



ZONA DE INFLUENCIA DE LA PLANTA ORION (UPM-ex Botnia) 2019

Monitoreo en el río Uruguay en la zona de influencia de la planta Orión (UPM-ex Botnia). 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 planta Orión (UPM- ex Botnia). Informe del año 2019. 227 páginas. Comisión Administradora del Río Uruguay.

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 Planta Orion (UPM-ex Botnia)” según las directivas impartidas mediante el Acuerdo por intercambio de Notas Reversales (30 de agosto de 2010) en su apartado 3.2.

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 perfiladora con sonda multiparamétrica fondeada en la zona de interés desde abril de 2019.

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 UPM para identificar si existen alteraciones en los niveles de calidad del río, se puede resumir lo siguiente:

Para la matriz agua, aguas abajo del vertido de UPM se observaron cambios estadísticamente significativos respecto a la condición del río aguas arriba y directamente atribuibles a la existencia de dicha descarga respecto a los parámetros conductividad, sodio, sulfatos, cloruros, azufre, arsénico y potasio. Estos parámetros representarían los principales aportes en los vertidos al río por parte de UPM y, para los que se cuenta con un límite normativo aplicable a las aguas del río Uruguay (Digesto de la CARU), no se observaron incumplimientos. También se observó un gradiente en las concentraciones en el río (con valores más bajos en la zona Aguas Arriba e incrementándose hacia las zonas Cercana y Lejana al vertido) para los parámetros boro, calcio, carbono orgánico disuelto, dureza, estroncio, silicio, oxígeno disuelto y turbidez, aunque en estos casos no es posible asignar los cambios únicamente a las descargas de la industria. En el parámetro conductividad es donde la existencia del vertido resulta más evidente, en tanto en la zona Cercana al vertido se puede apreciar una estratificación a lo largo de la columna de agua, donde el estrato sub-superficial resulta en conductividades significativamente menores a las observadas en el fondo de la columna de agua. En toda la zona de estudio (aguas arriba y aguas abajo del vertido) en alguna ocasión se observaron incumplimientos respecto a los límites normativos dispuestos en el Digesto de la CARU para los parámetros oxígeno disuelto, pH, cromo y níquel, y de forma continuada en el tiempo para hierro.

Respecto a la matriz sedimento, el sitio de estudio más cercano aguas abajo del vertido presentó mayores proporciones de las fracciones más finas del sedimento al tiempo que resultó el sitio donde se observaron las mayores concentraciones para sulfuros, carbono orgánico y materia orgánica, y también donde se detectaron fenoles en una ocasión en el mes de octubre. No obstante, a partir de la corrección granulométrica en función del porcentaje de finos presentes en la muestra, los parámetros carbono orgánico y materia

orgánica resultan más bajos en este sitio que en los sitios aguas arriba y Lejano al vertido. No se detectaron EOX en ninguno de los sitios relevados durante el periodo de estudio.

Se realizaron ensayos de bioacumulación en almejas (*Corbicula fluminea*) en los que se detectó la presencia de algunos compuestos clorofenólicos, furanos y metales, siendo que para ninguno de los compuestos analizados se detectaron diferencias significativas en las concentraciones entre los sitios relevados, ni tampoco valores que superen los límites normativos internacionales utilizados como referencia para la evaluación. Complementariamente se evaluó el crecimiento durante el plazo de exposición de las almejas, resultando en que 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, aunque cuando se aplica este análisis tomando en consideración los ejemplares menores a 2 cm de largo se encuentra una mayor tasa de crecimiento en el sitio Cercano al vertido respecto al sitio Lejano al vertido.

Con respecto a la acumulación de contaminantes en músculo de peces, se detectó la presencia ocasional de cuatro compuestos fenólicos en ejemplares colectados en las distintas zonas de estudio. Se desarrollaron índices de estado fisiológico utilizando la especie *Iheringichthys labrosus*, donde los resultados preliminares indican que los individuos colectados en la zona aguas abajo de la descarga cercana al vertido presentaron una condición corporal significativamente mayor que en las restantes zonas, y en los ejemplares hembra un menor 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. En cuanto a la comparación con niveles normativos corresponde hacer notar que solo los parámetros dioxinas y furanos cuentan con normativa internacional de referencia y que, para el periodo informado, no se detectaron estos compuestos acumulados en muestras de músculos de peces.

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, no se descarta que los individuos expuestos al agua y sedimento de muestras extraídas en sitios ubicados aguas abajo de la descarga del efluente experimenten cambios en sus tasas de crecimiento, en tanto se ha registrado un crecimiento significativamente mayor en la zona Lejana al vertido en comparación con la zona Cercana al mismo en al menos una de las instancias de monitoreo llevadas a cabo.

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	15
CAPÍTULO III: MATRIZ AGUA	19
3.1. METODOLOGÍA ESPECÍFICA	19
3.2. RESULTADOS DE LAS CAMPAÑAS DE MONITOREO	23
3.2.1. Parámetros de detección frecuente	23
3.2.2. Parámetros con baja frecuencia de detección	121
3.2.3. Parámetros no detectados	121
3.3. ANÁLISIS MULTIVARIADO	121
3.4. MONITOREO CONTINUO CON BOYA PERFILADORA	130
3.4.1. Sobre la boya instalada	130
3.4.2. Resultados obtenidos	133
3.4.3. Cumplimiento normativo	141
3.4.4. Análisis de los perfiles medidos	144
3.4.5. Variación en la vertical en los perfiles	151
3.4.6. Comentarios finales sobre esta sección	157
3.5. CONCLUSIONES DE LA MATRIZ AGUA	158
CAPÍTULO IV: MATRIZ SEDIMENTO	162
4.1. METODOLOGÍA ESPECÍFICA	162
4.2. RESULTADOS DE LAS DETERMINACIONES DE CAMPO	164
4.2.1. Parámetros de detección frecuente	165
4.2.2. Parámetros no detectados	172
4.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	173
4.4. CONCLUSIONES DE LA MATRIZ SEDIMENTO	173
CAPÍTULO V: MATRIZ BIOTA	174
5.1. ALMEJAS	174
5.1.1. METODOLOGÍA ESPECÍFICA	174

5.1.2.	RESULTADOS DE LAS DETERMINACIONES DE CAMPO	180
5.1.3.	CONCLUSIONES DE LA MATRIZ BIOTA-ALMEJAS	185
5.2.	PECES.....	187
5.2.1.	METODOLOGÍA ESPECÍFICA.....	187
5.2.2.	ANÁLISIS DE DATOS	193
5.2.3.	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	194
5.2.4.	CONCLUSIONES DE LA MATRIZ BIOTA-PECES	200
5.3.	DIVERSIDAD DE BENTOS EN SEDIMENTO	203
5.3.1.	METODOLOGÍA ESPECÍFICA.....	203
5.3.2.	RESULTADOS DE LAS DETERMINACIONES REALIZADAS	204
5.3.3.	CONCLUSIONES SOBRE LA MATRIZ BENTOS EN SEDIMENTO	204
CAPÍTULO VI: ENSAYOS DE TOXICIDAD		206
6.1.	TOXICIDAD AGUDA.....	206
6.1.1.	METODOLOGÍA ESPECÍFICA.....	206
6.1.2.	RESULTADOS	206
6.1.3.	CONCLUSIONES RESPECTO A LA TOXICIDAD AGUDA	207
6.2.	TOXICIDAD CRÓNICA EN MUESTRAS DE AGUA	207
6.2.1.	METODOLOGÍA ESPECÍFICA.....	207
6.2.2.	RESULTADOS	208
6.2.3.	CONCLUSIONES RESPECTO A LA TOXICIDAD CRÓNICA EN AGUA.....	213
6.3.	TOXICIDAD CRÓNICA EN MUESTRAS DE SEDIMENTO	214
6.3.1.	METODOLOGÍA ESPECÍFICA.....	214
6.3.2.	RESULTADOS	214
6.3.3.	CONCLUSIONES RESPECTO A LA TOXICIDAD CRÓNICA EN SEDIMENTO.....	218
6.4.	CONCLUSIONES RESPECTO A LOS ESTUDIOS DE TOXICIDAD	219
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES.....		221
ANEXO I: RECOMENDACIONES PARA LA PROSECUCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE MONITOREO .		226

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.
- SD: Sin dato.
- NTK: Nitrógeno total de Kjeldahl.
- DBO₅: 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.
- m³: 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 tres de las Notas Reversales establece los lineamientos para el desarrollo de las actividades de monitoreo de la planta Orion (UPM-ex Botnia). Este plan, por razones operativas, se desglosa en principio, en dos actividades específicas: una que prevé acciones dentro de la Planta Orion (UPM-ex Botnia), y otra para el monitoreo del Río Uruguay en la zona de potencial influencia de la Planta Orion (UPM-ex Botnia). Los lineamientos para cada una de estas dos acciones se establecen en las Notas Reversales en los apartados 3.1. y 3.2. respectivamente.

Respecto a estas actividades, en las Notas Reversales se establece que "El objetivo común de estos monitoreos es poder alertar en forma temprana en caso de apartamientos de las normativas que sean de aplicación, ya sea en las condiciones de los efluentes 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 apartado 3.2. se denomina “En el Río Uruguay en la zona de influencia de la Planta Orion (UPM-ex Botnia)” y tiene como finalidad principal atender de forma continua a la evaluación de las condiciones ambientales existentes en el medio acuático del Río Uruguay en zona de influencia de evacuación de efluentes líquidos y emisiones gaseosas que accedan al Río Uruguay provenientes de la Planta Orion (UPM-ex Botnia), para identificar si existen alteraciones en los niveles de calidad del medio acuático del Río Uruguay establecidos por la CARU.

El presente informe atiende a las actividades desarrolladas en el marco del apartado 3.2. de las Notas Reversales para el periodo 2019. Este informe es complementado con los informes mensuales para el mismo periodo de la actividad dentro de la planta Orion (UPM-ex Botnia, apartado 3.1.), 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 potencial influencia de la planta Orión (UPM-ex Botnia)” 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 Gualedguaychú”, 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 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 Gualedguaychú), 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 Gualaguaychú”, 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 primero 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 perfiladora fondeada en la zona de interés (equipada con una sonda multiparámetrica para determinaciones de calidad de agua) desde abril de 2019.

La actividad de monitoreo de la matriz agua ha implicado el relevamiento de 68 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 toda la columna de agua, en una zona situada aguas debajo de la descarga de la planta Orion, mediante el empleo de una boya perfiladora allí fondeada a tales efectos.

En cuanto al monitoreo de la matriz sedimento, se han relevado 7 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 que fueron específicamente seleccionados dadas las características del efluente de la planta de UPM (clorofenoles, organohalogenados, dioxinas y furanos y metales).

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 sitios ubicados aguas arriba y aguas abajo de la potencial zona de afectación. 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 matriz agua como en 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 zona de influencia de evacuación de efluentes líquidos y emisiones gaseosas que acceden al río Uruguay provenientes de la Planta Orión (UPM-ex Botnia), 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: una primer zona aguas arriba del vertido de la planta Orion (UPM-ex Botnia, en adelante, UPM) denominada “Aguas arriba”, una segunda zona en el área de vertido directo denominada “Cercana al vertido”, y una zona aproximadamente a tres kilómetros aguas abajo del punto de vertido denominada “Lejana al vertido”. Complementariamente, se definió un punto denominado “Tox” a una distancia aproximada de 25 mts aguas abajo del emisario del vertido.

Para el monitoreo de calidad de agua, cada una de las zonas antedichas se compone de dos sitios de monitoreo: U1 y U2 en la zona Aguas arriba, U3 y U4 en la zona Cercana al vertido, y U5 y U6 en la zona Lejana al vertido. En cada uno de estos sitios se realizaron determinaciones in situ y se extrajo una muestra integrada en la vertical para posteriores determinaciones analíticas en laboratorio. Adicionalmente se realizó una evaluación ecotoxicológica en agua en el punto Tox y se instaló una boya perfiladora para la medición continua de las condiciones de calidad de agua aproximadamente a 1,5 km aguas abajo del emisario.

Los sitios de monitoreo cercanos al vertido fueron dispuestos en el límite de la zona de mezcla definida por el Uruguay para la descarga de UPM. El punto Tox se ubica dentro de dicha zona y la boya perfiladora por fuera de aquella.

Para la evaluación de las matrices biota y sedimentos se determinó un sitio para cada una de las tres zonas previamente referidas. En la Figura 1 se representa lo arriba expuesto en la siguiente tabla se describen las coordenadas establecidas para cada sitio de muestreo:

Posiciones teóricas de los sitios de monitoreo de agua.

Zona	Sitio	Coordenada E	Coordenada S
Aguas arriba	U1	0384305	6336623
	U2	0384300	6336993
Cercana al vertido	U3	0382244	6336200
	U4	0382243	6336162
Lejana al vertido	U5	0380115	6335600

	U6	0380075	6335790
--	----	---------	---------

Posición teórica de la boya perfiladora.

Sitio	Coordenada E	Coordenada S
Boya	0381474	6335949

Posición teórica del sitio Tox.

Sitio	Coordenada E	Coordenada S
Tox.	0382708	6336346

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

Zona	Sitio	Coordenada E	Coordenada S
Aguas arriba	UByS1	0384315	6336310
Cercana al vertido	UByS2	0380257	6335161
Lejana al vertido	UByS3	0379230	6335691

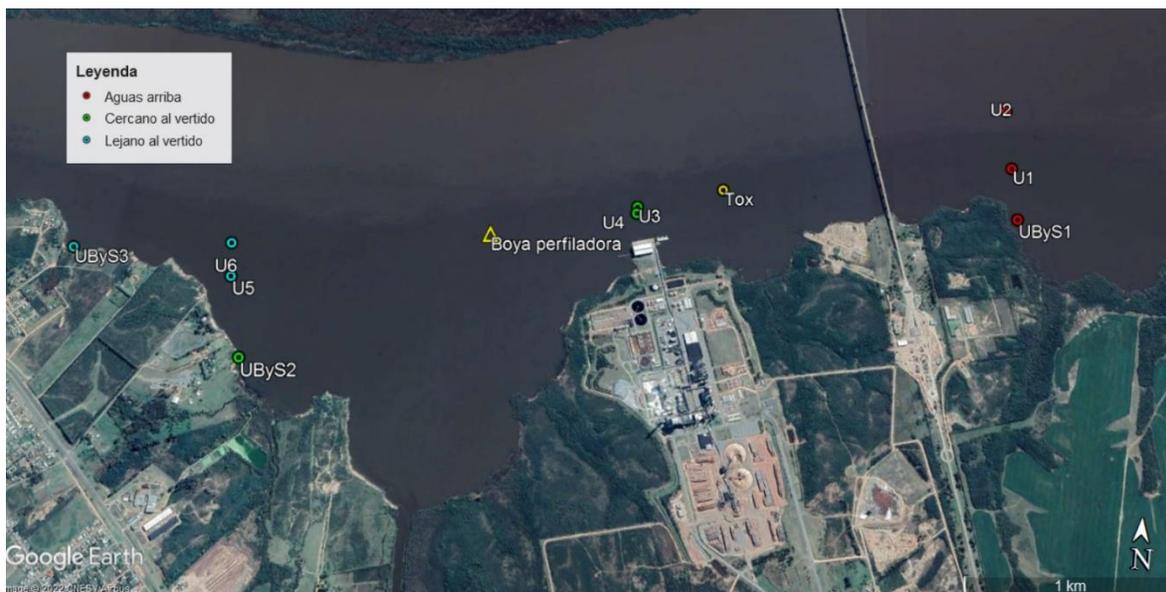


Figura 1: Sitios y zonas de muestreo.

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 sitios distribuidos a lo largo de aproximadamente 6 km. entre la zona Aguas arriba (blanco) y la zona Lejana al vertido. En los sitios que fue posible, se tomó una muestra compuesta a tres profundidades: a un metro de profundidad, a mitad de la columna de agua y a un metro por encima del fondo. 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 sitio Tox. 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, y para el muestreo 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 también 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 centinela (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, sedimentos o bioacumulación en peces previo a la existencia de la descarga de la planta de UPM. Para estas dimensiones mencionadas el ajuste está en que se compara una zona control (ubicada aguas arriba de la descarga de efluentes de la planta de UPM a una distancia que varía según lo exija la matriz analizada) con dos zonas calificadas como receptoras situadas aguas debajo de la descarga, una más próxima y una más lejana a esa descarga. Nótese que en el caso de la matriz sedimentos, si bien se ejecutan muestreos en una zona control ubicada aguas arriba de la descarga de efluentes, 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 control y receptoras luego del periodo de exposición. Corresponde hacer notar que, durante el monitoreo del año 2019, debido a acciones de vandalismo que se padecieron durante el transcurso del biomonitoreo (sustracción de las cajas con bivalvos), no se pudo recuperar las muestras correspondientes al sitio control, por lo cual la comparación estadística con la situación control no afectada por el efluente no se puede

realizar de forma completa para el período que se reporta en este informe. Además, 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 fueron 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 planta Orión (UPM-ex Botnia) se relevaron dos sitios aguas arriba de la mencionada industria (U1 y U2), dos sitios aproximadamente frente a la misma (U3 y U4) y dos sitios aguas abajo (U5 y U6), representativos de las zonas Aguas arriba, Cercana al vertido y Lejana al vertido, más un sitio adicional inmediato al difusor que conduce el efluente hacia el río (aproximadamente 20 m aguas abajo del mismo), 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. 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 ₅ (mg/L)	0,5	-
Exova/Element	COT (mg/L)	0,5	-
Exova/Element	COD (mg/L)	0,5	-
Exova/Element	Cloratos (mg/L)	0,1	-
Exova/Element	ST (mg/L)	5	-
Exova/Element	SST (mg/L)	2	-
LCC	DQO (mg O ₂ /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	Amoníaco total-N (mg/L)	0,025	-
Exova/Element	Dureza (mg CaCO ₃ /L)	1	-
LCC	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	1,7	4,4
Exova/Element	Fósforo Total (mg/L)	0,003	-
LATU	Fósforo de ortofosfato (μg/L)	13,0	32,0
UNER	<i>Klebsiella sp.</i> (UFC/100 mL)	-	-
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 (mg/L)	0,01	-
Exova/Element	Manganeso (mg/L)	0,001	-
Exova/Element	Compuestos Fenólicos totales (mg/L)	0,001	-
Pacific Rim	2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina (TCDD) (pg/L)	1	-
Pacific Rim	Dioxinas totales	3,63	-
Pacific Rim	Furanos totales	1,62	-
Pacific Rim	2,3,7,8-tetraclorodibenzofurano (TCDF) (pg/L)	1	-
Econotech	AOX (µg/L)	-	-

Adicionalmente, se complementó el monitoreo de la matriz agua a partir de la instalación de una boya perfiladora con una sonda multiparamétrica. Las especificidades operativas respecto a este equipamiento se encuentran detalladas en el apartado 3.3.

Sitios de muestreo de la matriz agua



Figura 2: Sitios de muestreo para la matriz agua.

Análisis estadístico

Con el fin de comparar estadísticamente los valores de cada parámetro entre las tres zonas (Aguas arriba, Cercana al vertido y Lejana al vertido), 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 los paquetes “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 1,5 veces el rango inter-cuartil. 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 las representaciones gráficas de las mediciones in situ se incorporan a los gráficos de variación espacial, una representación complementaria de la variación en la columna vertical de agua. En esas figuras, cada instancia de monitoreo es representada con un símbolo diferente.

Para los parámetros determinados en laboratorio 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 cuenta 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 m³/s); mientras que las condiciones en los meses restantes resultaron similares, con caudales bajos, siendo el caudal mínimo de 1751 m³/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 la planta UPM en cada campaña han sido los siguientes:

Valores de caudal (m³/s).

MES	CAUDAL
Enero	21379
Abril	1751
Julio	3655
Octubre	1765

Profundidad total

Si bien los puntos de monitoreo son de coordenadas preestablecidos, en cada campaña la ubicación donde se realizan efectivamente las determinaciones puede variar levemente y con ello también la cota del fondo en cada sitio.

El sitio que presentó mayor profundidad fue U1, aguas arriba del vertido, con una media de 20,5 m y con un rango entre los 23 m de profundidad en el mes de enero y los 19 m en julio. Por el contrario, el sitio que presentó las profundidades más someras fue el sitio U5, lejano a la desembocadura del vertido, con una media de 3,1 m y un rango que osciló entre los 5 m de máxima en el mes de enero y los 2,4 m de mínima en el mes de julio.

Valores de profundidad (m).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	23,0	20,0	19,0	19,9

U2	12,0	9,9	10,0	10,7
Tox	s/d	13,5	12,9	14,0
U3	16,3	13,5	13,8	12,9
U4	14,5	12,2	11,9	11,2
U5	5,0	2,8	2,4	2,5
U6	12,4	9,3	9,1	8,4

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 2,22 µg/L. Se observó un máximo de 3,4 µg/L en el mes de octubre en el sitio U2 (Aguas arriba del vertido), mientras que la mínima concentración, de 1,34 µg/L, fue observada en el sitio U4 (Lejano al vertido) en el mes de julio.

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

En ninguna de estas instancias de monitoreo se han relevado sitios en los que existieran floraciones.

Nota: Se incluyen en la tabla a continuación las mediciones correspondientes al sitio Tox, aunque estas mediciones no se incluyen en el tratamiento estadístico de la información.

Valores de clorofila (µg/L).

Sitio	Posición	Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
U1	Sub-superficial		2,8	1,52	1,51	1,72
	Mitad de columna		3	1,52	1,41	1,92
	Fondo		3,2	1,48	1,49	1,82
U2	Sub-superficial		3	1,81	1,41	3,26
	Mitad de columna		2,8	1,86	1,47	3,38
	Fondo		3	1,76	1,59	3,4
Tox	Sub-superficial		s/d	1,63	1,42	3,16
	Mitad de columna		s/d	1,41	1,4	3,13
	Fondo		s/d	1,76	1,68	3,58
U3	Sub-superficial		2,8	1,51	1,58	3,09

	Mitad de columna	2,9	1,57	1,53	3,19
	Fondo	2,7	1,67	1,63	3,37
U4	Sub-superficial	2,8	1,58	1,34	3,1
	Mitad de columna	2,5	1,6	1,5	3,22
	Fondo	2,9	1,56	1,52	3,22
U5	Sub-superficial	2,6	1,52	1,52	3,06
	Mitad de columna	2,3	s/d	s/d	s/d
	Fondo	2,8	s/d	s/d	s/d
U6	Sub-superficial	2,9	1,55	1,46	3,11
	Mitad de columna	2,9	1,52	1,38	3,16
	Fondo	2,8	1,55	1,53	3,16

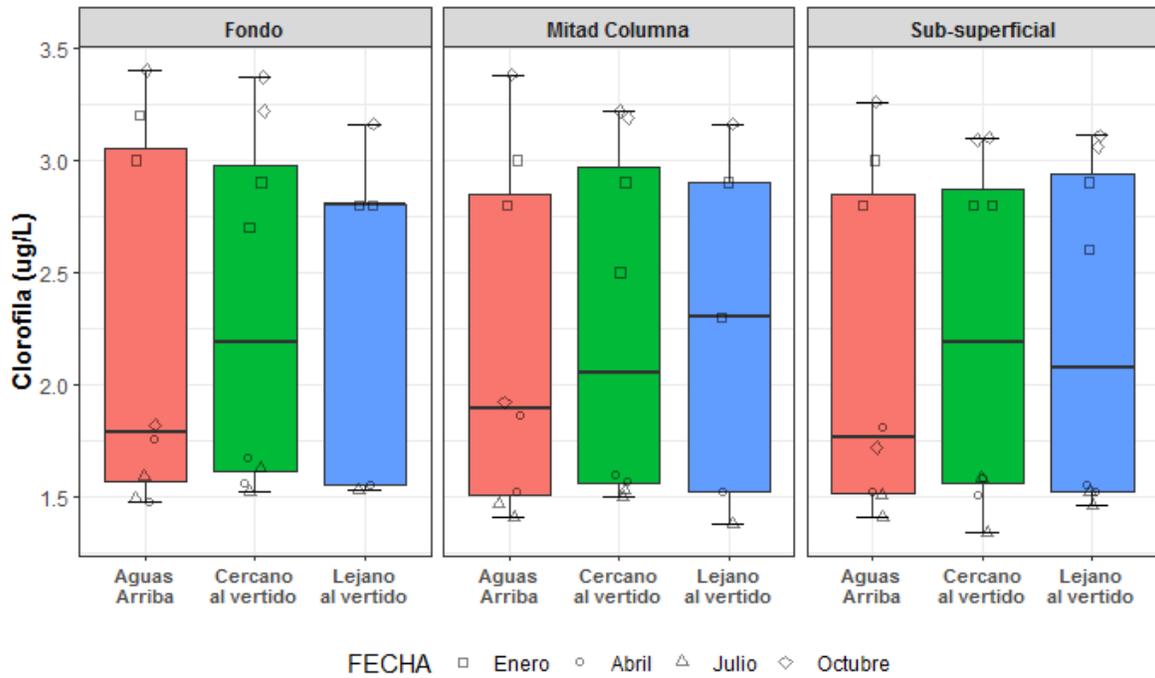


Figura 3a: Variación espacial en la concentración de clorofila.

