro y manganeso. Los incumplimientos en oxígeno disuelto fueron registrados durante el muestreo realizado de enero de 2019 con valores inferiores al límite normativo en todos los sitios (a excepción del sitio G6, Referencia), como así como por la boya equipada con sonda multiparamétrica, que midió en el registro continuo valores inferiores a ese límite durante un periodo total de 12 días (primero entre el 27 de enero y el 2 de febrero y luego entre los días 5 y 9 de febrero). También durante el muestreo del 28 de enero se observaron incumplimientos de los estándares para pH en todos los sitios de estudio. Estos incumplimientos, tanto en oxígeno disuelto como en pH, se han constatado en periodos con gran caudal circulante (tanto por el río Uruguay como por el río Gualeguaychú) y muy alta turbidez, con lo cual resulta esperable que esa menor concentración de oxígeno pueda -al menos en parte- corresponder a tales condiciones, en las que una menor penetración de la luz (por la alta turbidez) afecta la producción de oxígeno por parte de los productores y a su vez la alta disponibilidad de materia orgánica potencia comunidades microbianas consumidoras de oxígeno. Siendo que la concentración de oxígeno disuelto se vincula directamente a la supervivencia de los organismos acuáticos, pudiendo las condiciones de hipoxia prolongadas causar efectos letales o crónicos en peces e invertebrados corresponde mencionar que las concentraciones mínimas de oxígeno disuelto aquí registradas variaron entre 4,4 y 5,59 mg/L, siendo que trabajos realizados en otras latitudes y para otras especies de peces reportan efectos crónicos a partir de menos de 5 mg/L y letales por debajo de 3mg/L.

También se observaron incumplimientos del parámetro hierro para todos los sitios de estudio durante los meses de enero y abril, y en el mes de julio los valores resultaron por encima del estándar establecido para todos los sitios a excepción del sitio G4 (Cercano a desembocadura). Cabe destacar que el hierro es un metal de ocurrencia natural en la cuenca, por lo que no resultan anómalos los valores observados respecto a la condición general del río Uruguay. Adicionalmente, se observó un incumplimiento respecto a manganeso en el sitio G2 (Lejano a desembocadura) en el mes de abril.

Si bien el presente monitoreo ha caracterizado los principales cambios en los parámetros de calidad de agua conforme las aguas del río Gualeguaychú se mezclan con las del río Uruguay, la definición de las zonas de estudio, y consecuentemente los análisis realizados a partir de ellas, incide en la cuantificación de la significancia de las diferencias analizadas entre las distintas zonas. A partir de la continuidad de la actividad de monitoreo, y por consiguiente al disponer de una base de datos más robusta, será posible analizar cada uno de los sitios por

separado, lo que permitirá profundizar sobre la interpretación y el análisis de los patrones espaciales de mezcla y dilución de las descargas del río Gualeguaychú en el río Uruguay.

### **Sobre la matriz sedimento**

En lo que refiere a la matriz sedimento, los resultados de las campañas que aquí se informan son las dos primeras realizadas para esta matriz hasta la fecha y por ello el número de muestreos disponibles no permite aún realizar comparaciones estadísticas entre los sitios Referencia, Cercano a desembocadura y Lejano a desembocadura. No obstante, parecen igualmente surgir algunos patrones relevantes en cuanto a la caracterización de los distintos sitios sobre los que corresponderá profundizar en las sucesivas instancias de análisis de la información que se tengan en la medida que con el tiempo aumente la cantidad de muestreos realizados.

Se destaca la gran variabilidad que existe en la granulometría de las muestras extraídas de los distintos sitios entre los diferentes muestreos, lo cual resalta la heterogeneidad espacial y temporal de la zona de estudio en cuanto a su granulometría. El hecho de obtener valores de granulometría fina en un rango desde menos de 10 % a casi 50% de la muestra, aún en un mismo sitio entre diferentes muestreos (como fue observado por ejemplo en la zona Lejana a desembocadura) resalta la pertinencia de corregir los resultados de laboratorio de los compuestos orgánicos que se obtienen de analizar la muestra completa ponderando por la fracción de sedimento fino presente en cada muestra, tal como se ha realizado en el presente informe.