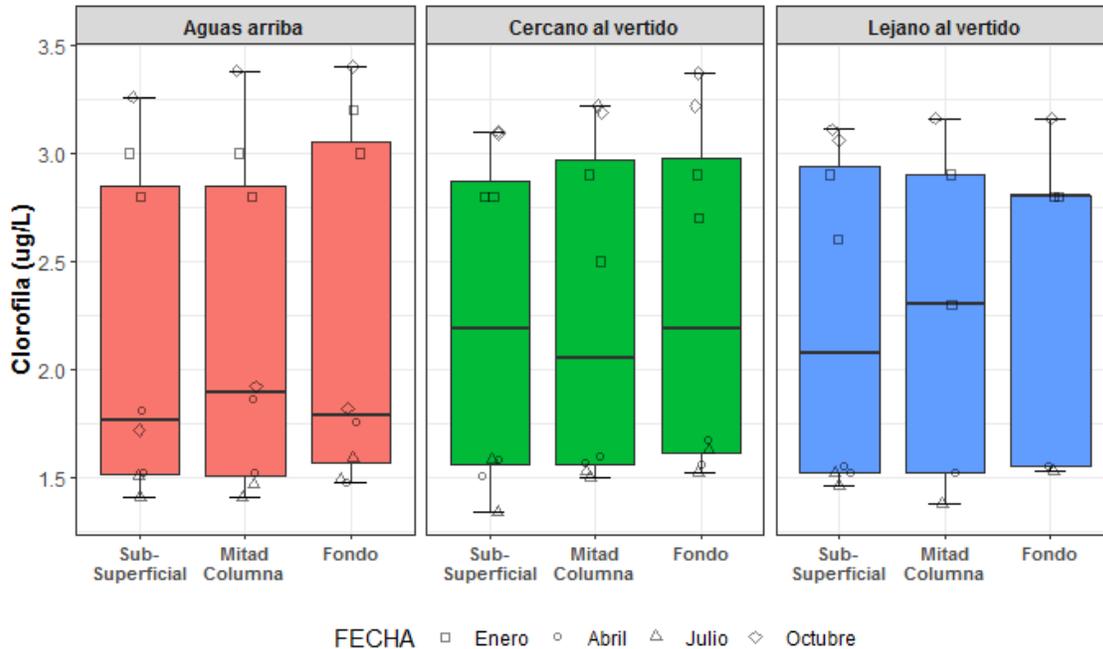


Figura 3b: Variación vertical de clorofila.

Conductividad

Durante el periodo de estudio se observó una conductividad media de 72,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo 99,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ la conductividad más alta observada en U4 (zona Cercana al vertido), en el fondo de la columna de agua, en el mes de octubre. Por el contrario, la conductividad más baja observada durante el periodo de estudio fue 47 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y corresponde a la medición realizada en el sitio U2 (Aguas arriba del vertido) en la posición sub-superficial de la columna de agua en el mes de enero.

Se observan valores de conductividad significativamente más bajos en la zona Aguas arriba del vertido en los tres estratos analizados (ANOVA, $p < 0,05$, Figura 4a). Adicionalmente, mediante el análisis de la varianza realizado para las distintas posiciones en la columna de agua se observa que en la zona Cercana al vertido existe una estratificación vertical de la conductividad evidenciada por la presencia de valores significativamente mayores en la posición Fondo respecto a la posición Sub-superficial ($p < 0,05$, Figura 4b). En esta zona, la posición de Mitad de columna no mostró diferencias significativas con respecto a las otras dos posiciones ($p > 0,05$), siendo que la conductividad en ese estrato resultó en niveles intermedios entre la de los estratos Sub-superficial y Fondo. Para las zonas Aguas arriba y Lejana al vertido no se han observado diferencias significativas respecto a la conductividad entre las distintas posiciones en la columna de agua ($p > 0,05$, Figura 4b).

Nota: Se incluyen en la tabla a continuación las mediciones correspondientes al sitio Tox, aunque estas mediciones no se incluyen en el tratamiento estadístico de la información.

Valores de conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Sitio	Posición	Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
U1	Sub-superficial		54	67,9	73,5	91,3
	Mitad de columna		53	67,8	73,5	90,6
	Fondo		53	67,8	73,6	90,6
U2	Sub-superficial		47	66,5	68,4	86,7
	Mitad de columna		48	66,7	68,5	86,9
	Fondo		48	66,8	70,9	86,7
Tox	Sub-superficial		s/d	67,5	73,9	91,4
	Mitad de columna		s/d	67,5	73,9	90,7
	Fondo		s/d	97,7	100,8	120,4
U3	Sub-superficial		54	68,9	83,8	92
	Mitad de columna		54	73	84,1	95,7
	Fondo		55	83,1	85,4	99,2
U4	Sub-superficial		55	67,8	74,8	93,8
	Mitad de columna		55	72	78,8	98,5
	Fondo		55	72	80,1	99,9
U5	Sub-superficial		56	70,3	77,2	93,1
	Mitad de columna		56	s/d	s/d	s/d
	Fondo		57	s/d	s/d	s/d
U6	Sub-superficial		55	70,5	75,1	95,7
	Mitad de columna		55	69,2	74,9	95,8
	Fondo		56	71,7	74,9	94,4

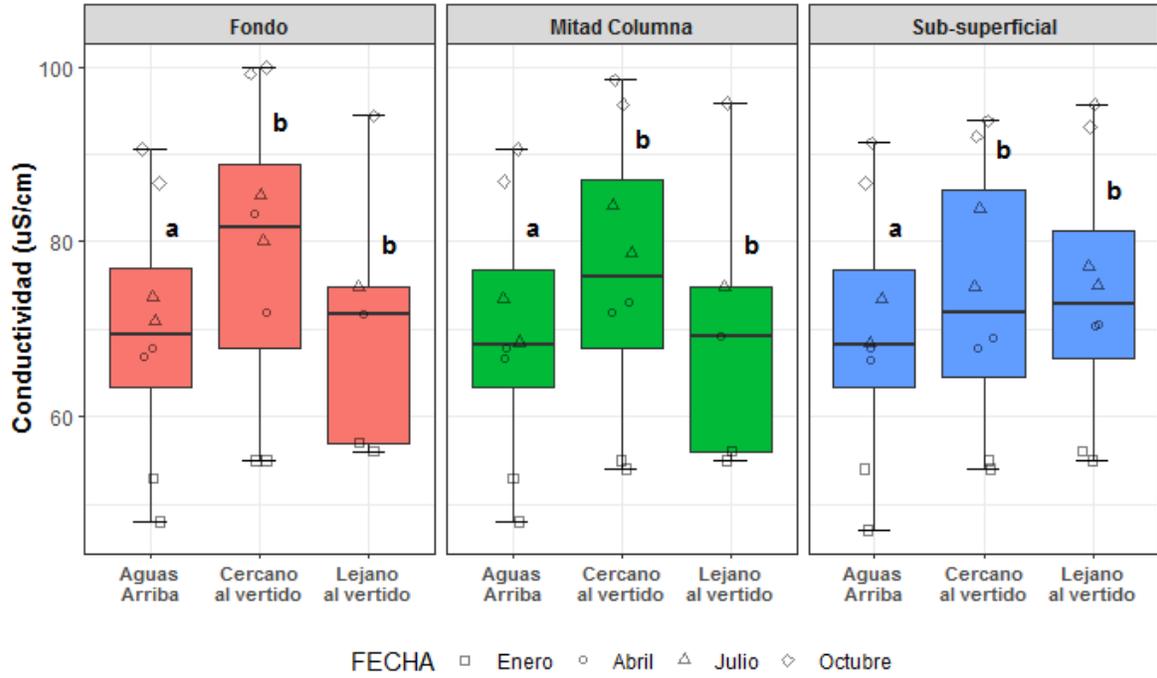


Figura 4a: Variación espacial de la conductividad.

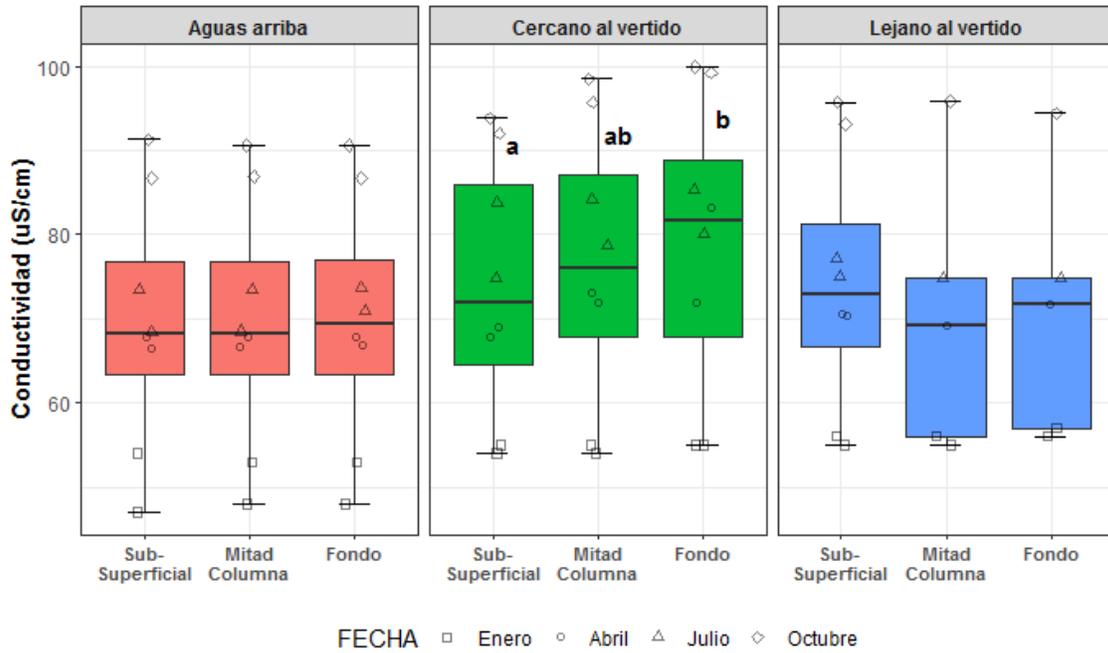


Figura 4b: Variación vertical de conductividad.

Oxígeno disuelto

La media de oxígeno disuelto observada durante el periodo de estudio fue 7,71 mg/L, detectando una concentración máxima de 9,87 mg/L en la ubicación sub-superficial de U5 (zona Lejana al vertido) durante el mes de julio. Por el contrario, la concentración mínima observada durante el periodo de estudio fue 4,32 mg/L, medida en el mes de enero en la posición fondo de U5 (zona lejana al vertido).

Para el mes de enero se registraron incumplimientos (identificados en naranja) respecto a la concentración de oxígeno disuelto en todos los sitios ubicados aguas abajo del vertido de UPM (U3, U4, U5 y U6) 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).

En lo que refiere al oxígeno disuelto, en los estratos Fondo y Mitad de columna se observaron concentraciones de oxígeno significativamente más altas en la zona Aguas arriba con respecto a la zona Lejana al vertido; mientras que en el estrato Sub-superficial no se observaron diferencias significativas entre las zonas de estudio ($p > 0,05$, Figura 5a). no se observaron diferencias significativas entre las posiciones en la columna de agua para ninguna de las zonas de estudio ($p > 0,05$, Figura 5b). Asimismo, se destacó una importante variabilidad temporal, con mayores valores de oxígeno disuelto encontrados en el mes de julio y valores mínimos encontrados en el mes de enero. Tal variabilidad podría estar asociada a las variaciones estacionales en cuanto a caudal y temperatura ambiente.

Nota: Se incluyen en la tabla a continuación las mediciones correspondientes al sitio Tox, aunque estas mediciones no se incluyen en el tratamiento estadístico de la información.

Valores de oxígeno disuelto (mg/L).

Sitio	Posición	Mes			
		Enero	Abril	Julio	Octubre
U1	Sub-superficial	5,87	8,23	9,85	7,94
	Mitad de columna	5,99	8,17	9,74	7,87
	Fondo	6,1	8,09	9,68	7,8
U2	Sub-superficial	5,85	8,29	9,78	7,93
	Mitad de columna	6,13	8,26	9,74	7,87
	Fondo	6,07	8,24	9,76	7,89
Tox	Sub-superficial	s/d	8,27	9,82	7,96
	Mitad de columna	s/d	8,21	9,76	7,87
	Fondo	s/d	8,12	9,71	7,84
U3	Sub-superficial	5,52	8,26	9,81	7,96
	Mitad de columna	5,58	8,21	9,75	7,88
	Fondo	5,3	8,15	9,7	7,84
U4	Sub-superficial	4,99	8,24	9,8	7,94
	Mitad de columna	5,14	8,17	9,75	7,88

U5	Fondo	4,88	8,13	9,71	7,83
	Sub-superficial	4,57	8,15	9,87	8,04
	Mitad de columna	4,41	s/d	s/d	s/d
	Fondo	4,32	s/d	s/d	s/d
U6	Sub-superficial	4,95	8,19	9,82	8,01
	Mitad de columna	4,86	8,16	9,78	7,95
	Fondo	4,54	8,09	9,75	7,9

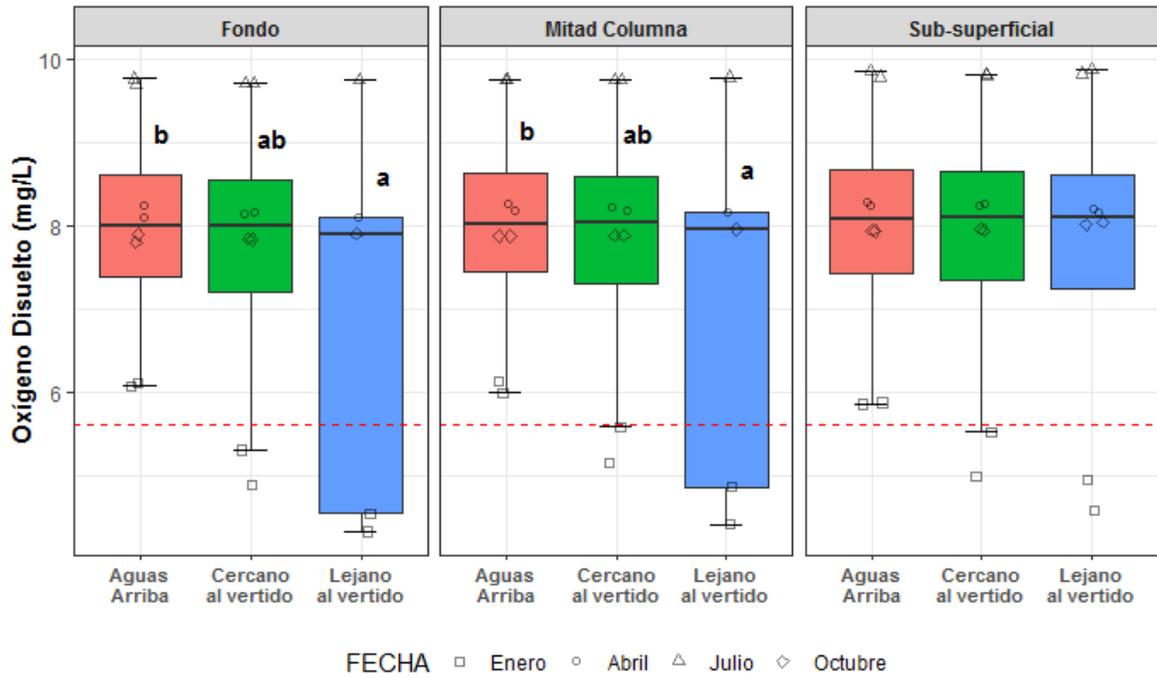


Figura 5a: Variación espacial en la concentración de oxígeno disuelto.

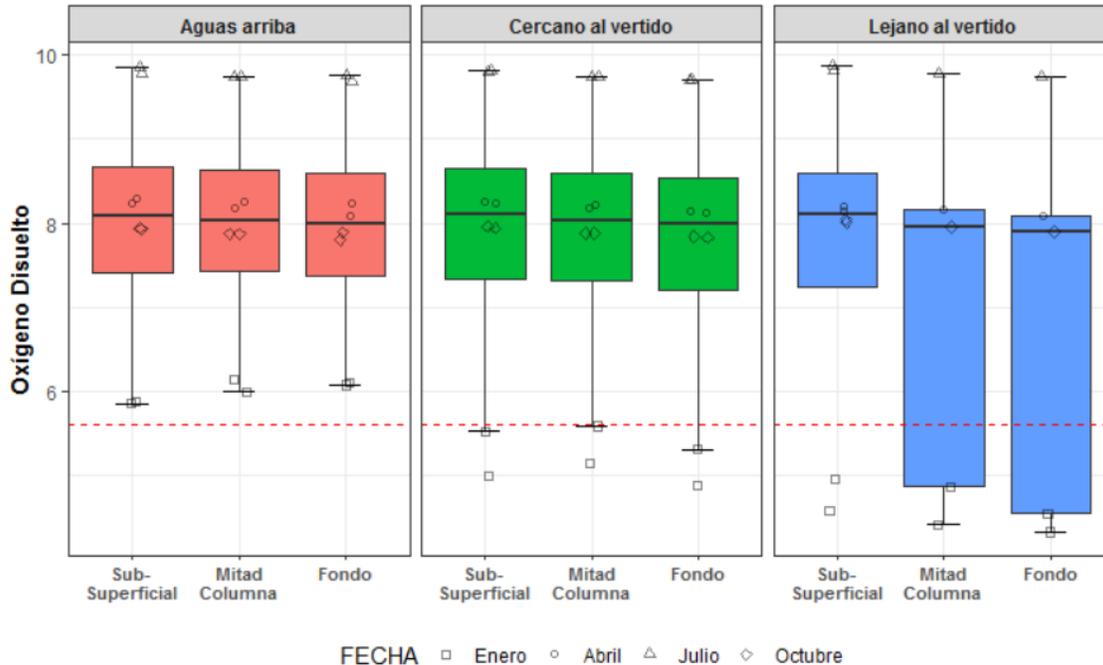


Figura 5b: Variación vertical de oxígeno disuelto.

pH

Durante el periodo de estudio se observó una media de pH de 7,25, registrándose los valores máximo y mínimo en el estrato sub-superficial del sitio U1 (Aguas arriba del vertido): el valor máximo de 7,81 en el mes de julio, y el valor mínimo de 6,19, durante el mes de 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.

Todas las mediciones realizadas durante el mes de enero resultaron en incumplimientos normativos los que se resaltan en naranja en la tabla siguiente (6,5-8,3, 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 respecto al pH entre las zonas de estudio ni entre las posiciones en la columna de agua ($p > 0,05$, Figuras 6a y 6b).

Nota: Se incluyen en la tabla a continuación las mediciones correspondientes al sitio Tox, aunque estas mediciones no se incluyen en el tratamiento estadístico de la información.

Sitio	Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
U1	Sub-superficial	6,19	7,62	7,81	7,55
	Mitad de columna	6,28	7,55	7,65	7,54
	Fondo	6,32	7,52	7,65	7,53
U2	Sub-superficial	6,35	7,44	7,62	7,56
	Mitad de columna	6,41	7,5	7,6	7,45
	Fondo	6,45	7,52	7,61	7,47
Tox	Sub-superficial	s/d	7,54	7,64	7,78
	Mitad de columna	s/d	7,52	7,65	7,52
	Fondo	s/d	7,5	7,62	7,52
U3	Sub-superficial	6,44	7,53	7,63	7,53
	Mitad de columna	6,34	7,5	7,63	7,52
	Fondo	6,35	7,52	7,64	7,5
U4	Sub-superficial	6,42	7,58	7,63	7,55
	Mitad de columna	6,39	7,51	7,65	7,48
	Fondo	6,38	7,51	7,64	7,49
U5	Sub-superficial	6,48	7,6	7,68	7,6
	Mitad de columna	6,49	s/d	s/d	s/d
	Fondo	6,48	s/d	s/d	s/d
U6	Sub-superficial	6,46	7,5	7,64	7,52
	Mitad de columna	6,45	7,49	7,61	7,54
	Fondo	6,45	7,48	7,63	7,52

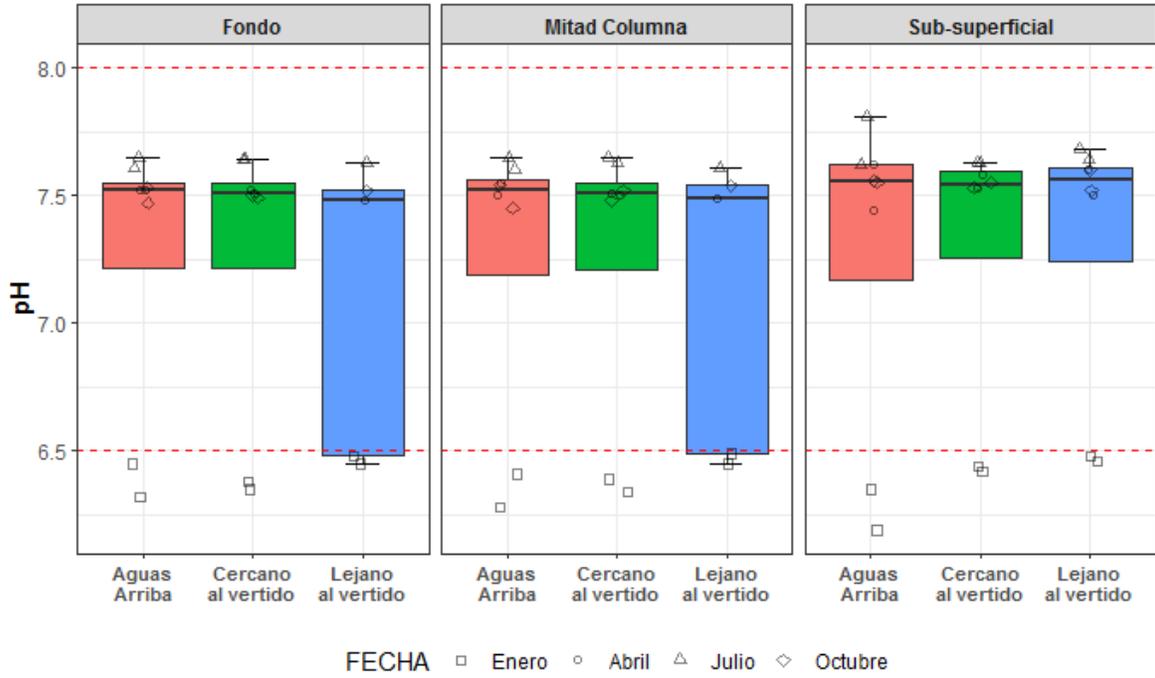


Figura 6a: Variación espacial de pH.

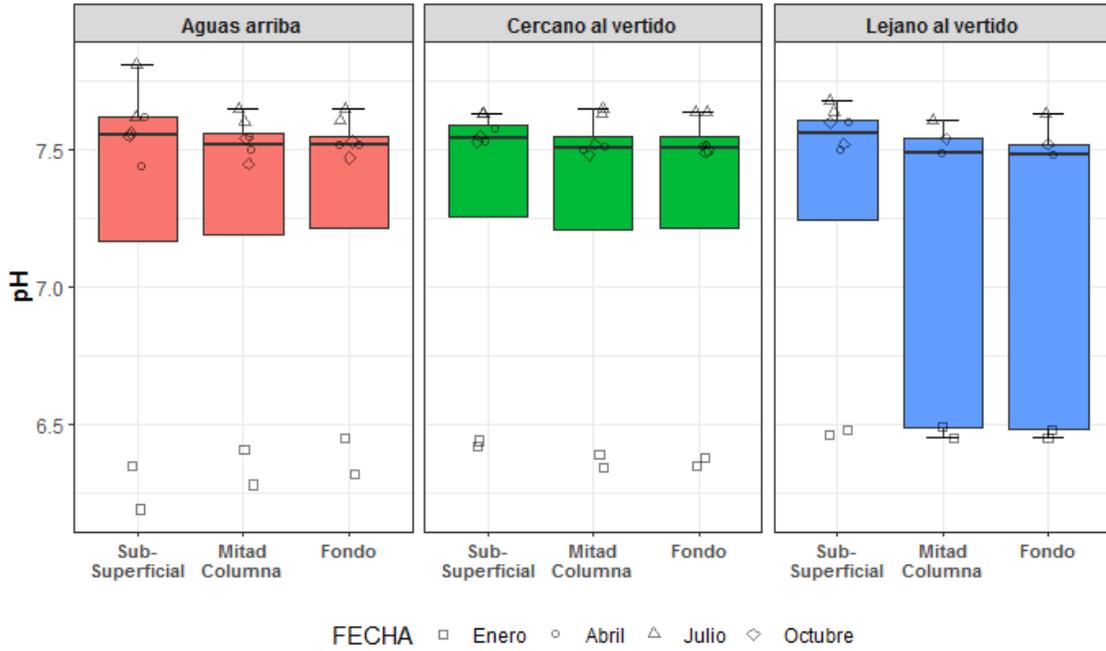


Figura 6b: Variación vertical de pH.

Temperatura

Respecto a la temperatura, se observó una media de 20,61°C a lo largo del periodo de estudio. Los valores máximo y mínimo fueron observados ambos en el sitio U5 en el estrato sub-superficial (Lejano al vertido). El valor máximo resultó 26,97 °C registrado en el mes de enero, y el valor mínimo fue 13,26°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 los ANOVA no se observaron diferencias significativas respecto a la temperatura tanto entre zonas de estudio como entre las posiciones en la columna de agua ($p > 0,05$, Figura 7a y 7b).

Nota: Se incluyen en la tabla a continuación las mediciones correspondientes al sitio Tox, aunque estas mediciones no se incluyen en el tratamiento estadístico de la información.

Valores de temperatura (°C).