El carbono orgánico ha mostrado mayores concentraciones en el sitio Lejano a desembocadura en el muestreo de abril, pero con valores son mayores en el sitio Cercano a desembocadura durante el muestreo de octubre, coincidiendo en ese caso con una mayor concentración de materia orgánica. Sin embargo, una vez realizada la corrección granulométrica, los parámetros carbono orgánico y materia orgánica resultan más elevados en el sitio Lejano a desembocadura. La corrección granulométrica también incide sobre las concentraciones de fósforo halladas, ya que, si bien la muestra completa posee mayores concentraciones de fósforo en el sitio Referencia, luego de la corrección los mayores valores son los reportados para el sitio Cercano a desembocadura. En el sitio Referencia se observaron los valores más elevados para fósforo y cromo, lo que podría ser indicador de la presencia en esa zona de aportes provenientes de poblaciones, actividades agrícolas o industriales.

Para los compuestos analizados en sedimento, al momento de la realización de la actividad no se contaba con normativa propia de CARU, por lo cual se ha usado normativa internacional (canadiense) para cotejarla con la concentración de cromo total detectada en el sitio de Referencia durante el muestreo de abril de 2019 (único compuesto normado de los detectados en esa ocasión), resultando que no se superó el límite normativo adoptado.

### **Sobre la matriz biota**

En referencia al único monitoreo con organismos centinela realizado en 2019, corresponde destacar que en este caso no se posee datos del sitio Cercano a desembocadura debido a la mortandad provocada por la acumulación de sedimentos sobre los dispositivos con almejas dispuestos en ese sitio. El ensayo de crecimiento realizado con almejas de la especie *Corbicula fluminea* muestra dos resultados diferentes según el tamaño de los ejemplares considerados. Por un lado, si se considera todo el grupo de organismos expuestos, no se encuentran diferencias significativas en los valores de talla y peso inicial y final entre los diferentes sitios de estudio. Por otro lado, cuando se aplica este análisis solamente para los ejemplares menores a 2 cm de largo, se encuentra una menor tasa de crecimiento en el sitio Lejano a desembocadura respecto al sitio Referencia. La afectación sobre el crecimiento de las almejas hallada en el sitio Lejano a desembocadura podría responder a una menor disponibilidad de alimento, o a que algunas de las condiciones ambientales imperantes en ese sitio generen un mayor gasto energético y stress fisiológico sobre las almejas en comparación con aquellas dispuestas en el sitio Referencia. Esta menor tasa de crecimiento detectada para los individuos expuestos en el sitio Lejano amerita un seguimiento y atención especial para el caso que vuelva a repetirse este tipo de resultados en futuros muestreos, pues podría representar un efecto crónico sobre la biota en dicho sitio.

En cuanto a los análisis realizados para determinar posible bioacumulación en tejido de almejas, se detectó la presencia de 4 de los 32 compuestos analizados, incluyendo dos compuestos clorofenólicos y dos metales (cromo total y níquel). En referencia a los compuestos clorofenólicos, se detectó 2,6-diclorofenol en la muestra blanco y en el sitio Lejano a desembocadura; mientras que se detectó 4-clorofenol en el sitio Referencia. En cuanto a los metales níquel y cromo total, estos se han detectado en todas las muestras, incluida la muestra blanco, en valores de concentración en el mismo orden de magnitud a los registrados luego de los 90 días de exposición en cada sitio y sin existir diferencias significativas entre los sitios de estudio. Debido a que no se observó un patrón espacial consistente en la concentración de los metales hallados, y a que la bioacumulación de compuestos clorofenólicos ocurre con escasas detecciones, tanto en la muestra blanco como en el sitio de Referencia, no parecen estos compuestos poseer un origen directamente atribuible a las descargas provenientes de la desembocadura del río Gualeguaychú.