Sitio	Posición	Mes			
		Enero	Abril	Julio	Octubre
U1	Sub-superficial	26,65	21,41	13,59	20,04
	Mitad de columna	26,64	21,43	13,60	19,96
	Fondo	26,62	21,27	13,60	19,94
U2	Sub-superficial	26,77	21,53	13,64	19,83
	Mitad de columna	26,74	21,44	13,64	19,80
	Fondo	26,75	21,39	13,48	19,75
Tox	Sub-superficial	s/d	21,44	13,56	19,97
	Mitad de columna	s/d	21,44	13,56	19,94
	Fondo	s/d	21,46	13,62	19,94
U3	Sub-superficial	26,76	21,49	13,58	19,97
	Mitad de columna	26,71	21,50	13,58	19,95
	Fondo	26,74	21,51	13,59	19,90
U4	Sub-superficial	26,82	21,45	13,57	19,95
	Mitad de columna	26,78	21,44	13,56	19,93
	Fondo	26,82	21,44	13,56	19,94
U5	Sub-superficial	26,97	21,08	13,26	20,02
	Mitad de columna	26,9	s/d	s/d	s/d
	Fondo	26,9	s/d	s/d	s/d
U6	Sub-superficial	26,88	21,54	13,52	19,98
	Mitad de columna	26,88	21,47	13,49	19,98
	Fondo	26,91	21,07	13,49	19,96

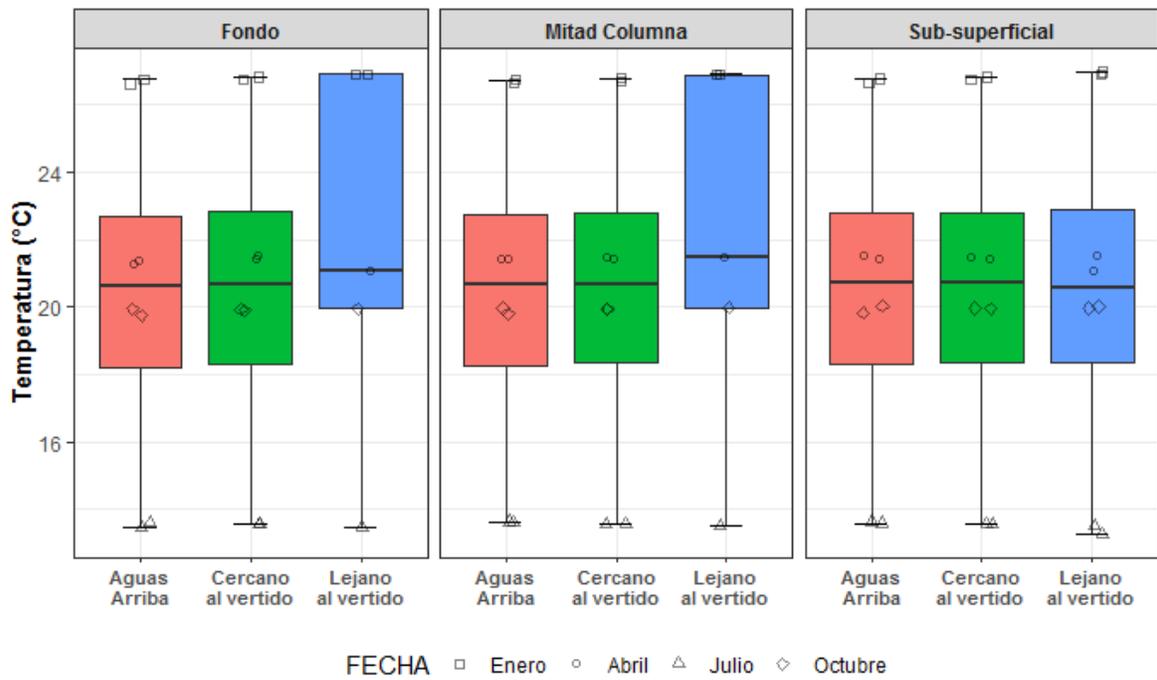


Figura 7a: Variación espacial de temperatura.

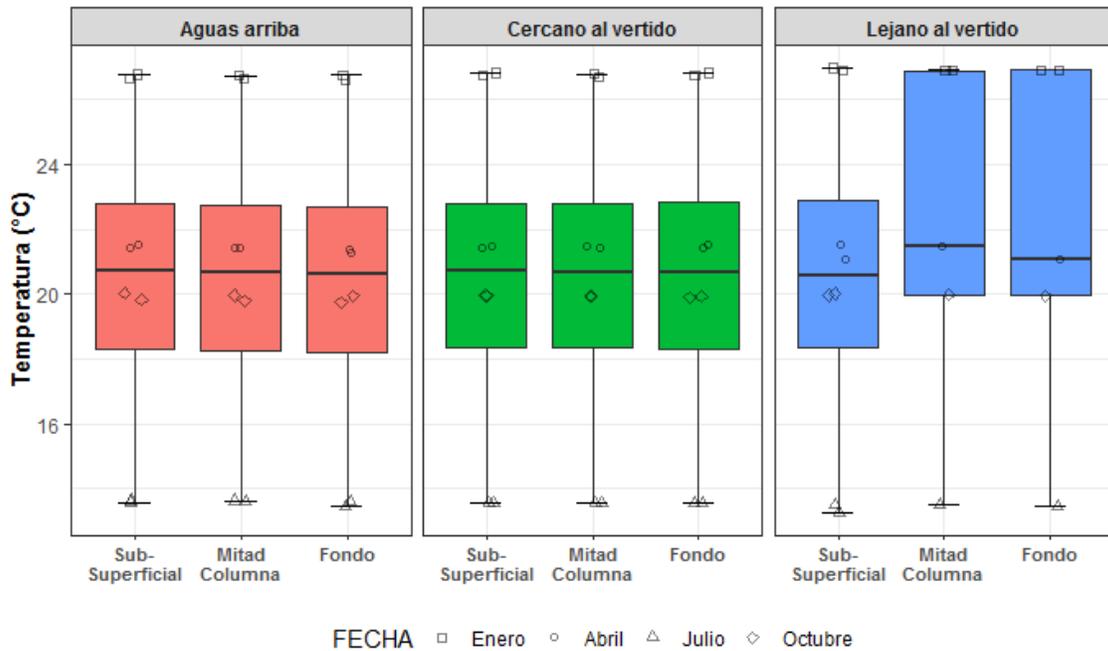


Figura 7b: Variación vertical de temperatura.

Transparencia

Durante el periodo de estudio los valores de transparencia resultaron en una media de 0,58 m. El valor máximo registrado fue 0,7 m correspondiente al sitio U1 (Aguas arriba del vertido) en el mes de abril. Por el contrario, se registró el valor mínimo de 0,45 m durante el mes de enero en los sitios U1, U2 (ambos Aguas arriba del vertido) y U3 (Cercano al vertido).

No se detectaron diferencias significativas entre las zonas de estudio (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 8).

Nota: Se incluyen en la tabla a continuación las mediciones correspondientes al sitio Tox, aunque estas mediciones no se incluyen en el tratamiento estadístico de la información.

Valores de transparencia (m).

Sitio	Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
U1		0,45	0,7	0,6	0,6
U2		0,45	0,65	0,6	0,6
Tox		s/d	0,6	0,6	0,6
U3		0,45	0,65	0,6	0,55
U4		0,5	0,65	0,6	0,6
U5		0,6	0,65	0,6	0,5
U6		0,55	0,65	0,6	0,6

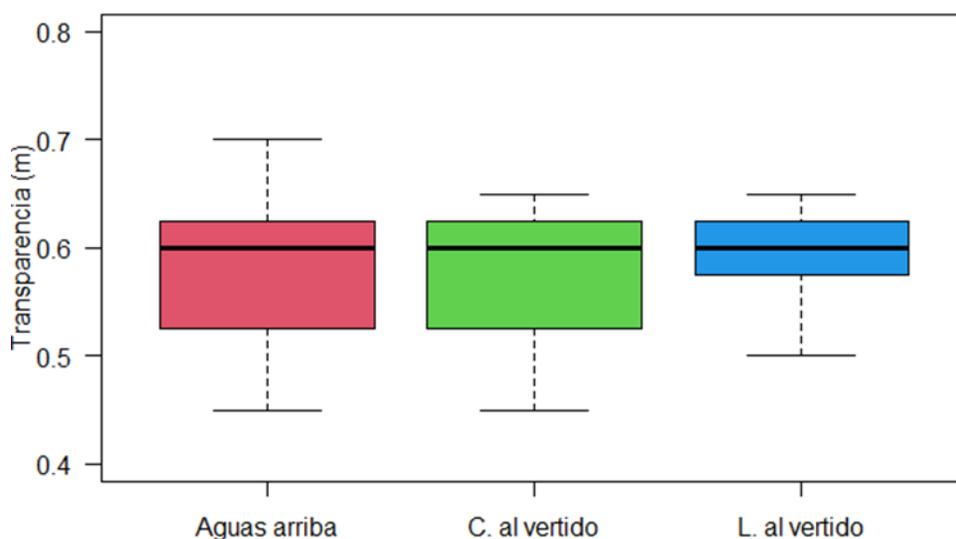


Figura 8: Variación espacial de transparencia.

Turbidez

Las mediciones de turbidez resultaron en una media de 17,91 NTU, registrándose el valor más alto de 27,2 NTU en el mes de enero en la posición fondo de U2 (Aguas arriba del vertido), mientras que se registró el valor mínimo de 14,51 NTU en el mes de julio en la posición sub-superficial del sitio U4 (Cercano al vertido).

Para las posiciones Mitad de columna y fondo el ANOVA resultó en valores de turbidez significativamente más bajos en la zona Lejana al vertido con respecto a la zona Aguas arriba ($p < 0,05$, Figura 9a); mientras que para la posición Sub-superficial no se observaron diferencias significativas entre las zonas de estudio. Por otro lado, no se observaron diferencias significativas entre las posiciones en la columna de agua para ninguna de las zonas de estudio ($p > 0,05$, Figura 9b).

Nota: Se incluyen en la tabla a continuación las mediciones correspondientes al sitio Tox, aunque estas mediciones no se incluyen en el tratamiento estadístico de la información.

Valores de turbidez (NTU).

Sitio	Posición	Mes			
		Enero	Abril	Julio	Octubre
U1	Sub-superficial	21,8	16,17	15,01	17,55
	Mitad de columna	23,3	16,73	15,1	18,14

	Fondo	23,3	16,51	15	19,48
U2	Sub-superficial	23,6	16,03	16,09	19,17
	Mitad de columna	24	16,63	15,9	20,15
	Fondo	27,2	16,89	16,42	19,99
Tox	Sub-superficial	s/d	16,32	15,15	17,43
	Mitad de columna	s/d	16,33	15,22	18,1
	Fondo	s/d	16,08	15,99	19,44
U3	Sub-superficial	20,8	16,08	15,09	17,54
	Mitad de columna	21,4	16,11	14,91	18,05
	Fondo	25,5	16,32	14,9	18,82
U4	Sub-superficial	20	15,82	14,51	17,67
	Mitad de columna	20,2	16,1	14,72	18,02
	Fondo	20,1	16,18	14,82	18,38
U5	Sub-superficial	16,8	17,34	15,24	17,21
	Mitad de columna	17,5	s/d	s/d	s/d
	Fondo	17,8	s/d	s/d	s/d
U6	Sub-superficial	19,8	16,02	14,82	17,33
	Mitad de columna	20,5	16,4	15,06	17,67
	Fondo	20,3	17,33	15,1	17,72

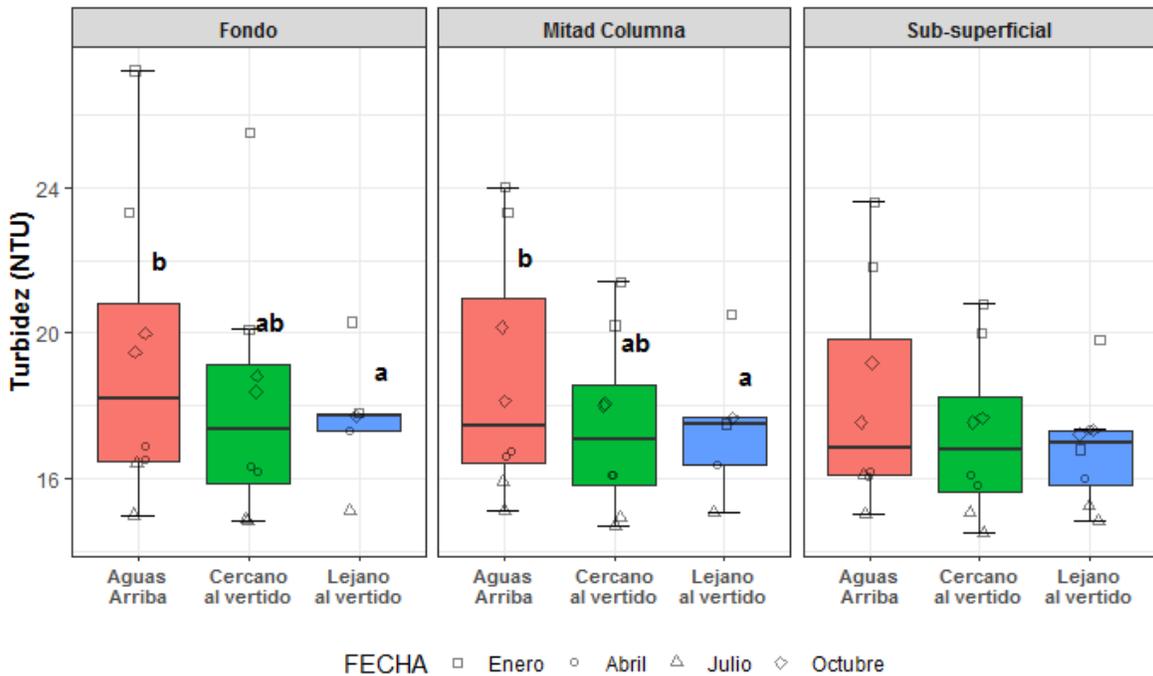


Figura 9a: Variación espacial de turbidez.

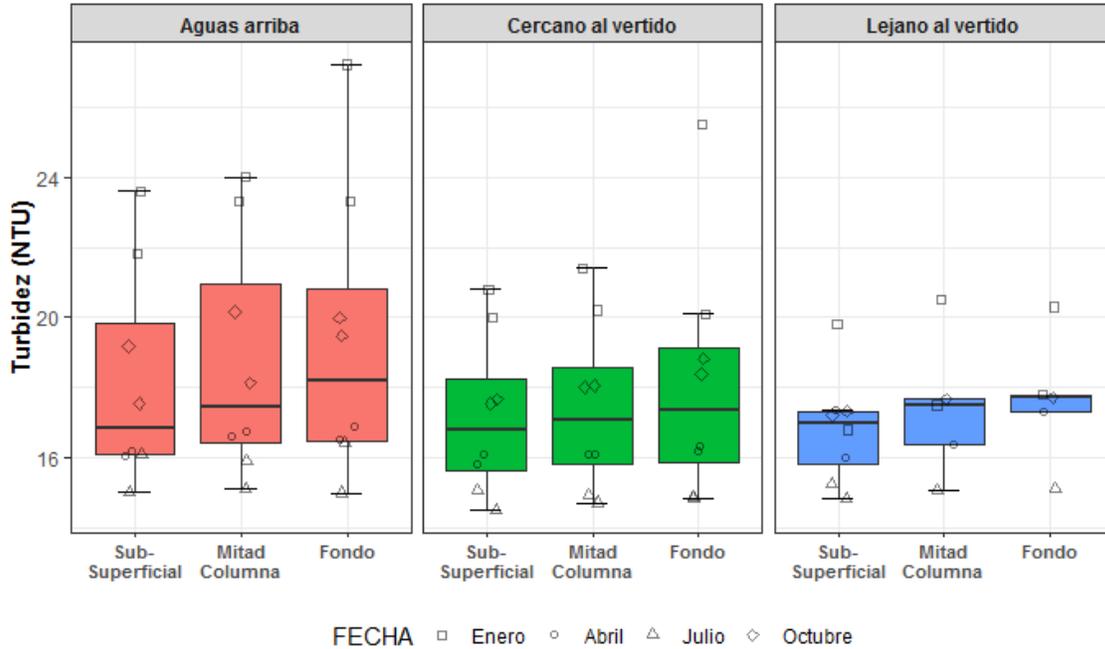


Figura 9b: Variación vertical de turbidez.

Alcalinidad

La alcalinidad resultó en una media de 30,15 mg CaCO₃/L, siendo que tanto la mayor como la menor concentración fueron detectadas en el sitio U4 (Cercano al vertido): en el mes de octubre se detectaron 41,9 mg CaCO₃/L, mientras que en el mes de enero 20,2 mg CaCO₃/L.

No se registraron incumplimientos respecto a la alcalinidad durante el periodo de estudio (500 mg/L de CaCO₃, 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.

No se detectaron diferencias significativas entre las zonas de estudio (ANOVA, p>0,05, Figura 11).

Valores de alcalinidad (mg/L CaCO₃).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	23,3	26,4	29,8	41,5
U2	21	25,6	27,4	39,6
U3	24,4	26,7	30,9	40,1
U4	20,2	26,6	30,5	41,9

U5	25,4	27,5	32,1	39,8
U6	24,3	27,6	30,3	40,8

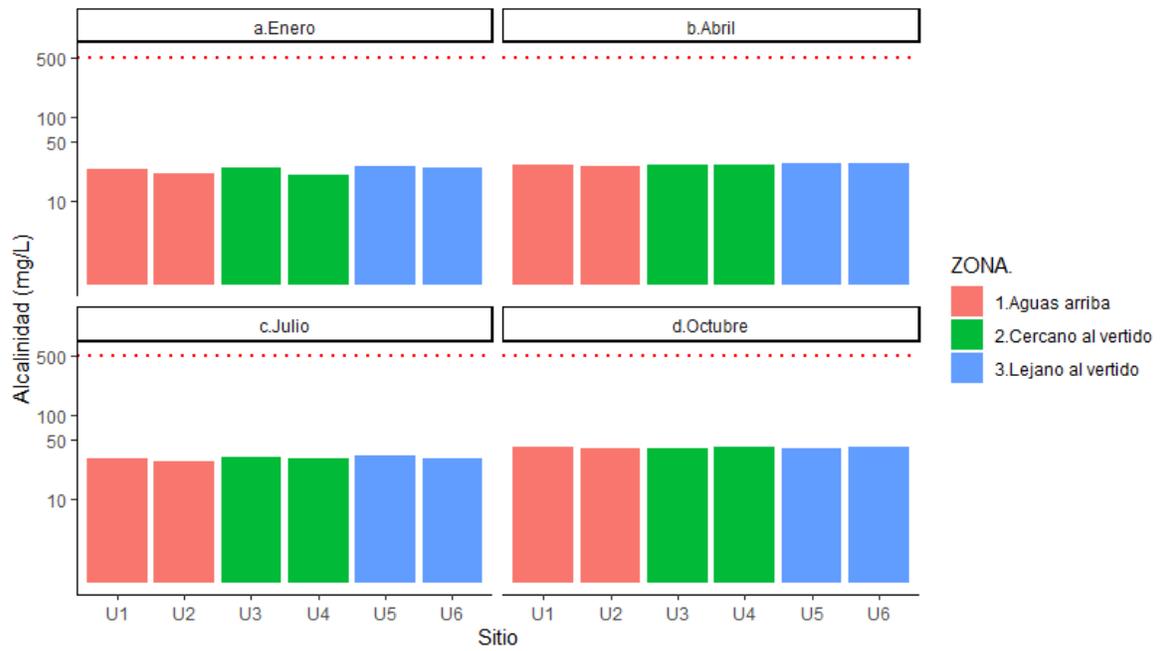


Figura 10: Variación espacial y temporal de alcalinidad.

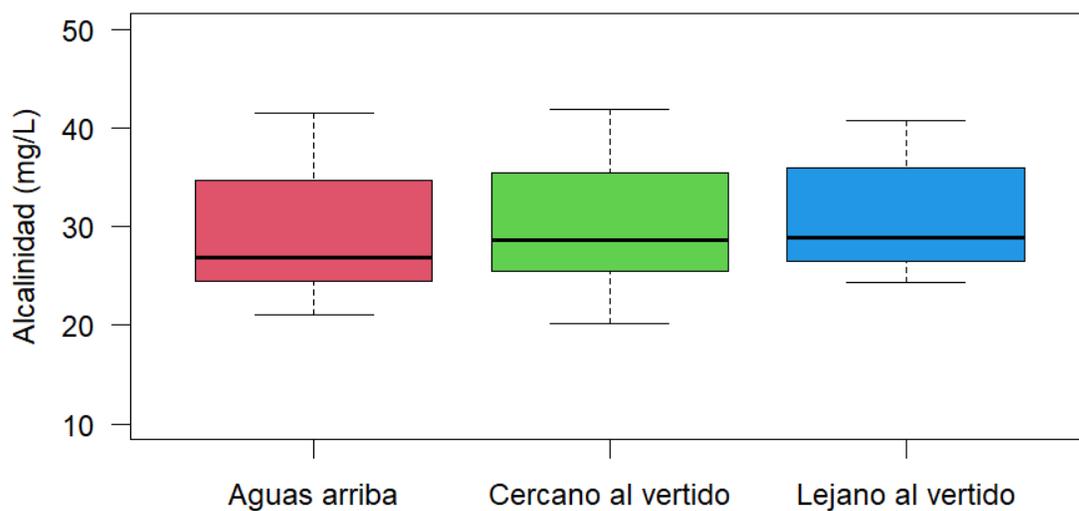


Figura 11: Variación espacial de alcalinidad.

Aluminio

Se detectó una concentración media de 0,63 mg/L de aluminio durante el periodo de estudio, donde el valor máximo resultó 1 mg/L correspondiente al sitio U3 (Cercano al vertido) durante el mes de enero. El valor mínimo de aluminio observado fue 0,18 mg/L en el mes de octubre en el sitio U1 (Aguas arriba del vertido, Figura 12).

No se observaron diferencias significativas entre las zonas de estudio (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 13).

Valores de aluminio (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	0,66	0,61	0,95	0,18
U2	0,76	0,64	0,85	0,22
U3	1	0,66	0,76	0,21
U4	0,86	0,64	0,62	0,25
U5	0,59	0,67	0,61	0,27
U6	0,89	0,57	0,75	0,97

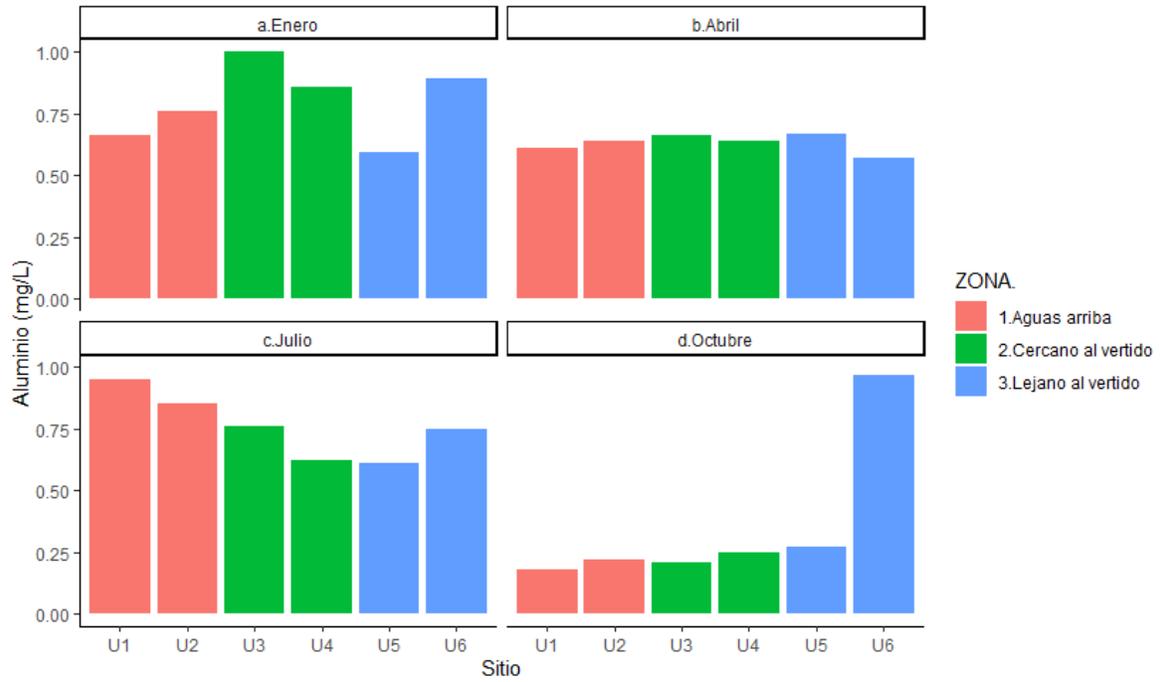


Figura 12: Variación espacial y temporal de aluminio.

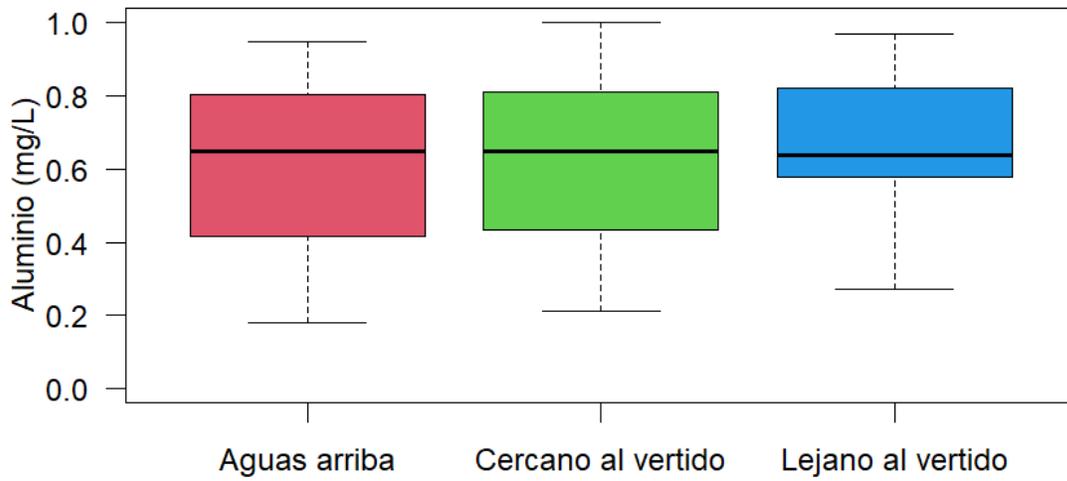


Figura 13: Variación espacial de aluminio.

Amoníaco Total – N

Durante el periodo analizado se observaron cinco detecciones de amoníaco total. En el sitio U6 (Lejano al vertido) se detectaron 0,081 mg/L en el mes de abril y 0,037 mg/L en el mes de julio. En el mes de octubre se detectaron 0,03 mg/L en el sitio U4 (Cercano al vertido), y 0,026 mg/L en el sitio U1 y 0,025 mg/L en el sitio U2 (ambos Aguas arriba del vertido, Figura 14).

El ANOVA indica que no hay diferencias significativas entre las zonas de estudio ($p > 0,05$, Figura 15).