En cuanto la única campaña de monitoreo de peces realizada en 2019, los individuos de la especie centinela *I. labrosus* colectados en la zona Lejana a desembocadura presentaron una condición corporal significativamente mayor (mayor cantidad de grasa corporal acumulada) que aquellos colectados en la zona Referencia. Esto podría estar dado por una disponibilidad diferencial de alimento en la zona Lejana o por un menor gasto energético que realizan los individuos que allí habitan. Para esos mismos individuos no se registraron diferencias en los índices de funcionamiento hepático (índice hepatosomático), aunque sí se registró una diferencia significativa en el desarrollo gonadal con respecto a los ejemplares hembra colectados en la zona Referencia. Los indicios de cambios detectados en este caso en los índices de estado fisiológico no podrían ser directamente atribuibles a la existencia de la descarga del río Gualeguaychú por falta de una línea de base previa que permita descartar la existencia de patrones espaciales naturales predominantes, no obstante, lo cual es pertinente continuar vigilando la evolución temporal de tales índices a los fines de confirmar potenciales

diferencias que pudieran profundizarse en esta zona. Corresponde hacer notar que los individuos analizados en la zona Cercana han sido mayormente juveniles (menores a 11 cm de largo) por lo cual no se obtuvieron datos suficientes para la comparación de índices de estado fisiológico en dicha zona.

En relación con la potencial bioacumulación en músculo de peces, se han detectado dos de los 31 compuestos analizados en alguna de las muestras, estos son los compuestos clorofenólicos: pentaclorofenol, hallado en todos los sitios de estudio; y el 2,6-Diclorofenol, hallado únicamente en el sitio Cercano a desembocadura. No se han hallado niveles detectables de compuestos órgano-halogenados (EOX) ni tampoco de ninguno de los congéneres de dioxinas o furanos. Al cotejar los resultados obtenidos con la normativa internacional, el parámetro dioxinas y furanos (el único normado de los detectados en este caso) no se encontraron apartamientos normativos.

Los estudios realizados de macroinvertebrados en bentos reflejaron una alta variabilidad entre los distintos sitios y también entre las dos instancias de monitoreo, aunque en términos generales se observaron en todos los sitios composiciones taxonómicas donde predominaron grupos como los oligoquetos y los quironómidos, que son especies tolerantes a alta carga de materia orgánica y a menores concentraciones de oxígeno.

### **Sobre los estudios de toxicidad**

Se realizaron múltiples ensayos de toxicidad, sobre muestras de agua y de sedimentos tomadas en la zona de estudio en distintos niveles tróficos.

No se detectó toxicidad aguda en ninguna de las muestras analizadas durante el periodo informado (ensayos con *Daphnia magna* y *Vibrio fischeri* -Microtox®-). Las muestras para estos ensayos se tomaron en un punto localizado Cercano a la desembocadura del río Gualeguaychú.

Por una parte, no se ha detectado efectos por la exposición al agua en la supervivencia de los diferentes organismos analizados (el micro crustáceo *Daphnia magna*, el anfípodo *Hyaella curvispina* y el pez *Pimephales promelas*) ni tampoco por la exposición al sedimento en caso de *Hyaella curvispina*. De hecho, no se han registrado efectos en la supervivencia en ninguno de los sitios analizados, excepto por una mortandad del 5 % en las H. *curvispina* expuestas al agua del sitio G2 (Lejano a desembocadura) durante el bioensayo desarrollado en octubre de 2019, sin posibilidad de asignar significancia estadística a este resultado debido a la cantidad de réplicas utilizadas. De forma global esto concluye que el agua y los sedimentos del río Uruguay en la zona objeto de monitoreo no afectaron la supervivencia de los organismos acuáticos analizados.

Por otra parte, los ensayos de toxicidad crónica en agua realizados durante el mes de octubre de 2019 muestran consistentemente que tanto el crustáceo *Hyaella curvispina* como las larvas del pez *Pimephales promelas* disminuyen sus tasas de crecimiento en comparación con la muestra control al ser expuestos al agua del sitio G5 (en la zona Lejana a desembocadura). Este hallazgo es también consistente con lo hallado en almejas durante el bioensayo realizado

entre octubre y noviembre de 2019, cuando en el sitio Lejano a la desembocadura los individuos presentaron menores tasas de crecimiento que en el sitio Referencia. No obstante, al analizar los efectos crónicos sobre *H. curvispina* por la exposición al sedimento de las diferentes zonas, los resultados de crecimiento con respecto al tiempo inicial son menos consistentes, habiendo también resultado un menor crecimiento en la zona Lejana a la desembocadura durante el monitoreo de abril, pero registrando un menor crecimiento en la zona Referencia durante el mes de octubre. Estos efectos observados en primavera de 2019 sobre el crecimiento de tres organismos modelo utilizados; un crustáceo, un bivalvo y un pez durante la primavera de 2019 podrían deberse a una disponibilidad diferencial de nutrientes o a la incorporación de sustancias químicas que de alguna manera afecten los mecanismos de crecimiento de los organismos, debiendo este asunto ser profundizado en el análisis a futuro en la medida que se cuente con una mayor disponibilidad de resultados.