Valores de amoníaco total (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	<0,025	<0,025	<0,025	0,026
U2	<0,025	<0,025	<0,025	0,025
U3	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
U4	<0,025	<0,025	<0,025	0,03
U5	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
U6	<0,025	0,081	0,037	<0,025

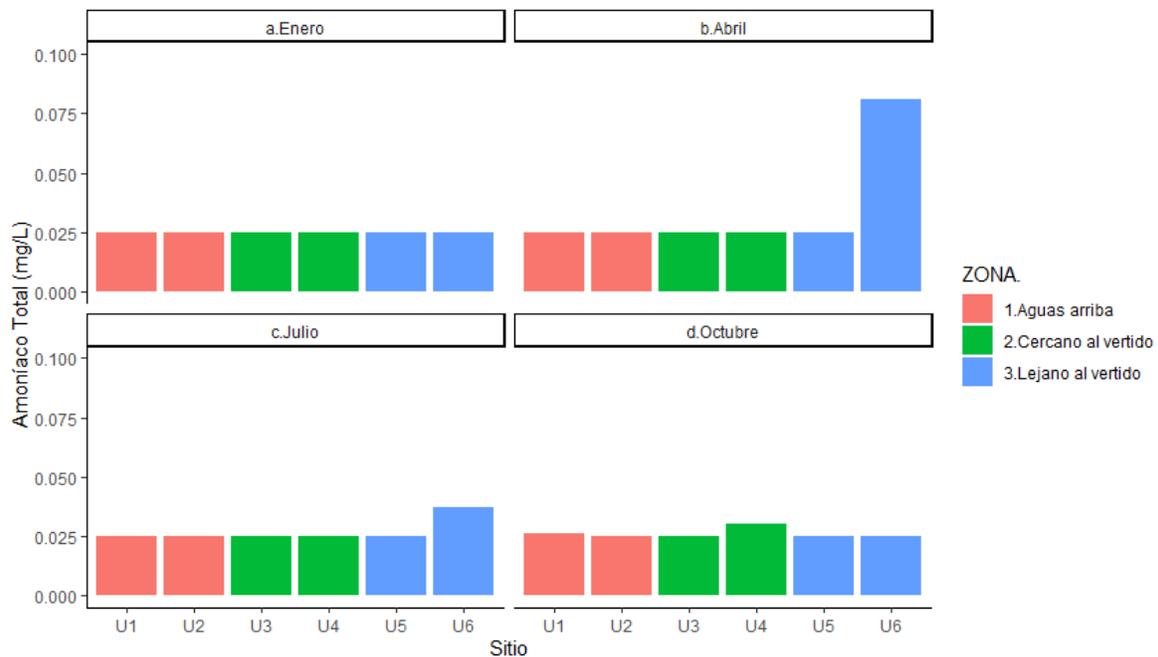


Figura 14: Variación espacial y temporal de amoníaco total.

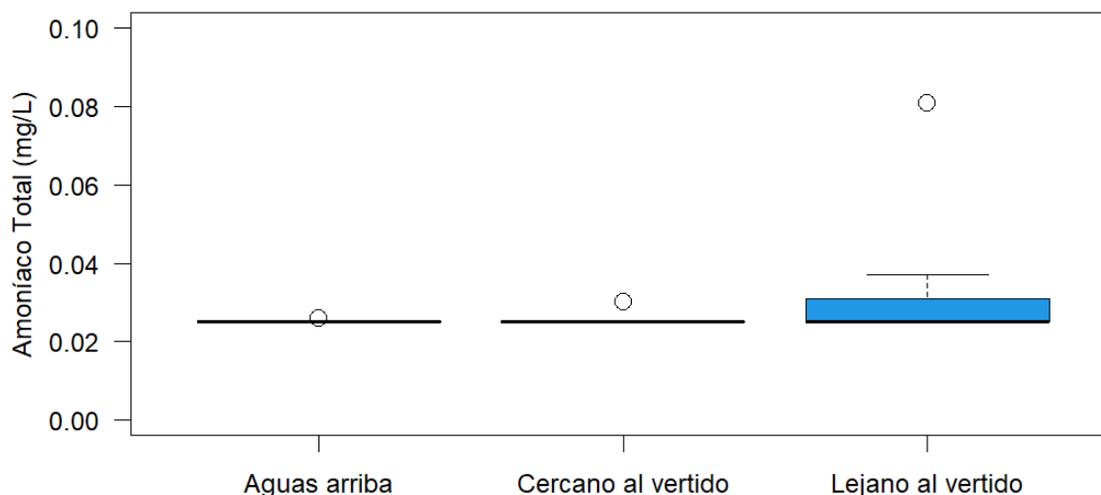


Figura 15: Variación espacial de amoníaco total.

Antimonio

Con respecto al parámetro antimonio, las determinaciones resultaron en una media de 0,04 $\mu\text{g/L}$. De las detecciones reportadas el máximo observado fue 0,08 $\mu\text{g/L}$ y corresponde al sitio U2 (Aguas arriba del vertido) durante el mes de abril. 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). Se hace notar que en ocasiones puntuales se ajustó el límite de detección de la técnica analítica debido a efectos de la matriz, lo cual incide en la representación gráfica subsiguiente.

No se detectaron diferencias significativas entre las zonas de estudio respecto al antimonio (ANOVA, $p>0,05$, Figura 17).

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

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	<0,02	0,04	0,03	<0,1
U2	0,03	0,08	0,03	<0,1
U3	<0,02	0,03	0,03	<0,1
U4	<0,02	<0,02	0,05	<0,1
U5	0,03	0,03	0,04	0,1
U6	<0,03	0,03	0,02	<0,1

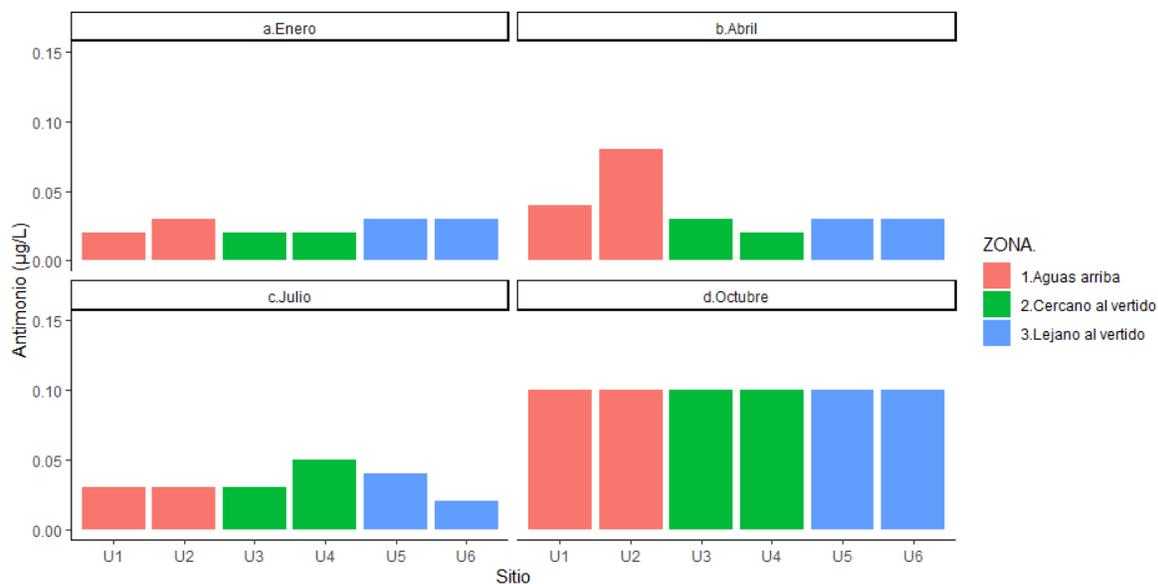


Figura 16: Variación espacial y temporal de antimonio.

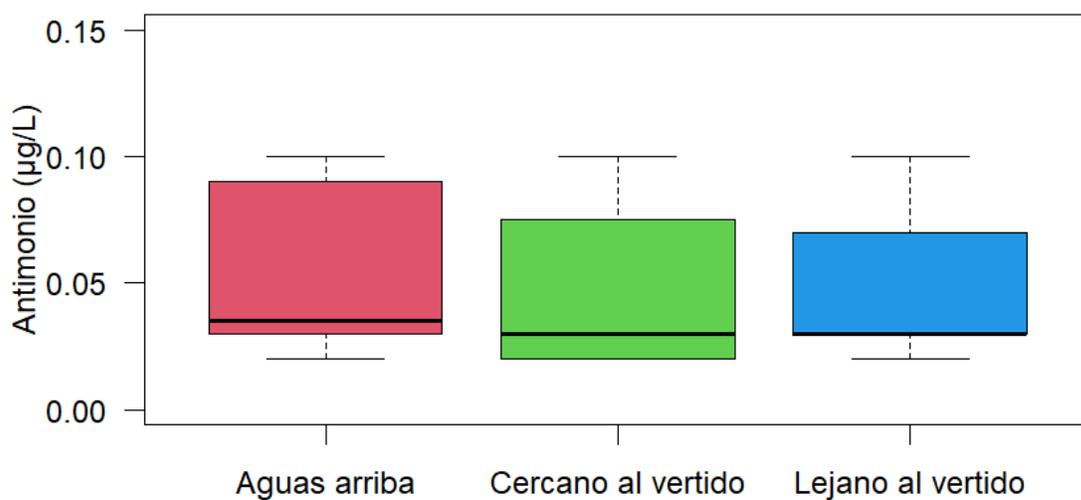


Figura 17: Variación espacial de antimonio.

AOX

Los compuestos órgano-halogenados (AOX) presentaron una concentración media de 14 µg/L, donde la concentración máxima (20 µg/L) fue detectada en el sitio U1 (Aguas arriba)

del vertido) en los meses de julio y octubre. La concentración mínima fue 9,9 $\mu\text{g/L}$ y se observó en abril en U6 (Lejano al vertido, Figura 18).

La zona Lejana al vertido presentó concentraciones de AOX significativamente menores que las otras dos zonas (ANOVA, $p < 0,05$, Figura 19).

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

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	13	13	20	20
U2	13	18	11	17
U3	s/d	15	15	18
U4	12	14	13	16
U5	11	11	12	16
U6	11	9,9	12	13

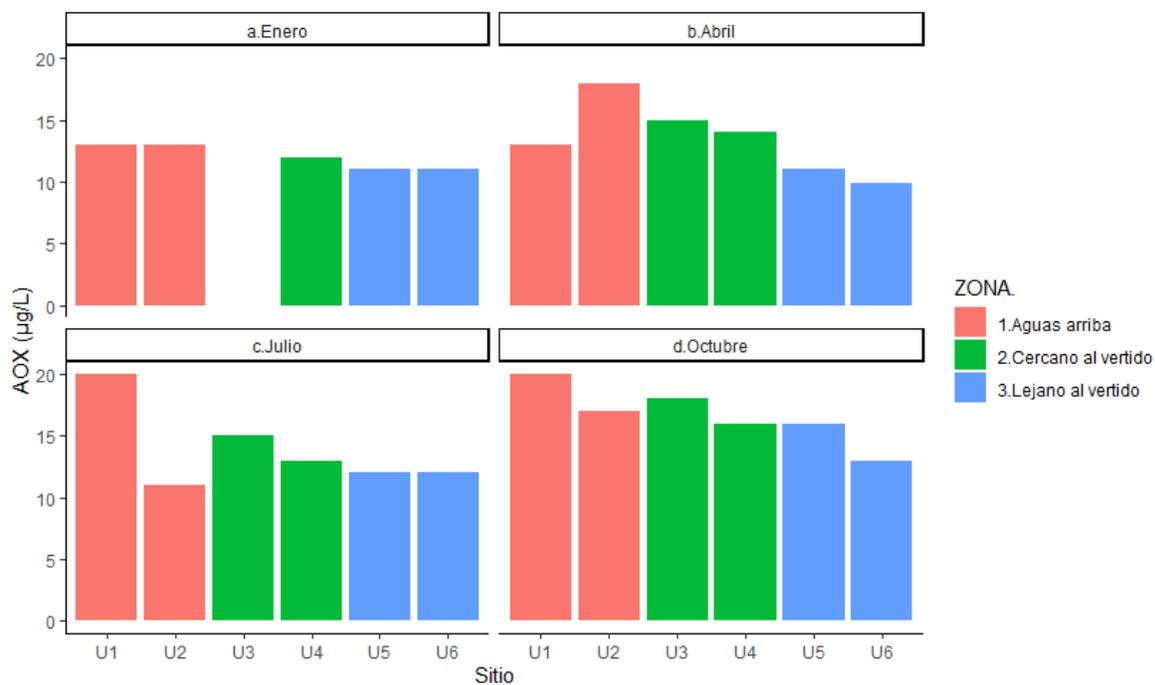


Figura 18: Variación espacial y temporal de AOX.

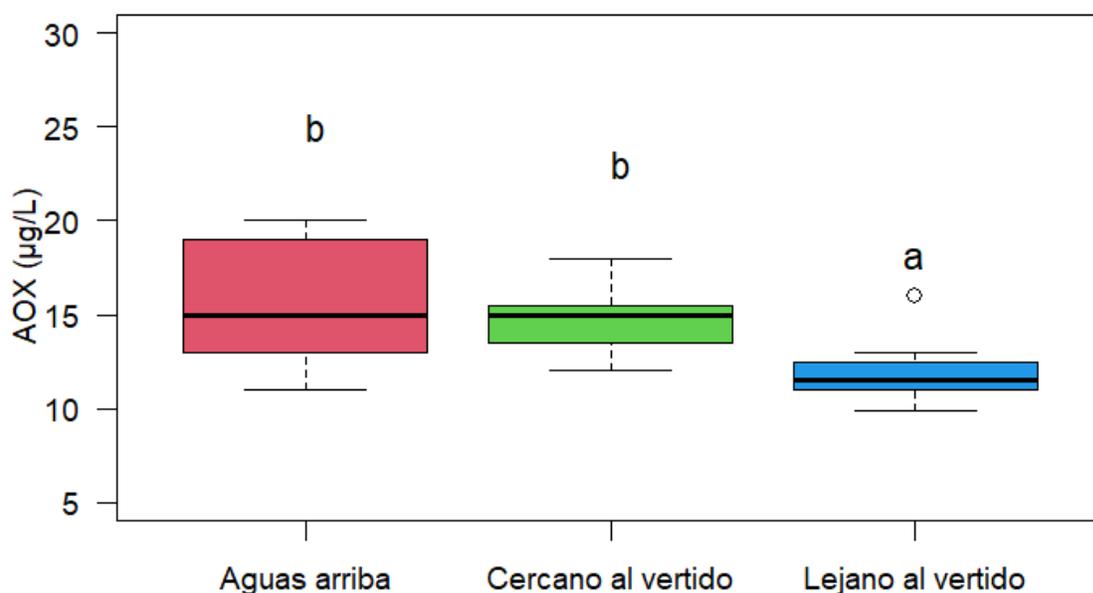


Figura 19: Variación espacial de AOX.

Arsénico

Respecto al parámetro arsénico, durante el periodo de estudio se observó una media de 0,6 µg/L, siendo 1 µg/L las concentraciones máximas detectadas y corresponden a todos los sitios aguas abajo del vertido (U3, U4, U5 y U6) durante el mes de 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). En la Figura 20 se representa el límite normativo con una línea roja.

La zona Aguas arriba del vertido presentó concentraciones de arsénico significativamente menores que las zonas Cercana y Lejana al vertido (ANOVA, $p < 0,05$, Figura 21).

Valores de arsénico (µg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	0,7	0,5	0,5	0,8
U2	0,7	0,5	0,5	0,9
U3	0,8	0,5	0,5	1
U4	0,8	0,5	0,5	1
U5	0,9	0,5	0,5	1

U6	0,9	0,5	0,5	1
-----------	-----	-----	-----	---

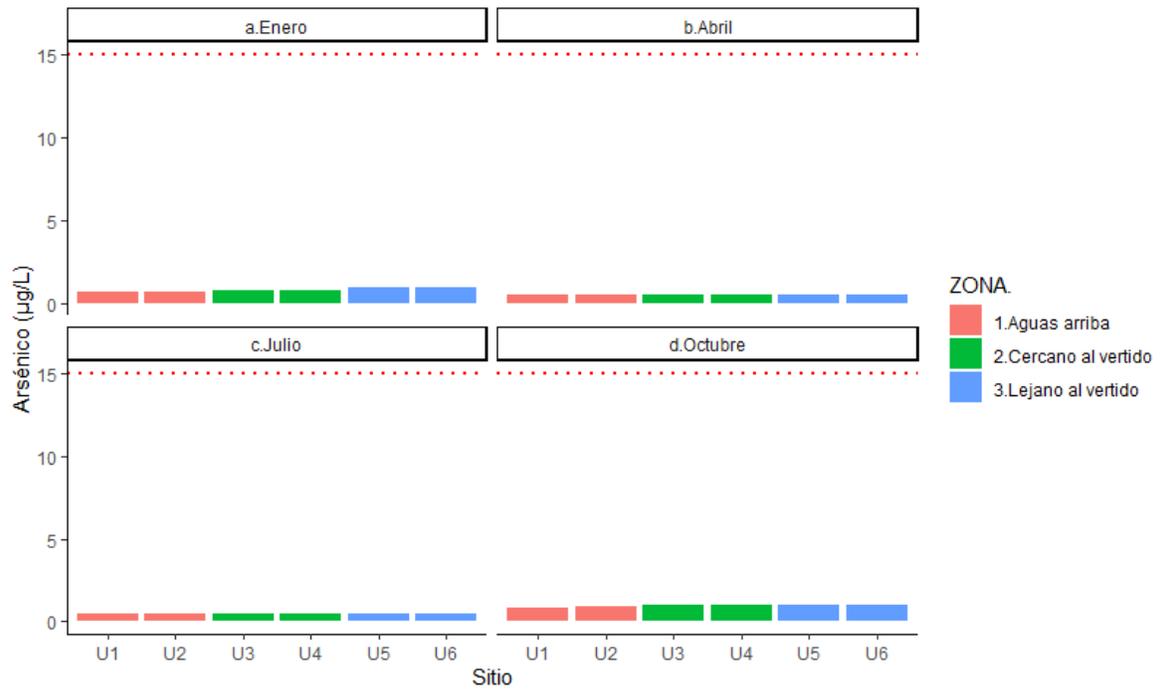


Figura 20: Variabilidad espacial y temporal de arsénico.

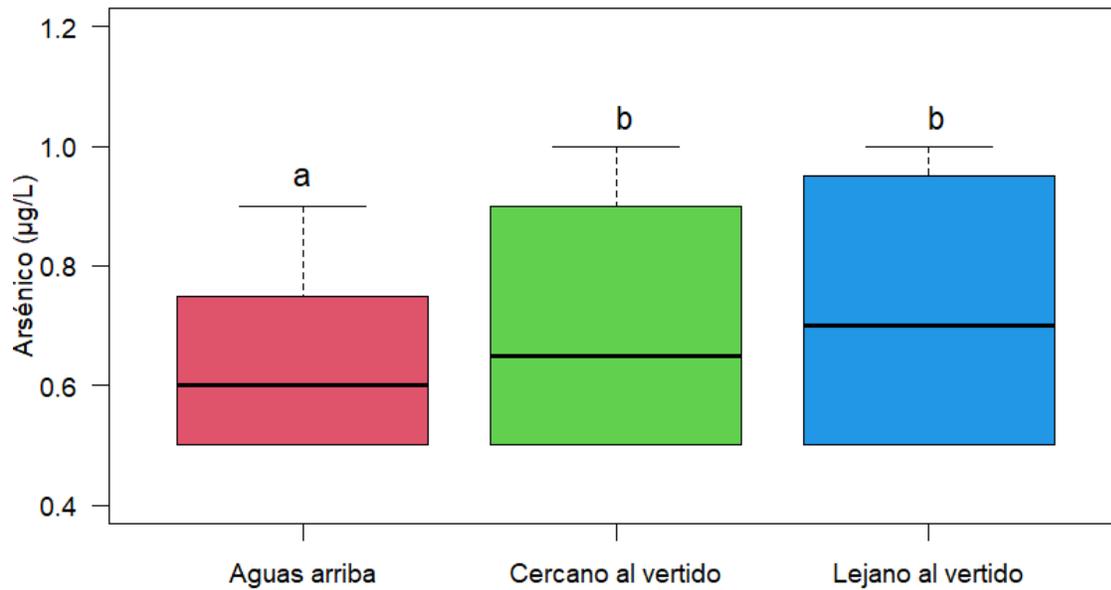


Figura 21: Variabilidad espacial de arsénico.

Azufre

La media observada de azufre fue 0,72 mg/L, con una concentración máxima de 1,3 mg/L detectada en los dos sitios Cercanos al vertido (U3 y U4) durante el mes de octubre. La concentración mínima es 0,36 mg/L, detectada en el sitio U2 (Aguas arriba del vertido) durante el mes de enero (Figura 22).

A partir del ANOVA se observa que existe una concentración significativamente mayor de azufre en el sector Cercano al vertido con respecto a las otras dos zonas del área de estudio ($p < 0,05$, Figura 23).

Valores de azufre (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	0,39	0,52	0,52	0,78
U2	0,36	0,52	0,49	0,81
U3	0,47	1,2	1,2	1,3
U4	0,45	0,98	0,93	1,3
U5	0,42	0,63	0,58	0,83
U6	0,43	0,65	0,55	1,1

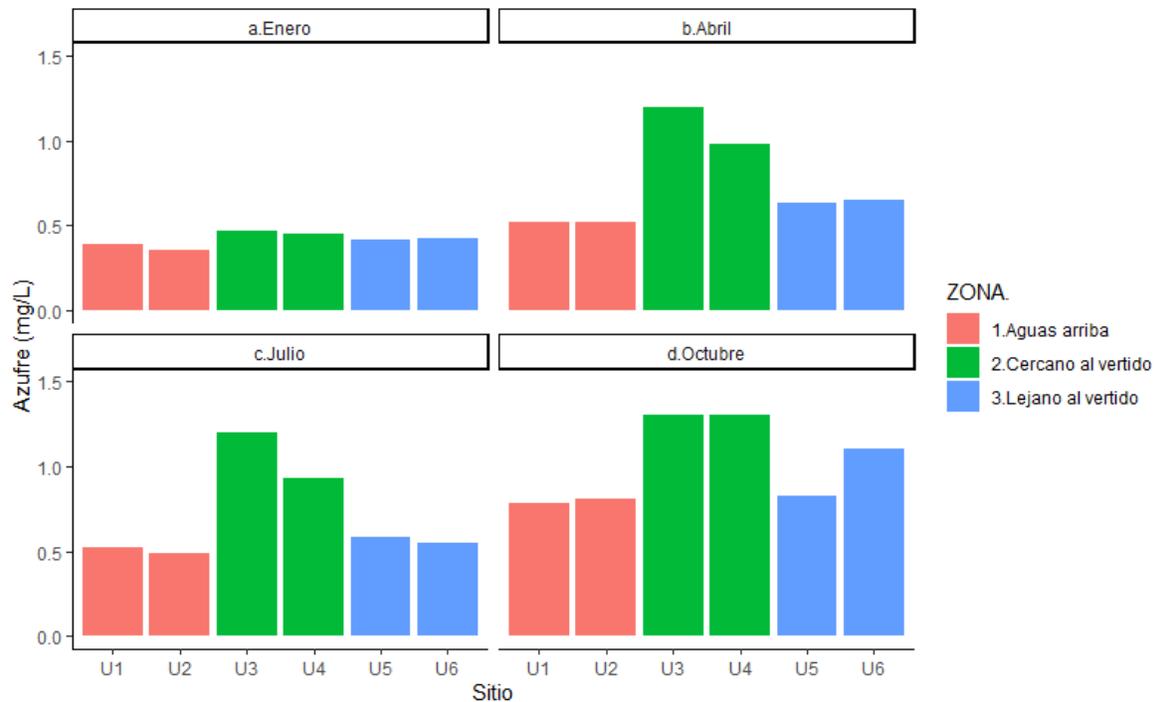


Figura 22: Variación espacial y temporal de azufre.

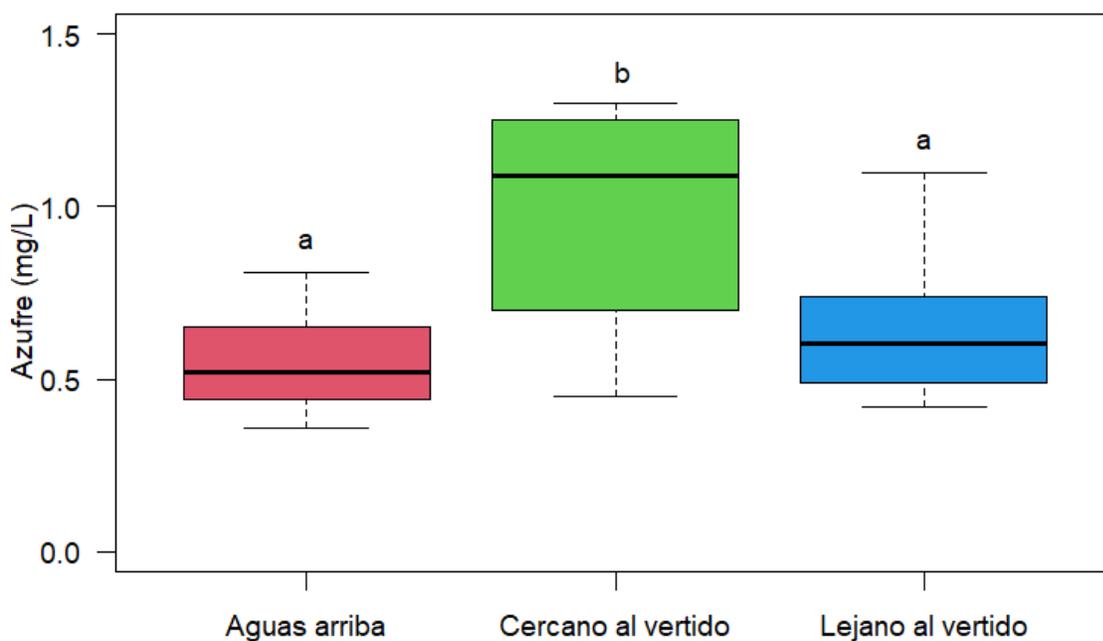


Figura 23: Variación espacial de azufre.

Bario

Durante el periodo de estudio se observó una media de 0,037 mg/L de bario, donde el valor máximo fue 0,052 mg/L correspondiente al sitio U6 (Lejano al vertido) en el mes de octubre; mientras que el valor mínimo fue 0,030 mg/L registrado en el mes de abril en los sitios U2 (Aguas arriba) y U4 (Cercano al vertido, Figura 24).

Para este periodo no se observaron diferencias significativas entre las zonas de monitoreo (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 25).

Valores de bario (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	0,035	0,032	0,034	0,05
U2	0,034	0,03	0,031	0,049
U3	0,036	0,032	0,033	0,049
U4	0,037	0,03	0,032	0,051
U5	0,037	0,032	0,033	0,05
U6	0,037	0,032	0,033	0,052

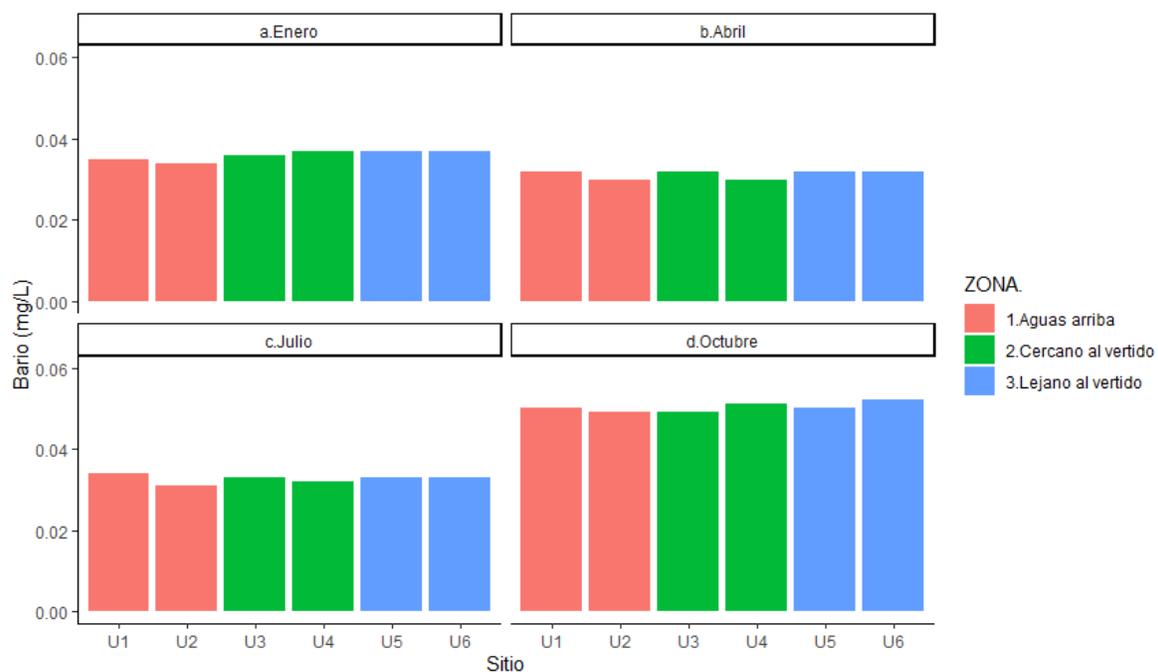


Figura 24: Variación espacial y temporal de bario.

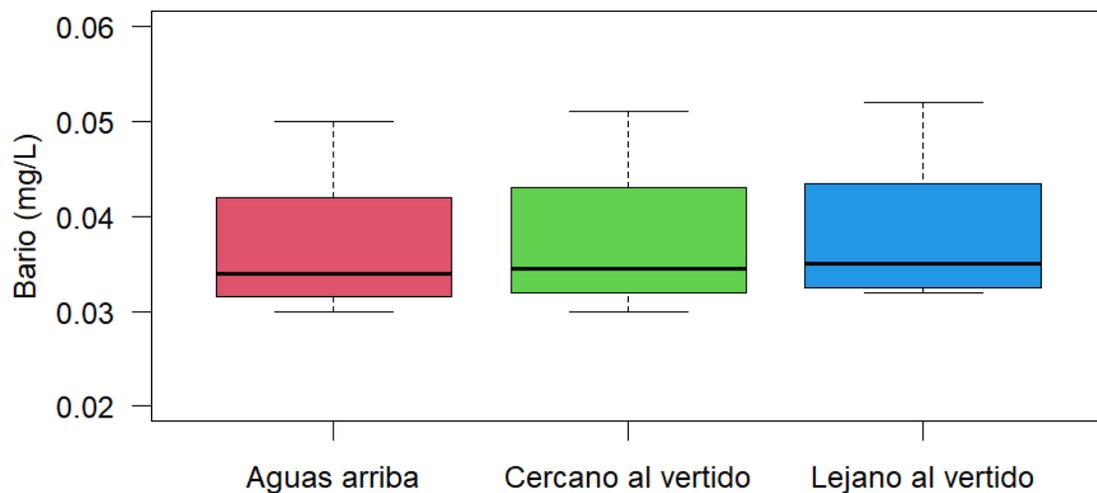


Figura 25: Variación espacial de bario.

Berilio

El valor máximo de berilio ($0,07 \mu\text{g/L}$) se observó en los sitios U1 y U2 (Aguas arriba) en el mes de enero y julio respectivamente. Hubo múltiples resultados por debajo del límite de detección (el que en ocasiones puntuales fue ajustado efectos de la matriz en la técnica analítica), lo que a su vez repercute en la representación gráfica presentada en la figura 26.

Según el ANOVA realizado, no se observan diferencias significativas respecto a las concentraciones de berilio entre las zonas de estudio ($p > 0,05$, Figura 27).

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

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	0,7	<0,05	<0,05	<0,3
U2	<0,05	0,05	0,07	<0,3
U3	0,06	0,06	<0,05	<0,3
U4	<0,05	<0,05	<0,05	<0,3
U5	0,06	<0,05	0,06	<0,3
U6	0,06	<0,05	<0,05	<0,3

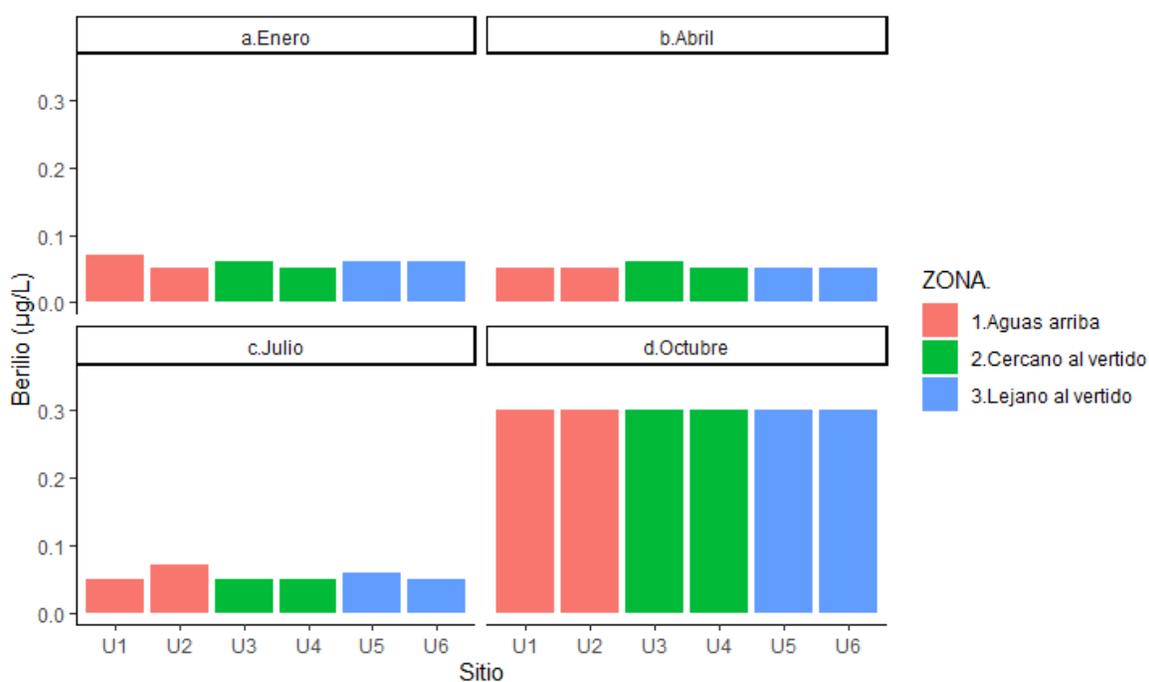


Figura 26: Variación espacial y temporal de berilio.

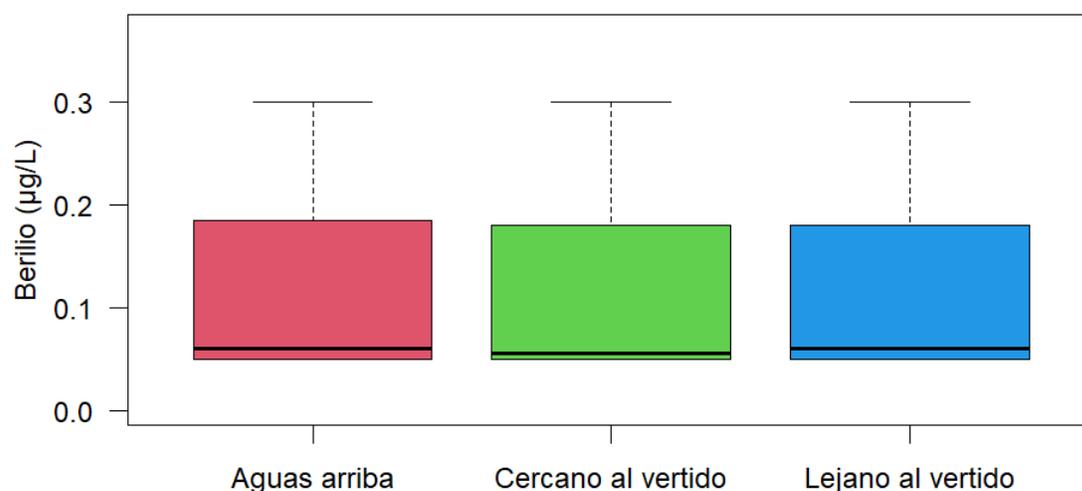


Figura 27: Variación espacial de berilio.

Boro

El valor máximo de boro fue 0,02 mg/L y corresponde al sitio U6 (Lejano al vertido) en el mes de octubre. El valor mínimo detectado resultó 0,007 mg/L para el sitio U4 (Cercano al vertido) en abril. Se hace notar que en ocasiones puntuales se ajustó el límite de detección de la técnica analítica debido a efectos de la matriz.

Para el periodo reportado no se detectaron incumplimientos normativos respecto a la concentración de boro (0,5 mg/L, según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 3). En la figura 28 se representa con una línea roja el límite normativo.

Se detectaron concentraciones significativamente más altas de boro en la zona Lejana al vertido con respecto a la zona Aguas arriba (ANOVA, $p < 0,05$, Figura 29).

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

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	8	8	8	<10
U2	8	9	9	10
U3	11	8	8	10
U4	9	7	9	10
U5	11	10	9	10
U6	11	9	9	20

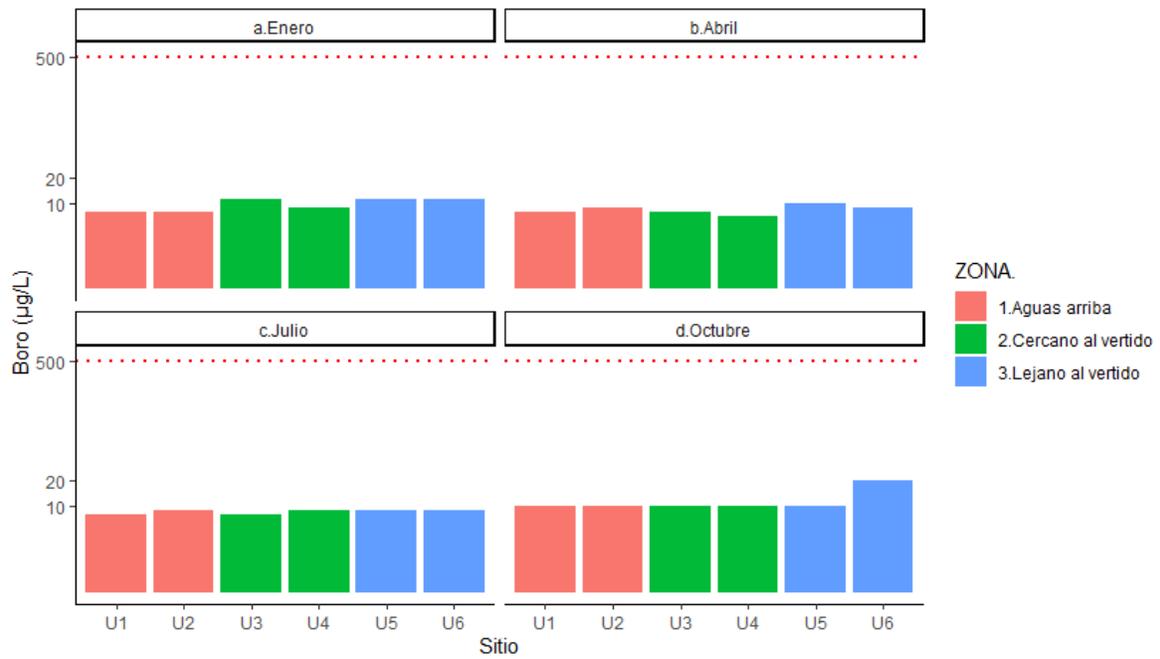


Figura 28: Variación espacial y temporal de boro. La línea roja indica el valor límite normativo.

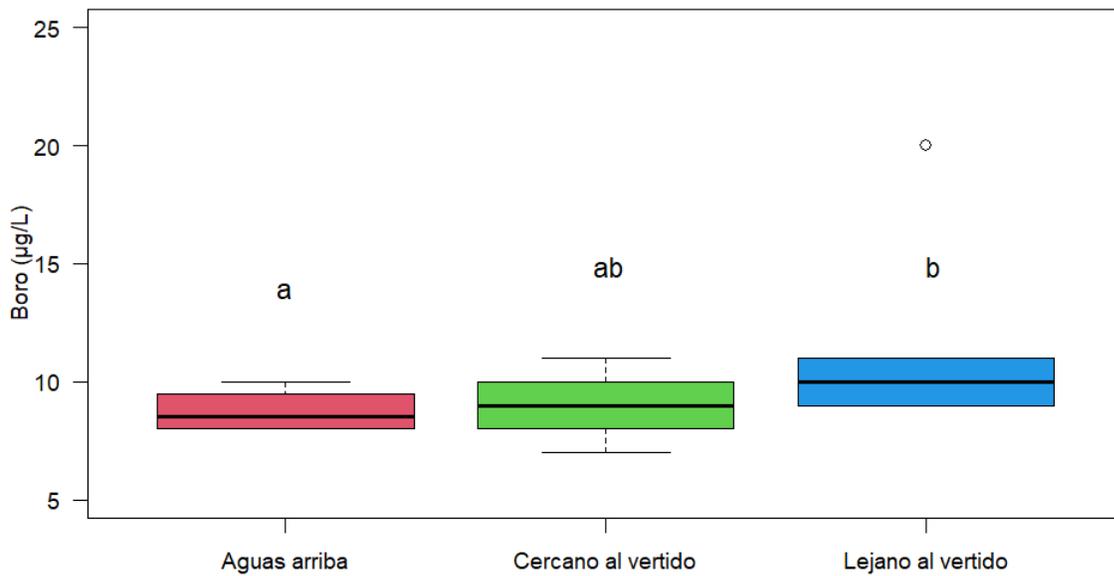


Figura 29: Variación espacial de boro.

Cadmio

Se detectaron concentraciones de cadmio por encima del límite de detección en tres ocasiones, siendo la concentración máxima 0,09 µg/L observada en el sitio U5 (Lejano al vertido) durante el mes de octubre. Las detecciones restantes, ambas en el mes de julio, fueron 0,03 µg/L en el sitio U1 -Aguas arriba- y 0,01 µg/L en el sitio U5 (Lejano al vertido). Se hace notar que en ocasiones puntuales se ajustó el límite de detección de la técnica analítica debido a efectos de la matriz.

Ninguna de estas concentraciones resulta por encima del valor establecido en la normativa de aplicación (0,84 µg/L). En la figura 30 se representa este límite normativo con una línea roja.

No se observaron diferencias significativas entre las zonas de estudio respecto a la concentración de cadmio (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 31).

Valores de cadmio (µg/L).

Sitio	Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
U1		<0,01	<0,01	0,03	<0,05
U2		<0,01	<0,01	<0,01	<0,05
U3		<0,01	<0,01	<0,01	<0,05
U4		<0,01	<0,01	<0,01	<0,05
U5		<0,01	<0,01	0,01	0,09
U6		<0,01	<0,01	<0,01	<0,05

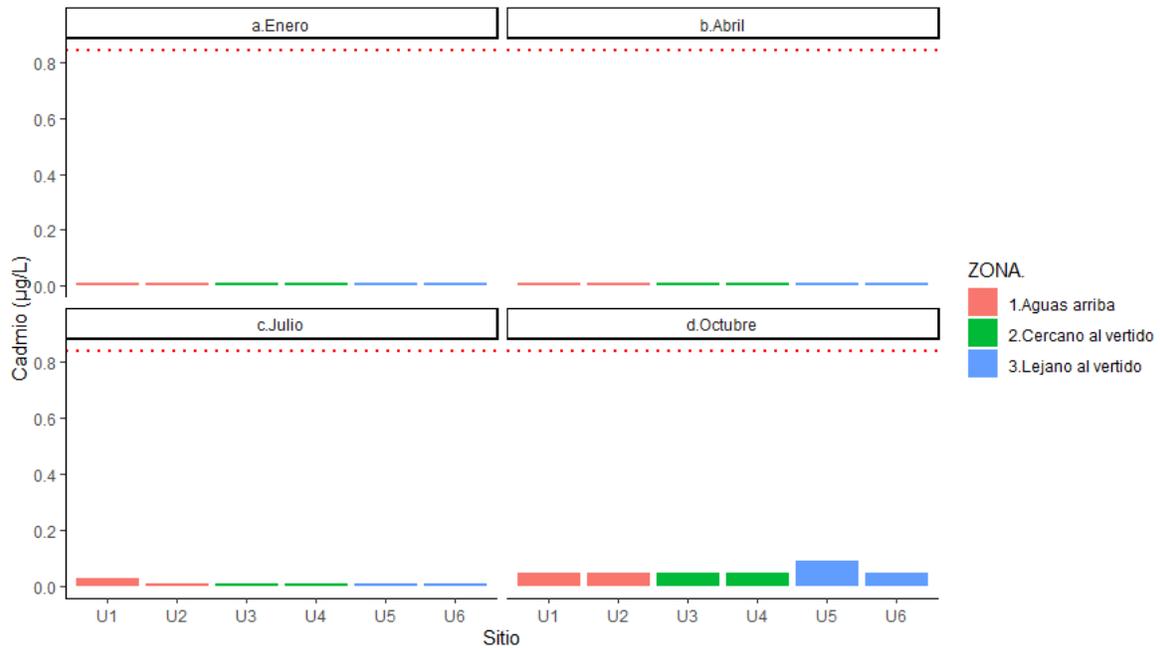


Figura 30: Variación espacial y temporal de cadmio.

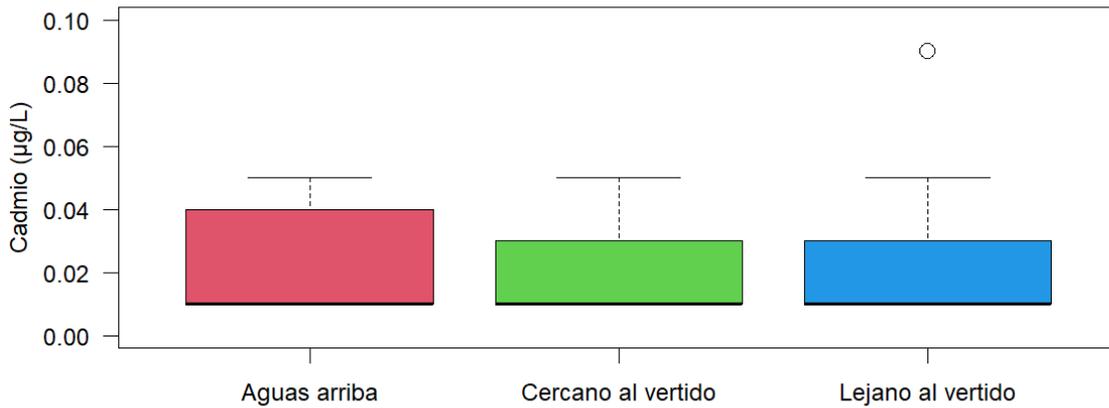


Figura 31: Variación espacial de cadmio.

Calcio

La concentración media de calcio resultó 7,5 mg/L, siendo que se detectaron las concentraciones más elevadas durante el mes de octubre. De estas, el valor máximo observado fue 11 mg/L correspondiente a los sitios U4 (Cercano al vertido) y U6 (Lejano al vertido). El valor mínimo observado durante el periodo de estudio fue 5 mg/L correspondiente al sitio U2 (Aguas arriba) en el mes de enero (Figura 32).

Se detectó una concentración de calcio significativamente más alta en la zona Lejana al vertido con respecto a la zona Aguas arriba (ANOVA, $p < 0,05$, Figura 33).

Valores de calcio (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	6,1	5,9	7,6	10
U2	5	5,9	6,9	10
U3	6,1	6,2	7,7	10
U4	6,3	6,1	8,1	11
U5	7,3	6,2	8,4	10
U6	6,3	6,4	7,6	11

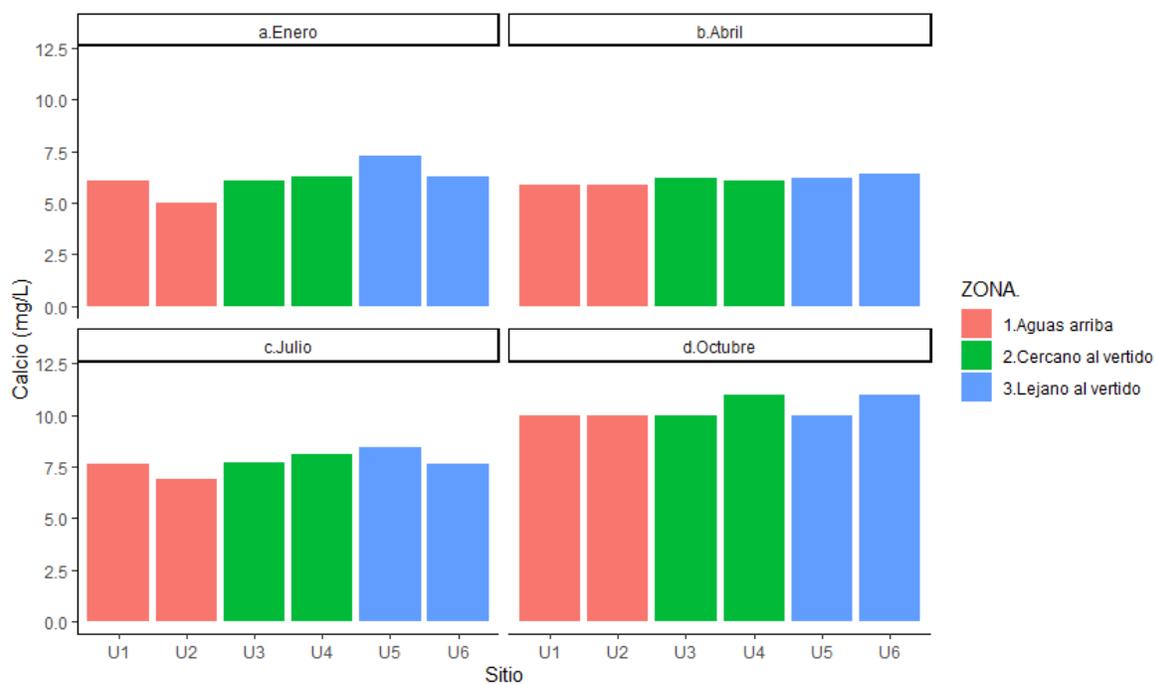


Figura 32: Variación espacial y temporal de calcio.

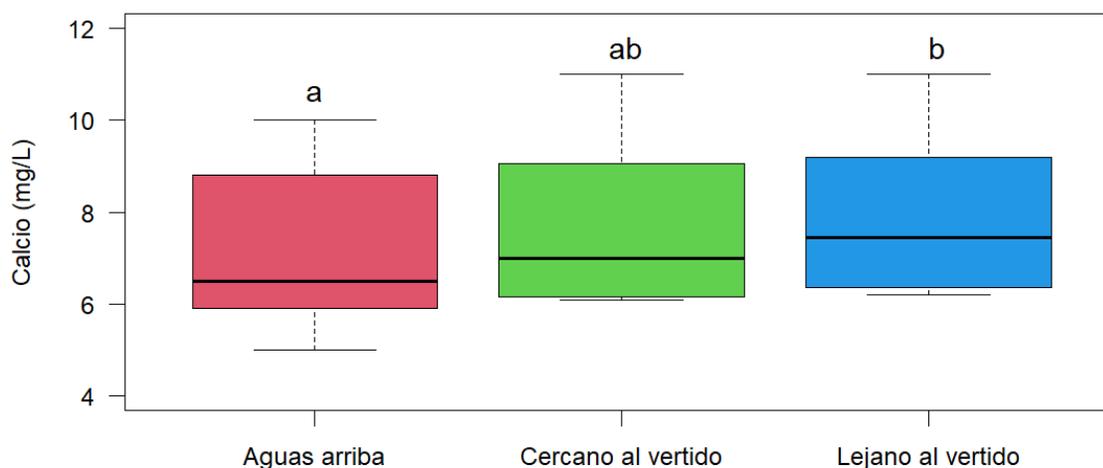


Figura 33: Variación espacial de calcio.