*E. S. Mancilla*  
*J. P. G. G. G.*  
JOSÉ GONZÁLEZ

*Ricardo Justiz*

## **ANEXO I: RECOMENDACIONES PARA LA PROSECUCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE MONITOREO**

La continuidad de esta actividad de monitoreo en los términos que ha comenzado a partir de 2019 permitirá por un lado incorporar ajustes metodológicos y analíticos a fin de perfeccionar la propia actividad, y por el otro lado -a partir de la repetición en la obtención de muestras- generar bases de datos más robustas, que permitan expandir las interpretaciones hasta aquí formuladas acerca de los efectos que tiene la desembocadura del río Gualedaychú sobre el río Uruguay.

Dentro del grupo de técnicas analíticas a ajustar se incluye la mejora de los límites de detección y de los tiempos dentro de los cuales se analizan algunas muestras (que afecta la validez de los resultados analíticos). Esto aplica particularmente para las técnicas de nitritos, nitratos y sólidos totales, parámetros para los cuales no se ha podido generar aun un volumen suficiente de determinaciones válidas que permita extraer conclusiones específicas respecto a cómo se reflejan en ellos los efectos de la descarga de efluentes.

La prosecución de la actividad de monitoreo permitirá también profundizar el análisis de los efectos asociados las variables condiciones hidrológicas de los ríos Uruguay y Gualedaychú. Tomando sólo una variable indicadora, para el periodo abordado en el presente informe se observa un rango muy amplio de caudal circulante por el río Uruguay, que para el caso va desde los 1.752 m<sup>3</sup>/s estimados para el mes de abril hasta los 21.380 m<sup>3</sup>/s estimados para el mes de enero. Interesa en cualquier caso cubrir con información redundante para los distintos escenarios hidrológicos los potenciales efectos que tiene la descarga, en el entendido de que los mismos -aun cuando la descarga fuere constante- varían según la condición del medio receptor.

En el sentido de lo precedentemente expuesto, en el presente informe se ha incluido algunos análisis iniciales orientados a abordar la variabilidad hidrológica del sistema, siendo que se prevé profundizar esta línea de investigación a futuro en la medida que el volumen de datos generados así lo permita.

Respecto al monitoreo de sedimento, el creciente nivel de conocimiento de las condiciones particulares de cada sector de muestreo y la experiencia que se adquiere con la ejecución de cada relevamiento permitirán la obtención de muestras cada vez con mayor y más homogénea proporción de sedimento de granulometría fina. Este aspecto resulta particularmente relevante en tanto la proporción de finos incide fuertemente en la capacidad de retención de contaminantes, y resulta imprescindible ampliar la base de información con la que actualmente se cuenta para esta matriz ambiental a los fines de poder realizar comparaciones con base estadística entre las distintas zonas muestreadas.

Finalmente, los imprevistos ocurridos tanto en el proceso de implementación de bioensayos con almejas como los relativos a los bioensayos tercerizados en diferentes laboratorios, y demás inconvenientes menores reportados durante los primeros muestreos de bioacumulación en biota, fueron atendidos dentro de las posibilidades y se alcanzó a generar información relevante en esta instancia inicial del monitoreo. No obstante, algunas modificaciones logísticas que se espera incorporar en el diseño de la actividad a los fines de minimizar las tasas de mortandad de las almejas que resultan ocasionalmente cubiertas por desplazamientos de fango, así como las diversas acciones tendientes a asegurar el cumplimiento de los tiempos de análisis y los menores límites de detección posibles de parte

de los laboratorios a los que se tercerizan los análisis, permitirán primero completar los vacíos que aún tiene la base de resultados en esta matriz y luego potenciarla a medida que con el tiempo aumente la cantidad de muestreos realizados