Carbono Orgánico Disuelto

La concentración media de carbono orgánico disuelto fue 4,4 mg/L, con una concentración máxima de 13,5 mg/L detectada en el sitio U6 (Lejano al vertido) en el mes de octubre. Por el contrario, la concentración mínima observada fue 2,2 mg/L correspondiente al sitio U1 (Aguas arriba) en el mes de abril (Figura 34).

A partir del análisis de varianza se observa que hay una concentración de carbono orgánico disuelto significativamente más alta en la zona Lejana al vertido con respecto a la zona Aguas arriba ($p < 0,05$, Figura 35).

Valores de Carbono orgánico disuelto (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	4,5	2,2	2,7	3,4
U2	4,6	2,7	2,5	4,7
U3	4,9	2,5	2,6	5,6
U4	4,5	2,6	2,8	5,6
U5	4,7	2,7	3,2	13,1
U6	5	2,7	2,9	13,5

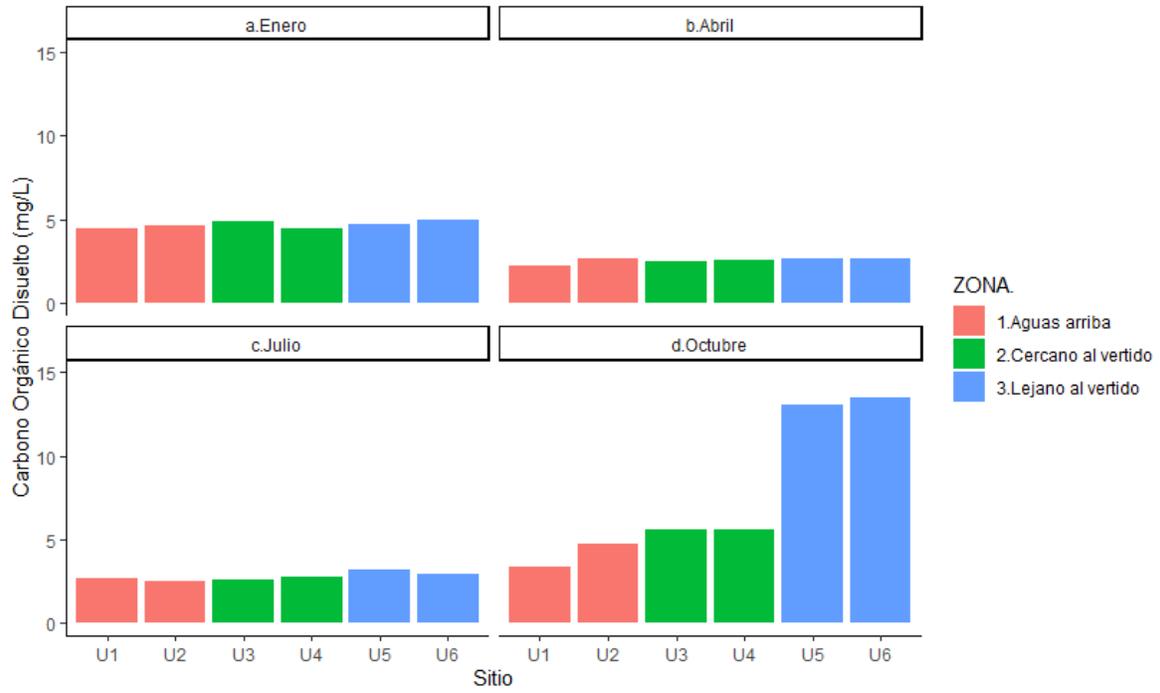


Figura 34: Variación espacial y temporal de carbono orgánico disuelto.

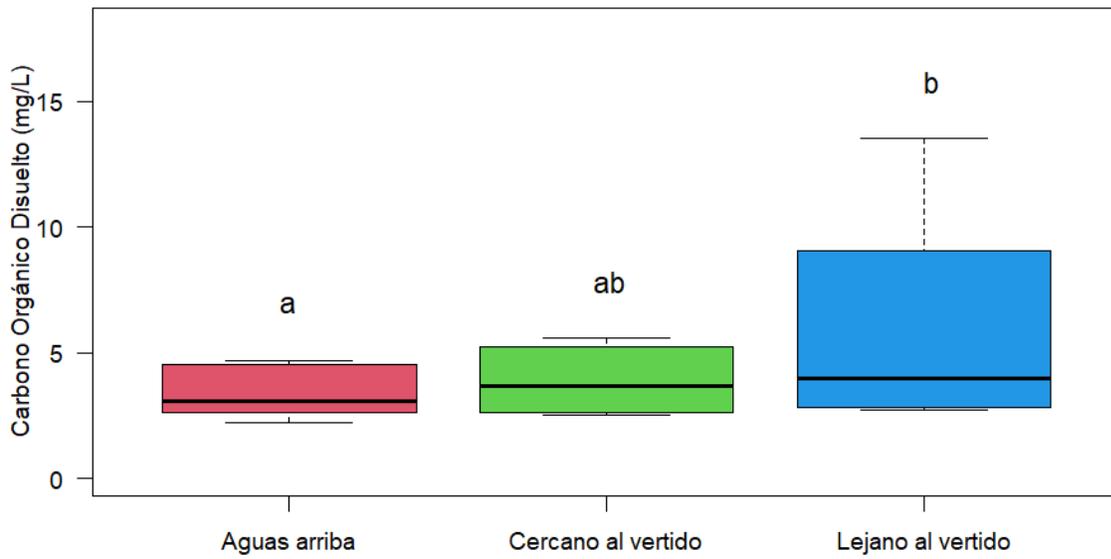


Figura 35: Variación espacial de carbono orgánico disuelto.

Carbono Orgánico Total

Durante el periodo de estudio la concentración media de carbono orgánico total fue 3,8 mg/L, siendo que la concentración máxima fue 5,4 mg/L correspondiente a los sitios U3 (Cercano al vertido) y U5 (Lejano al vertido) ambas durante el mes de enero. La concentración mínima fue 2,5 mg/L observada en julio en el sitio U6 (Lejano al vertido), Figura 36).

No se detectaron diferencias significativas entre zonas de estudio respecto a la concentración de carbono orgánico total (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 37).

Valores de carbono orgánico total (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	4,8	3	3,1	3,8
U2	4,5	3	2,8	4,2
U3	5,4	3,1	2,8	3,8
U4	5,1	2,9	3,2	4,6
U5	5,4	3,1	3,3	4,7
U6	5,1	2,6	2,5	4,7

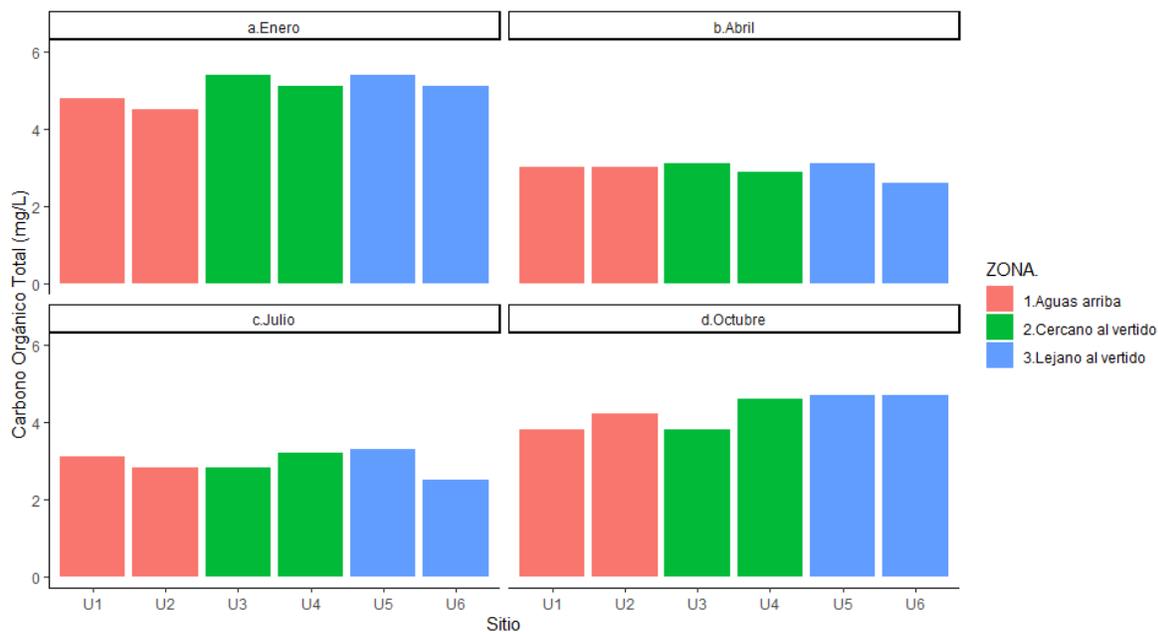


Figura 36: Variación espacial y temporal de carbono orgánico total.

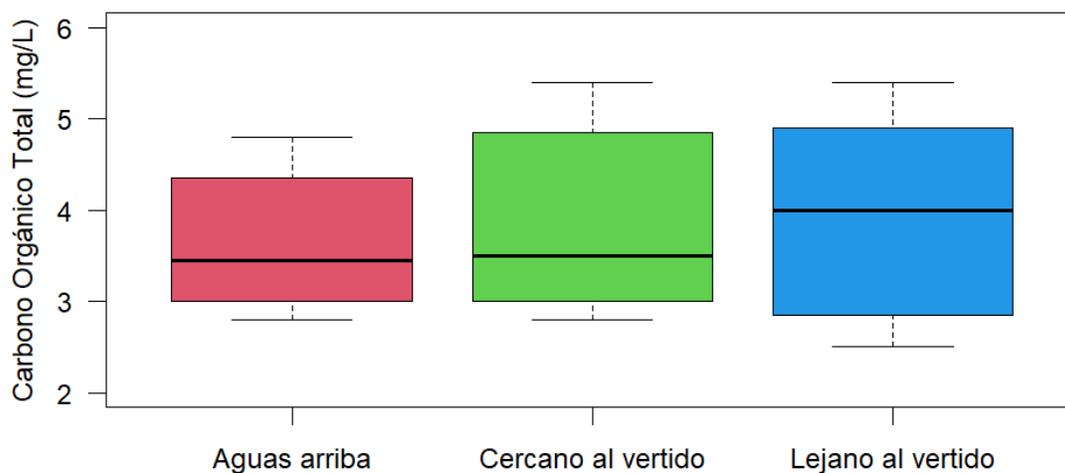


Figura 37: Variación espacial de carbono orgánico total.

Circonio

La concentración promedio de circonio fue 0,7 $\mu\text{g/L}$. El valor máximo para este parámetro - 1,3 $\mu\text{g/L}$ - se detectó en los sitios U3 (Cercano al vertido) en el mes de enero y U1 (Aguas arriba) en el mes de julio. En el mes de octubre hubo resultados por debajo del límite de detección de ese mes (0,5 $\mu\text{g/L}$) en los sitios U1 y U2 (Aguas arriba) y U3 (Cercano al vertido, Figura 38), siendo el valor mínimo registrados el 0,4 $\mu\text{g/L}$ correspondiente al sitio U1 (Aguas arriba) en el mes abril. Se hace notar que en ocasiones puntuales se ajustó el límite de detección de la técnica analítica debido a efectos de la matriz.

Con respecto al circonio no se observan diferencias significativas entre las zonas de estudio analizadas (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 39).

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

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	0,8	0,4	1,3	<0,5
U2	0,6	1	1,2	<0,5
U3	1,3	0,8	0,6	<0,5
U4	0,9	0,6	0,8	0,8
U5	0,8	0,5	0,6	0,5
U6	0,9	0,5	0,6	0,9

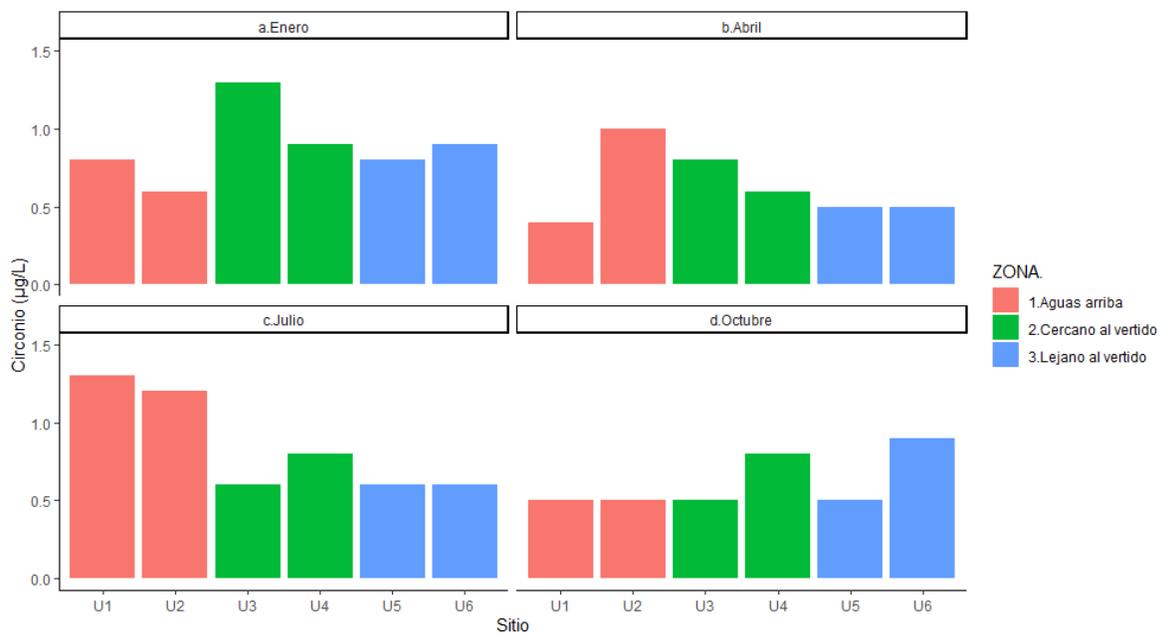


Figura 38: Variación espacial y temporal de circonio.

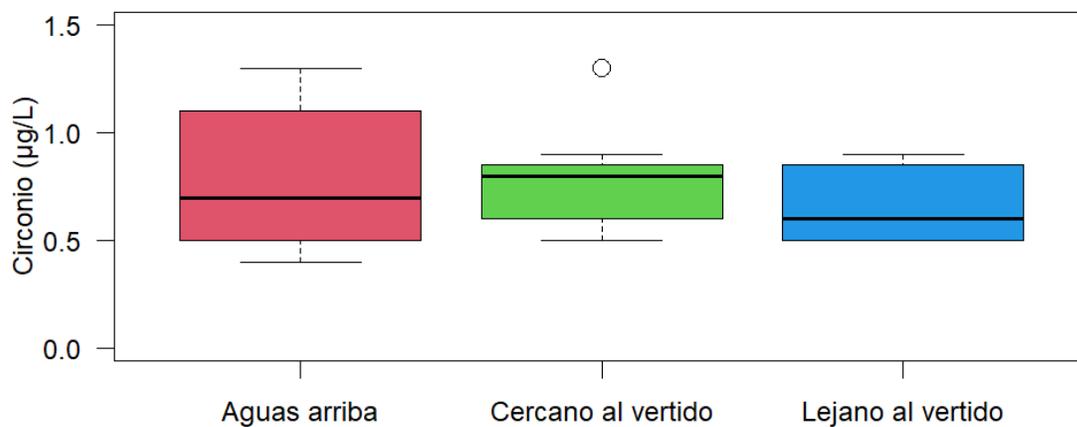


Figura 39: Variación espacial de circonio.

Cloruro

El valor máximo de cloruro resultó 2,44 mg/L y fue observado en el mes de abril en el sitio U3 (Cercano al vertido). Por el contrario, el valor mínimo de cloruro fue 1,06 mg/L y

corresponde a la muestra obtenida en el mes de enero en el sitio U5 (Lejano al vertido). Durante este periodo de estudio se obtuvo una media de cloruro de 1,84 mg/L.

Durante este periodo, no se registraron incumplimientos normativos respecto a la concentración de cloruro (250 mg/L Cl, según el Digesto sobre usos y aprovechamientos del río Uruguay, Uso 1). En la figura 40 se representa el límite normativo con una línea roja.

A partir del análisis de varianza se observa que existen valores significativamente mayores respecto a la concentración de cloruro en la zona Cercana al vertido (ANOVA, $p < 0,05$, Figura 41).

Valores de cloruro (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	1,08	2,07	1,86	2,03
U2	1,21	2,09	1,87	2,04
U3	1,11	2,44	2,22	2,15
U4	1,07	2,29	2,05	2,14
U5	1,06	2,19	1,87	2,06
U6	1,07	2,18	1,88	2,13

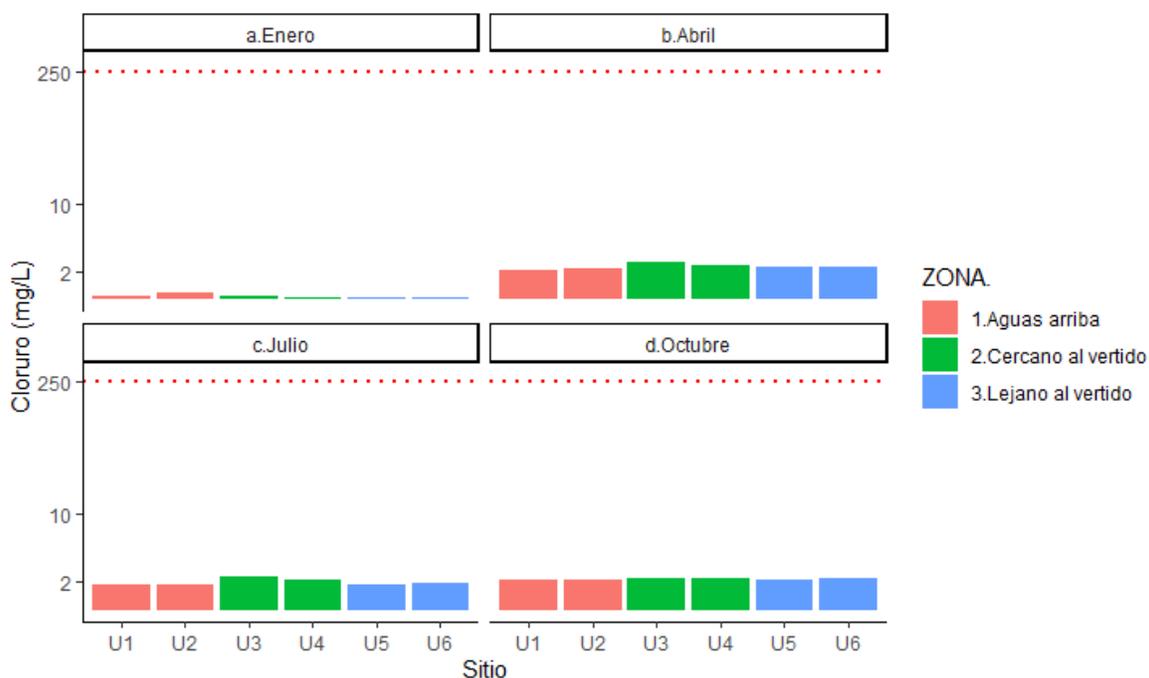


Figura 40: Variación espacial y temporal de cloruro.

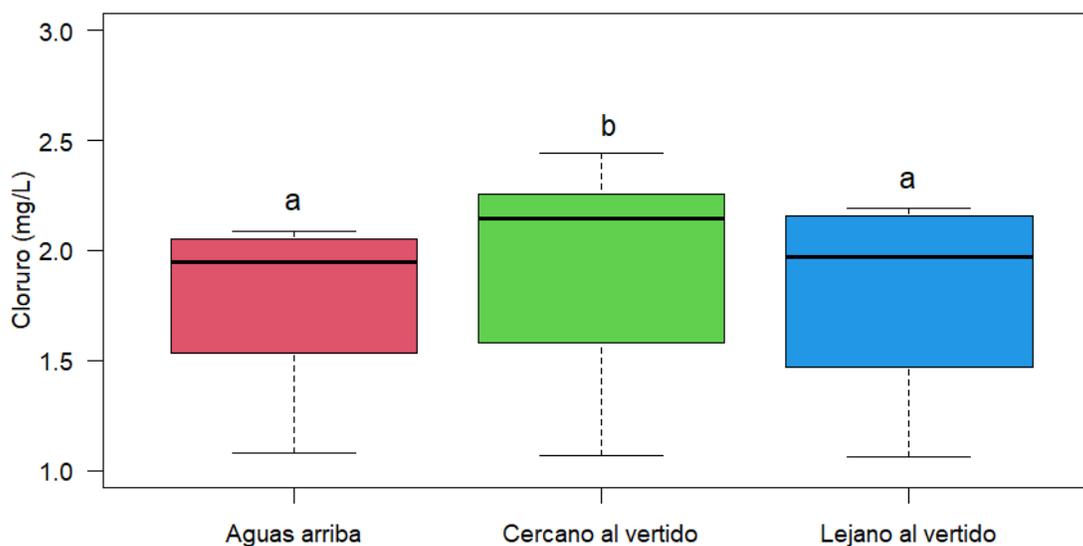


Figura 41: Variación espacial de cloruro.

Cobalto

La concentración media de cobalto fue 0,3 $\mu\text{g/L}$ siendo que el valor máximo fue 0,5 $\mu\text{g/L}$ detectado en el mes de enero en el sitio U2 (Aguas arriba). La concentración mínima resultó 0,1 $\mu\text{g/L}$ correspondiente a la determinación realizada en el mes de octubre en el sitio U1 (Aguas arriba, Figura 42).

No se observaron diferencias significativas entre los valores de concentración de cobalto registrados en las distintas zonas (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 43).

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

Sitio	Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
U1		0,41	0,28	0,46	0,1
U2		0,5	0,29	0,28	0,2
U3		0,43	0,26	0,25	0,2
U4		0,45	0,26	0,23	0,2
U5		0,37	0,35	0,23	0,3
U6		0,48	0,29	0,24	0,4

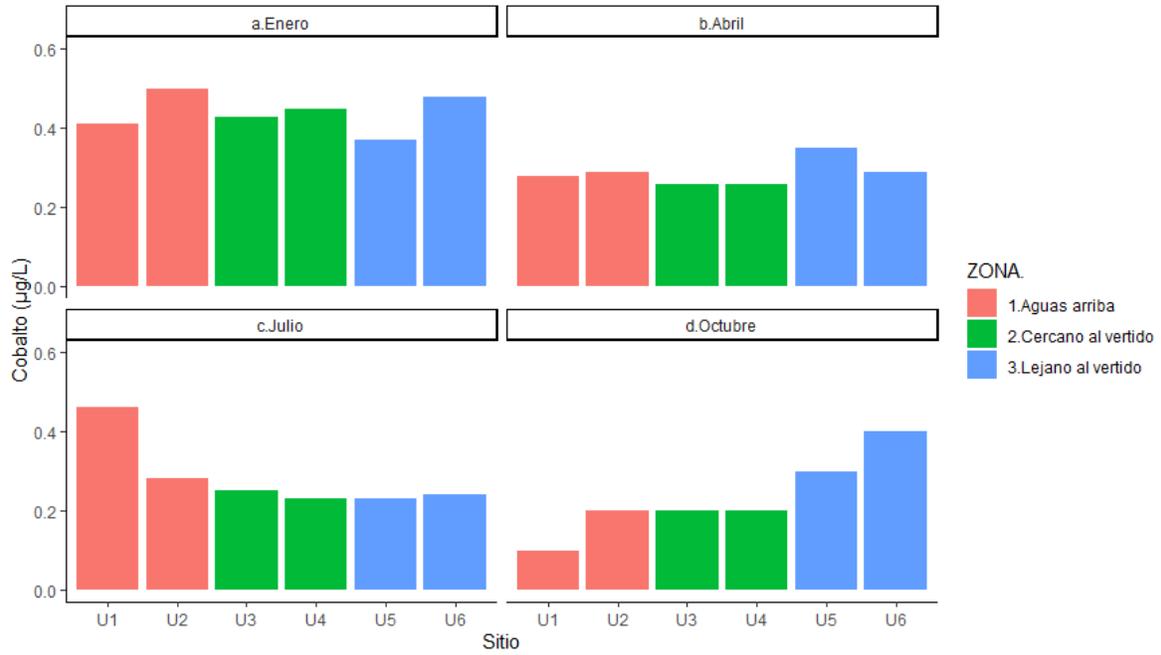


Figura 42: Variación espacial y temporal de cobalto.

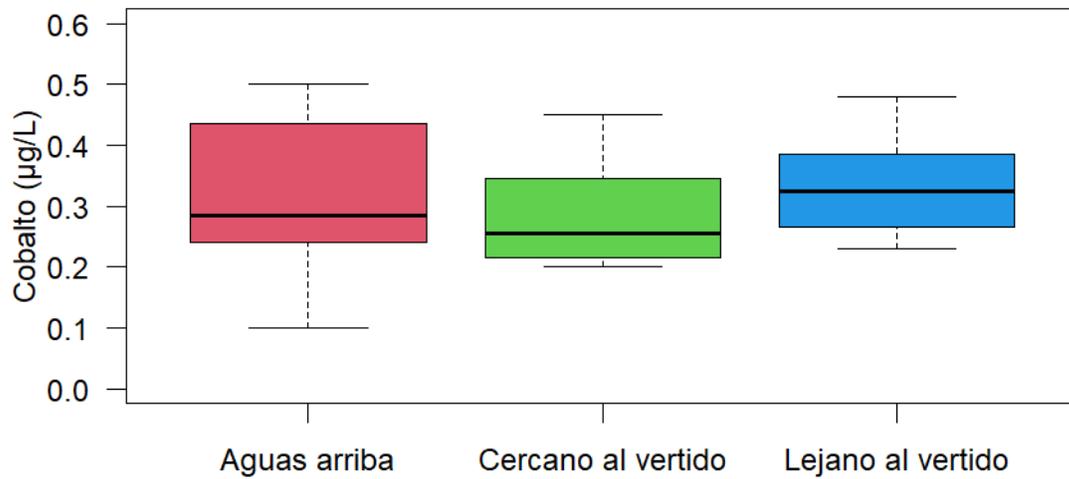


Figura 43: Variación espacial de cobalto.

Cobre

Con una media de 3 $\mu\text{g/L}$, la concentración de cobre varió entre un máximo de 3,7 $\mu\text{g/L}$ en el sitio U2 (Aguas arriba) en el mes de enero, y un mínimo de 2,4 $\mu\text{g/L}$ en el mes de julio en los sitios U4 (Cercano al vertido) y U5 (Lejano al vertido).

Para el periodo de estudio no se registraron incumplimientos normativos respecto a la concentración de cobre (10 $\mu\text{g/L}$, según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 4). En la figura 44 se representa este límite normativo con una línea roja.

Para el parámetro cobre no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 45).

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

Sitio	Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
U1		3,3	3	2,8	3
U2		3,7	3	2,7	3
U3		3,5	3	2,6	3
U4		3,4	2,9	2,4	3
U5		3,1	3,6	2,4	3
U6		3,5	3	2,6	3

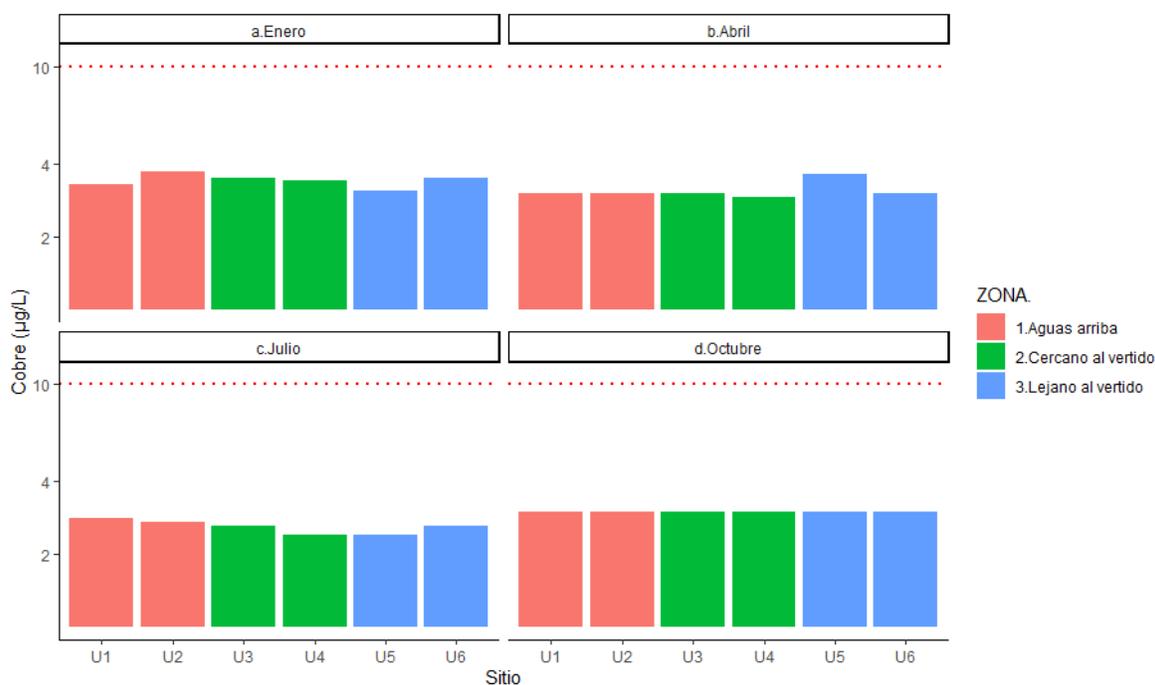


Figura 44: Variación espacial y temporal de cobre.

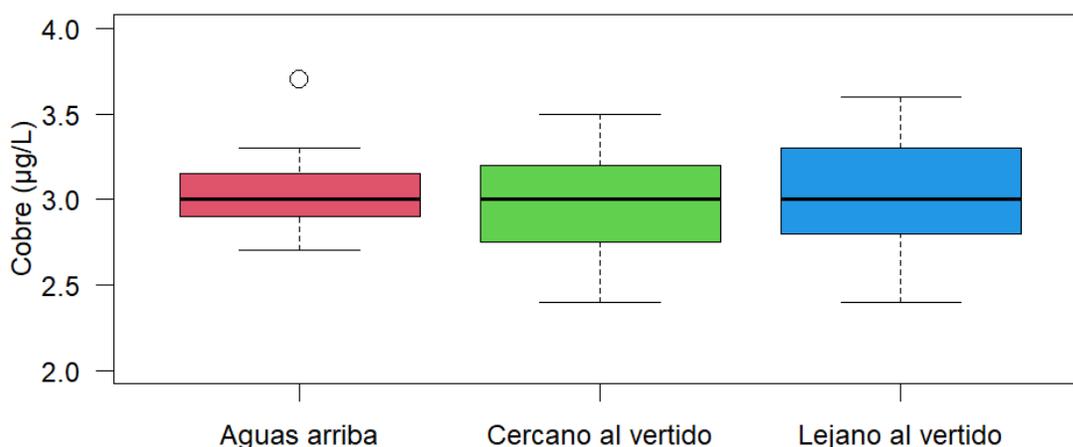


Figura 45: Variación espacial de cobre.

Cromo Total

Durante el periodo de estudio se registró una concentración media de cromo de 5 µg/L. La concentración mínima registrada fue 0,57 µg/L correspondiente al sitio U5 (Lejano al vertido) durante el mes de enero, siendo 100 µg/L la concentración máxima registrada, correspondiente al sitio U1 (Aguas arriba) durante el mes de julio.

La concentración máxima registrada implica un incumplimiento de la normativa de aplicación (10 µg/L según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 4). Este límite normativo se representa en la figura 46 con una línea roja.

Durante el periodo de estudio no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre zonas (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 47).

Valores de cromo (µg/L).

Sitio	Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
U1		6,1	0,66	100	1,2
U2		1	0,71	0,79	0,77
U3		0,81	1,1	0,83	2
U4		0,74	0,81	0,63	0,63
U5		0,57	1,5	0,69	0,75
U6		0,84	0,72	0,69	5,4

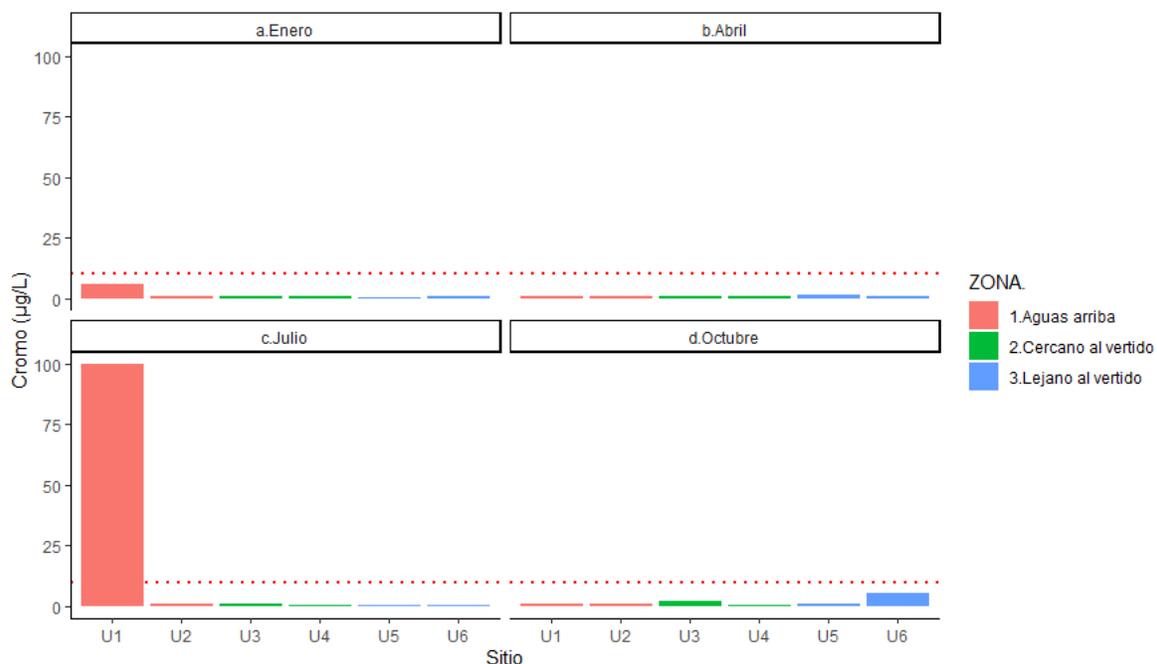


Figura 46: Variación espacial y temporal de cromo.

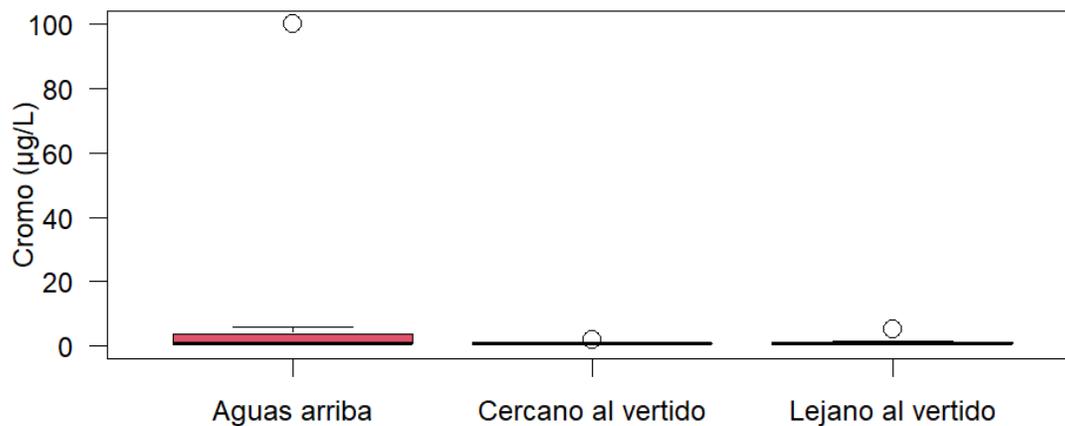


Figura 47: Variación espacial de cromo.

Demanda Bioquímica de Oxígeno - DBO₅

Se observaron múltiples registros por debajo del límite de detección de la técnica analítica (0,5 mg/L) y el valor máximo registrado de DBO₅ fue 1,4 mg/L correspondiente al sitio U1 (Aguas arriba) durante el mes de enero.

Ninguna de las observaciones reportadas superó el límite definido en la normativa de aplicación (5 mg/L según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 4). En la figura 48 se representa este límite normativo con una línea roja.

A partir del Análisis de Varianza se observa que existen valores de DBO₅ significativamente más altos en la zona Aguas arriba del vertido con respecto a la zona Lejana al vertido (ANOVA, p<0,05, Figura 49).

Valores de DBO₅ (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	1,4	<0,5	<0,5	1
U2	0,54	<0,5	0,5	1
U3	<0,5	<0,5	<0,5	0,77
U4	<0,5	<0,5	<0,5	0,66
U5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
U6	<0,5	<0,5	<0,5	0,5

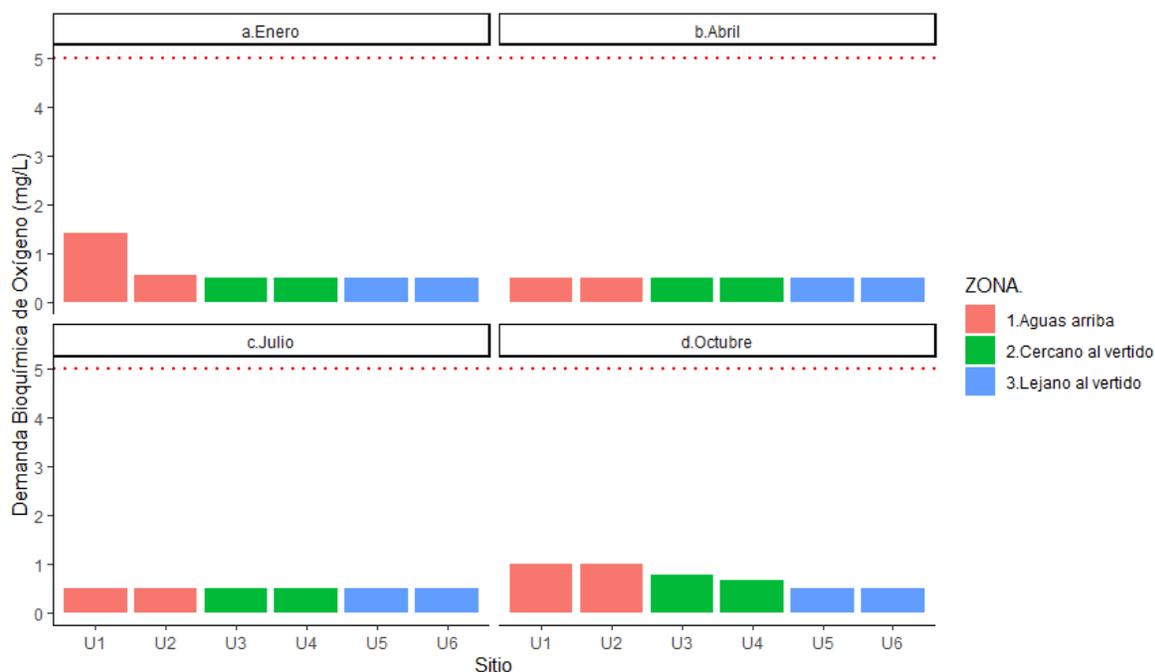


Figura 48: Variación espacial y temporal de DBO₅.

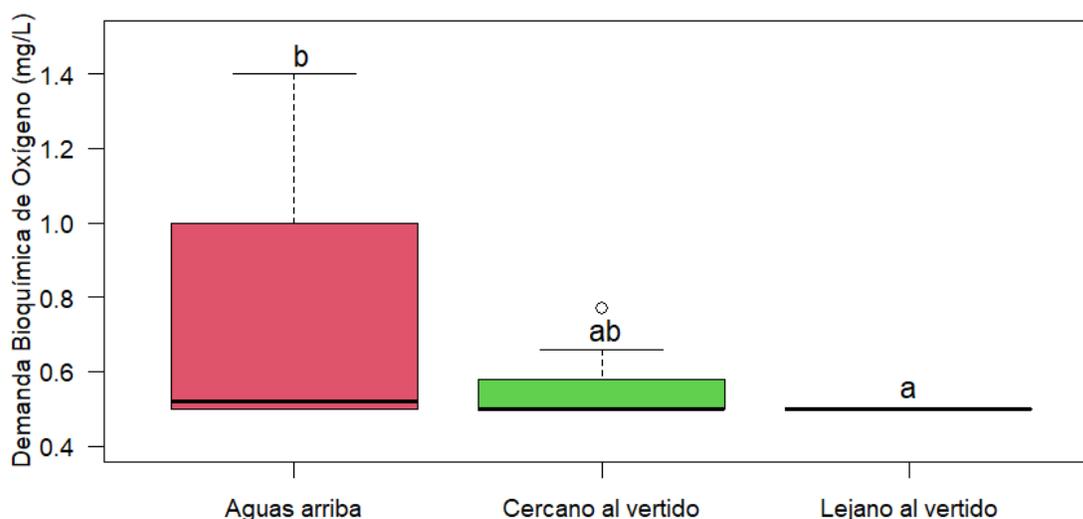


Figura 49: Variación espacial de DBO₅.

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 11,95 mg O₂/L, siendo que la concentración máxima (19,85 mg O₂/L) se registró en el sitio U3 (Cercano al vertido) en el mes de enero. Los valores mínimos resultaron para el mes de abril en los sitios U2 (Aguas arriba), U3 (Cercano al vertido) y U5 (Lejano al vertido, Figura 50), donde uno de los laboratorios reportó valores por debajo de su límite de detección.

Mediante el ANOVA no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio para el parámetro DQO ($p > 0,05$, Figura 51).

Valores de DQO (mg/L).

Sitio	Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
U1		18,15	7,5	10,06	14,54
U2		17,4	<6,8	9,39	15,62
U3		19,85	<6,3	10,65	15,16
U4		21	7,26	9,29	14,32
U5		16,85	<6,3	8,31	14,06

U6	17,9	9,98	9,98	10,76
-----------	------	------	------	-------

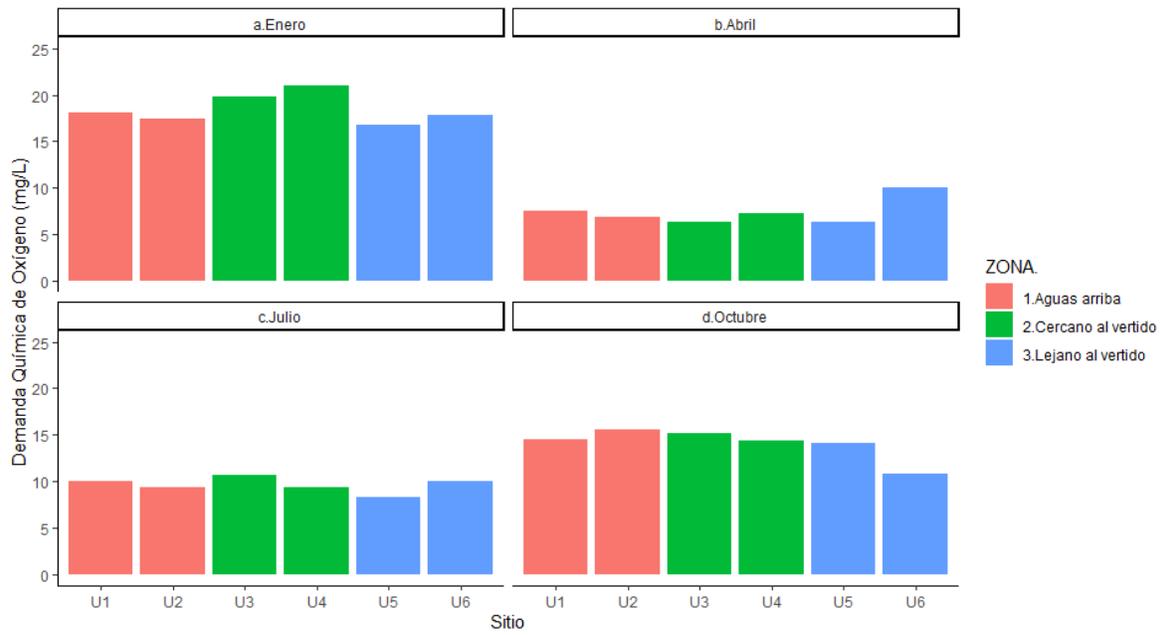


Figura 50: Variación espacial y temporal de DQO.

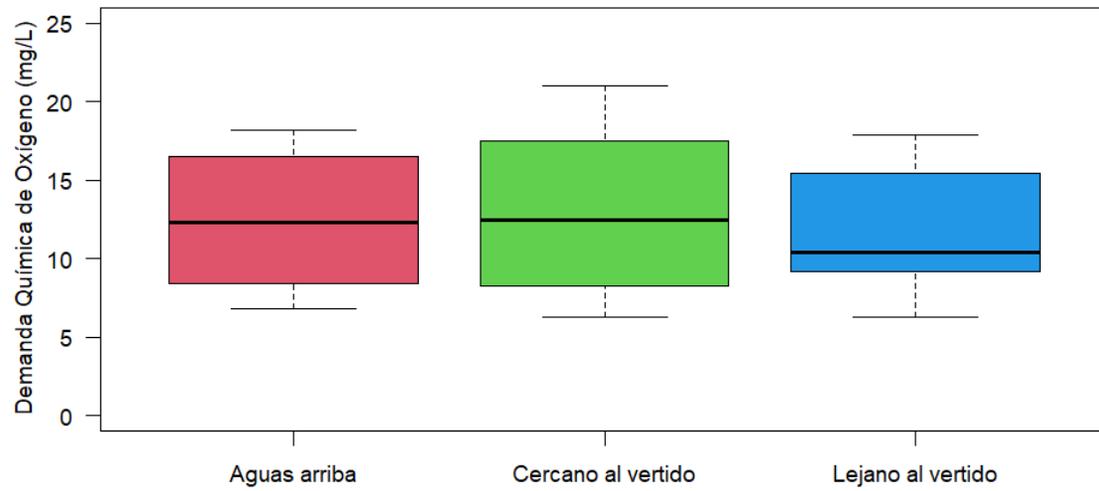


Figura 51: Variación espacial de DQO.

Dureza Total

Con respecto a la dureza total, durante el periodo de estudio se registró una concentración media de 27,5 mg CaCO₃/L. El valor máximo registrado fue 37 mg CaCO₃/L y corresponde al sitio U6 (Lejano al vertido) durante el mes de octubre. Por el contrario, la concentración mínima registrada fue 19 mg CaCO₃/L y corresponde al sitio U2 (Aguas arriba) en el mes de enero.

No se registraron incumplimientos normativos respecto a este parámetro durante el periodo reportado (200 mg/L de CaCO₃, Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 1). En la figura 52 se representa este límite normativo con una línea roja.

Se registraron concentraciones significativamente más altas en la zona Lejana al vertido con respecto a la zona Aguas arriba (ANOVA, p<0,05, Figura 53).

Valores de dureza total (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	22	23	28	36
U2	19	23	26	35
U3	22	24	29	35
U4	22	23	30	36
U5	25	24	31	36
U6	22	25	28	37

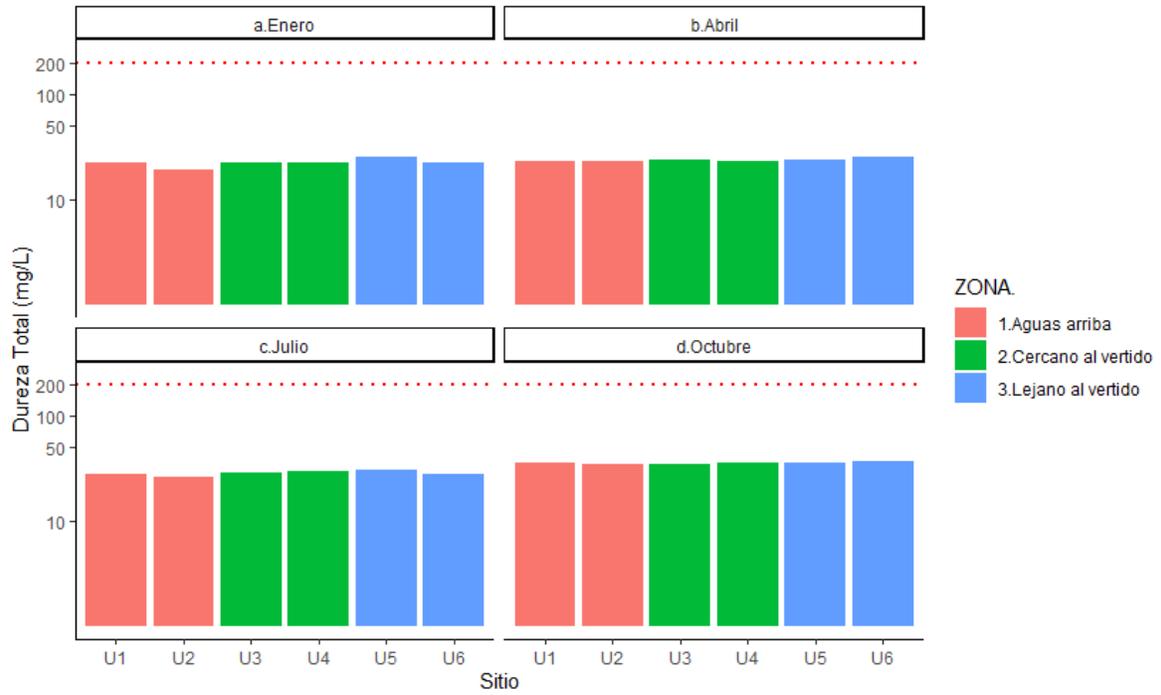


Figura 52: Variación espacial y temporal de dureza total.

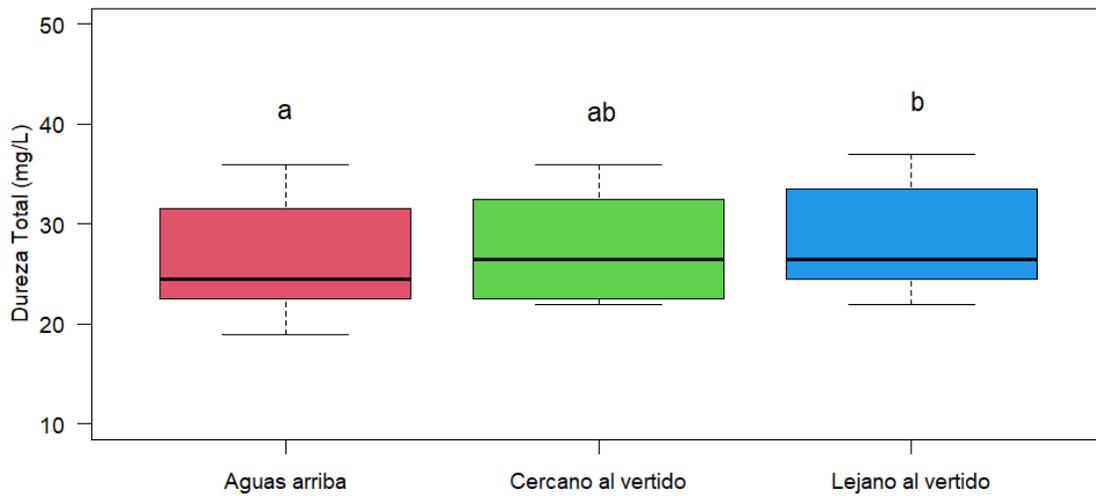


Figura 53: Variación espacial de dureza total.

Estño

Se reportan concentraciones de estaño por encima del límite de detección en cinco ocasiones, siendo la más elevada los 26 $\mu\text{g/L}$ registrados en el sitio U1 (Aguas arriba) en el mes de abril. Los valores mínimos corresponden a resultados por debajo del límite de detección en todos los sitios (Figura 54). Se hace notar que en ocasiones puntuales se ajustó el límite de detección de la técnica analítica debido a efectos de la matriz.

No se observan diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio respecto a la concentración de estaño (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 55).

Valores de estaño ($\mu\text{g/L}$).

Sitio	Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
U1		<0,1	2,6	<0,1	<0,5
U2		0,2	0,2	<0,1	<0,5
U3		<0,1	<0,1	0,2	<0,5
U4		<0,1	<0,1	0,1	<0,5
U5		<0,1	<0,1	<0,1	<0,5
U6		<0,1	0,2	<0,1	<0,5

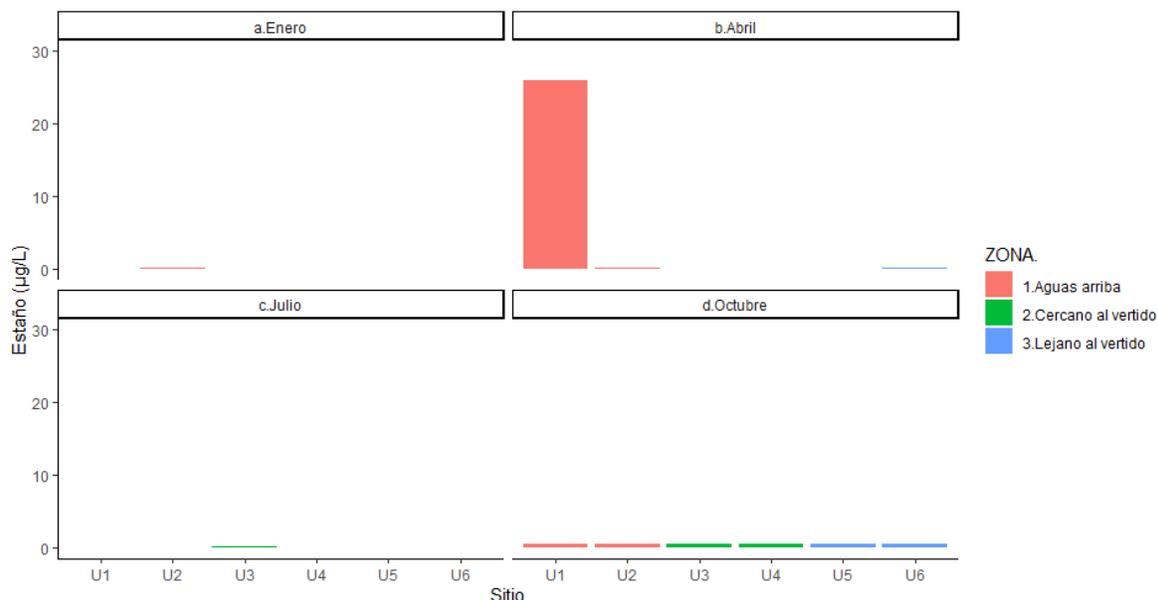


Figura 54: Variación espacial y temporal de estaño.

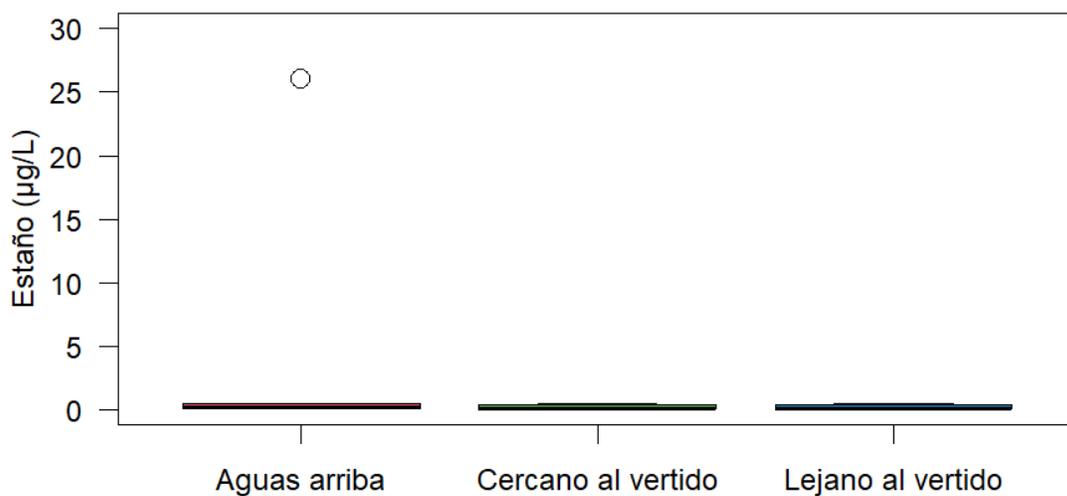


Figura 55: Variación espacial de estaño.

Estroncio

Las concentraciones de estroncio variaron entre un máximo de 0,056 mg/L en el sitio U6 (Lejano al vertido) en el mes de octubre hasta un mínimo de 0,032 mg/L en el sitio U1 (Aguas arriba) en el mes de enero. La concentración media de estroncio fue 0,04 mg/L (Figura 56).

Se observaron concentraciones significativamente más altas de estroncio en la zona Lejana al vertido con respecto a la zona Aguas arriba (ANOVA, $p < 0,05$, Figura 57).

Valores de estroncio (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	0,034	0,037	0,04	0,053
U2	0,032	0,037	0,038	0,049
U3	0,036	0,039	0,041	0,053
U4	0,036	0,036	0,04	0,052
U5	0,037	0,038	0,041	0,054
U6	0,037	0,035	0,04	0,056

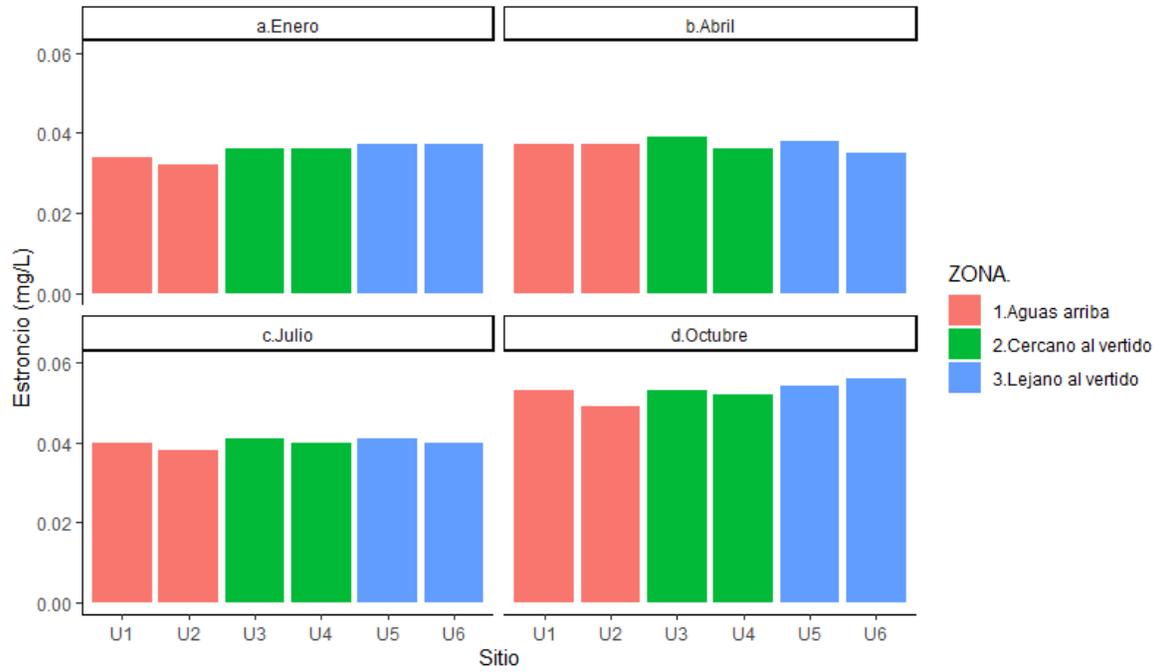


Figura 56: Variación espacial y temporal de estroncio.

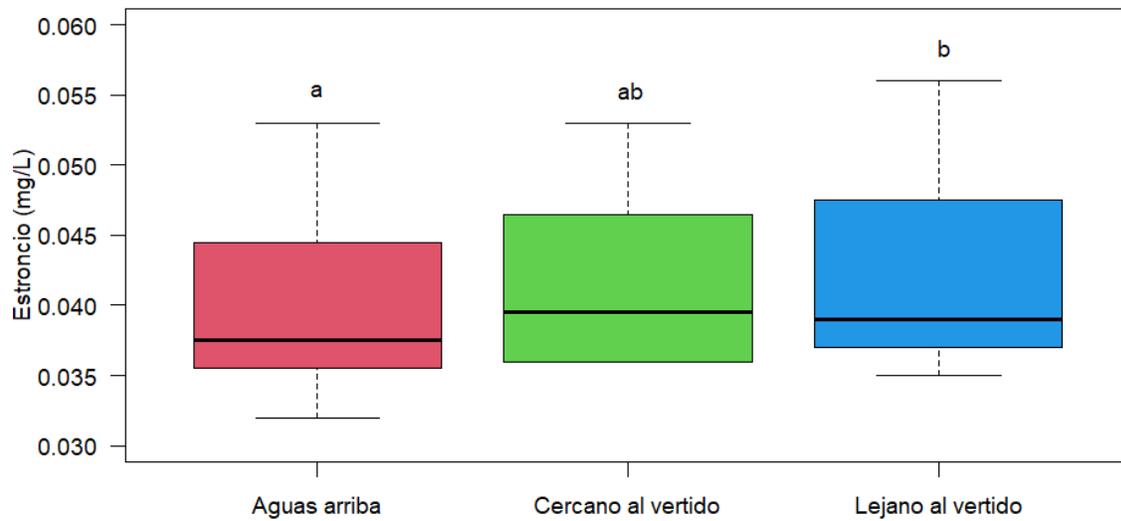


Figura 57: Variación espacial de estroncio.

Fluoruro

El mes de abril presentó los valores más elevados de concentración de fluoruro, donde el valor máximo resultó 0,08 mg/L en el sitio U6 (Lejano al vertido). El valor mínimo fue 0,02 mg/L y se observó en múltiples sitios, mayoritariamente durante el mes de enero. La media registrada para este parámetro fue 0,03 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). En la figura 58 se representa este límite normativo mediante una línea roja.

Si bien se observó un incremento general en las concentraciones de fluoruro durante el mes de abril, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio durante el periodo reportado (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 59).

Valores de fluoruro (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	0,02	0,07	0,02	0,03
U2	0,02	0,07	0,03	0,03
U3	0,02	0,07	0,03	0,03
U4	0,02	0,07	0,03	0,03
U5	0,03	0,07	0,03	0,03
U6	0,02	0,08	0,03	0,03

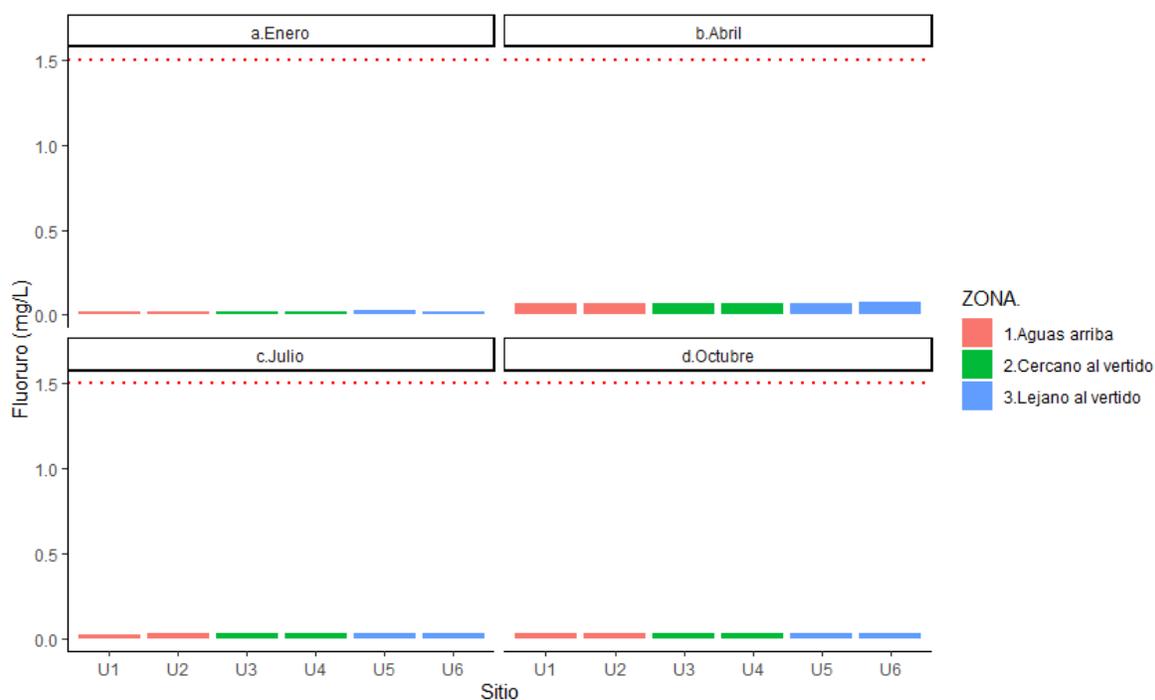


Figura 58: Variación espacial y temporal de fluoruro.

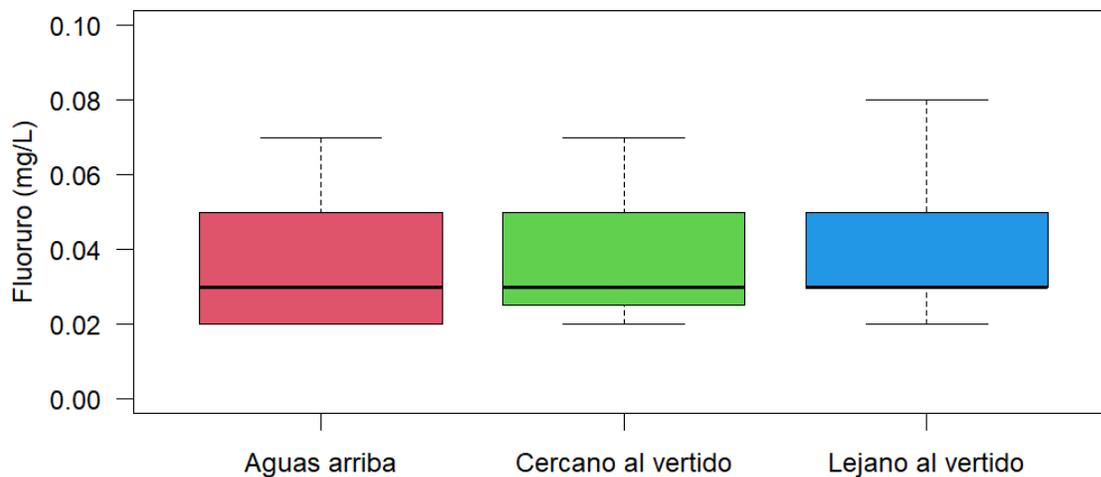


Figura 59: Variación espacial de fluoruro.

Fósforo Total

La concentración media de fósforo observada fue 0,059 mg/L, siendo que la mayor concentración registrada fue 0,082 mg/L y corresponde al sitio U4 (Cercano al vertido) en el mes de octubre. La concentración mínima registrada fue 0,036 mg/L y corresponde a mediciones en el mes de julio en los sitios U1 (Aguas arriba), U3 y U4 (Cercano al vertido), U3 y U4 (Cercano al vertido), Figura 60).

No se observan diferencias estadísticamente significativas respecto a la concentración de fósforo entre las zonas de estudio (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 61).

Valores de fósforo (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	0,067	0,047	0,036	0,079
U2	0,063	0,048	0,041	0,08
U3	0,071	0,05	0,036	0,08
U4	0,077	0,047	0,036	0,082
U5	0,066	0,049	0,04	0,081
U6	0,067	0,048	0,046	0,079

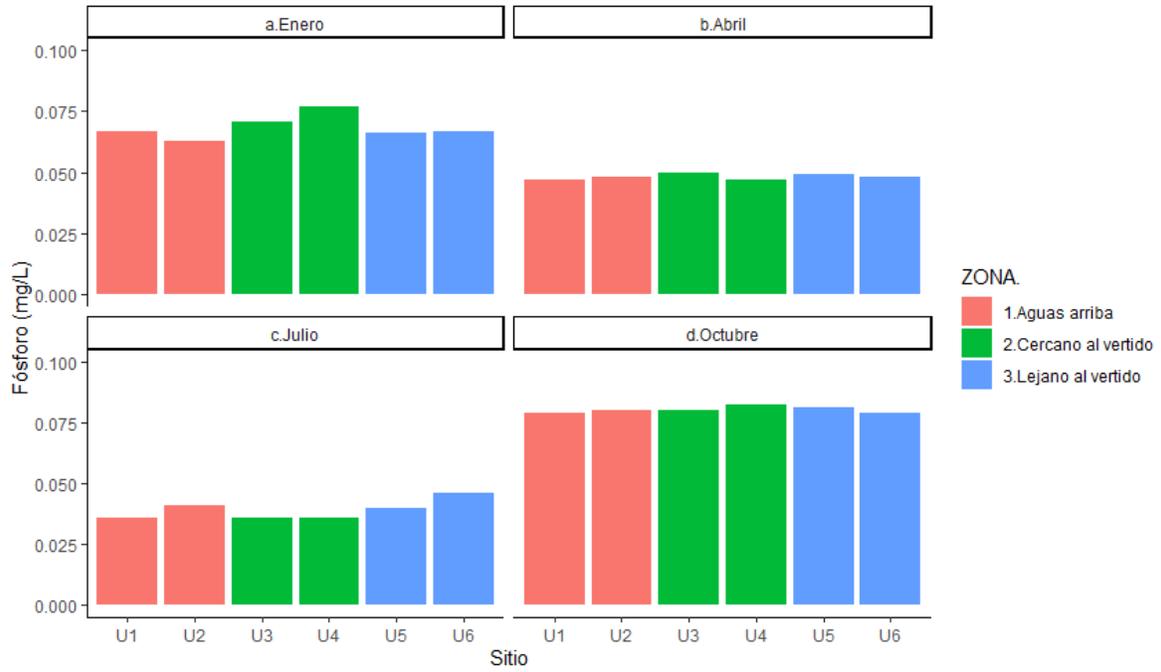


Figura 60: Variación espacial y temporal de fósforo.

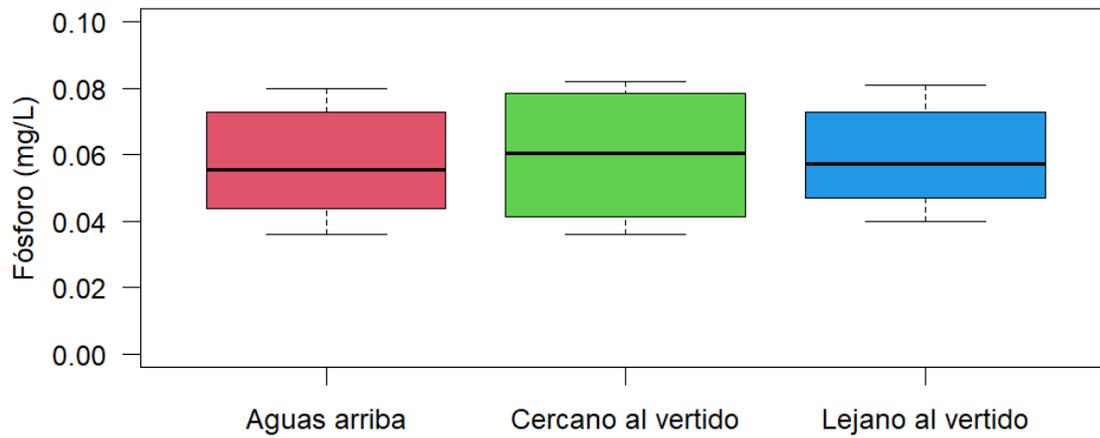


Figura 61: Variación espacial de fósforo.

Hierro

El hierro presentó una concentración media de 0,94 mg/L, donde el valor máximo registrado fue 2 mg/L en el sitio U5 (Lejano al vertido) en abril. En el mes de octubre se registraron los valores más bajos en cuanto a la concentración de hierro, siendo el mínimo 0,28 mg/L correspondiente al sitio U1 (Agua arriba).

Se registran múltiples valores por encima del estándar establecido en la normativa de aplicación (1 mg/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. En la figura 62 se representa este límite normativo con una línea roja.

Para este parámetro no se detectaron diferencias estadísticamente significativas respecto a las zonas de estudio (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 63).

Valores de hierro (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	0,95	0,97	0,99	0,28
U2	1,4	0,98	1,1	0,33
U3	1,3	0,96	0,94	0,33
U4	1,2	0,95	1	0,36
U5	0,98	2	0,99	0,36
U6	1,3	1,1	0,95	1

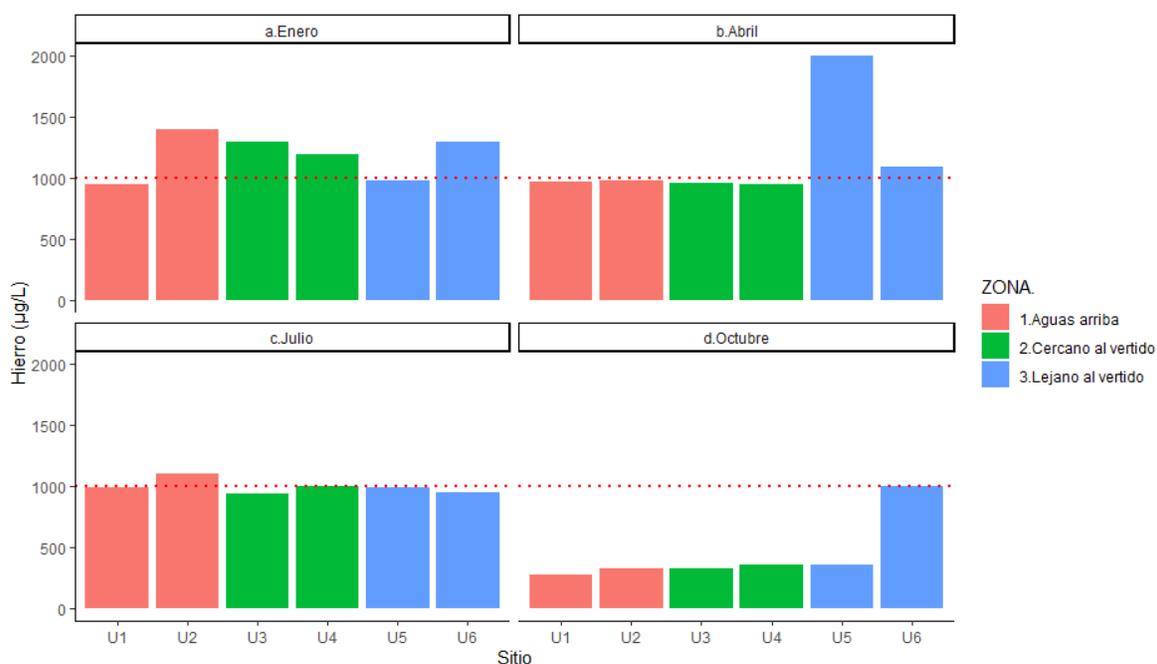


Figura 62: Variación espacial y temporal de hierro.

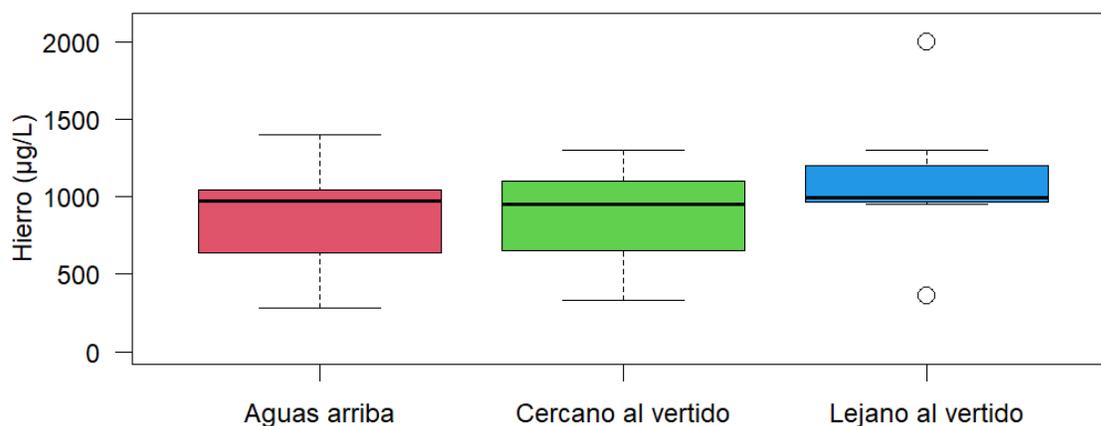


Figura 63: Variación espacial de hierro.

Litio

El valor máximo detectado de litio fue 1,3 µg/L y se registró en los sitios U6 (Lejano al vertido) en el mes de enero y en U2 (Aguas arriba) en el mes de julio, aunque se hace notar que en ocasiones puntuales se ajustó el límite de detección de la técnica analítica debido a efectos de la matriz. El valor mínimo detectado fue de 0,8 µg/L correspondiente al sitio U1 (Aguas arriba) en el mes de abril (Figura 64).

A partir del análisis de varianza no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio ($p > 0,005$, Figura 65).

Valores de litio (µg/L).

Sitio	Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
U1		1	0,8	1,1	<2
U2		1,2	0,9	1,3	<2
U3		1,2	0,9	1,2	<2
U4		1,2	0,9	0,9	<2
U5		1,1	1	1,1	<2
U6		1,3	0,9	1,2	<2

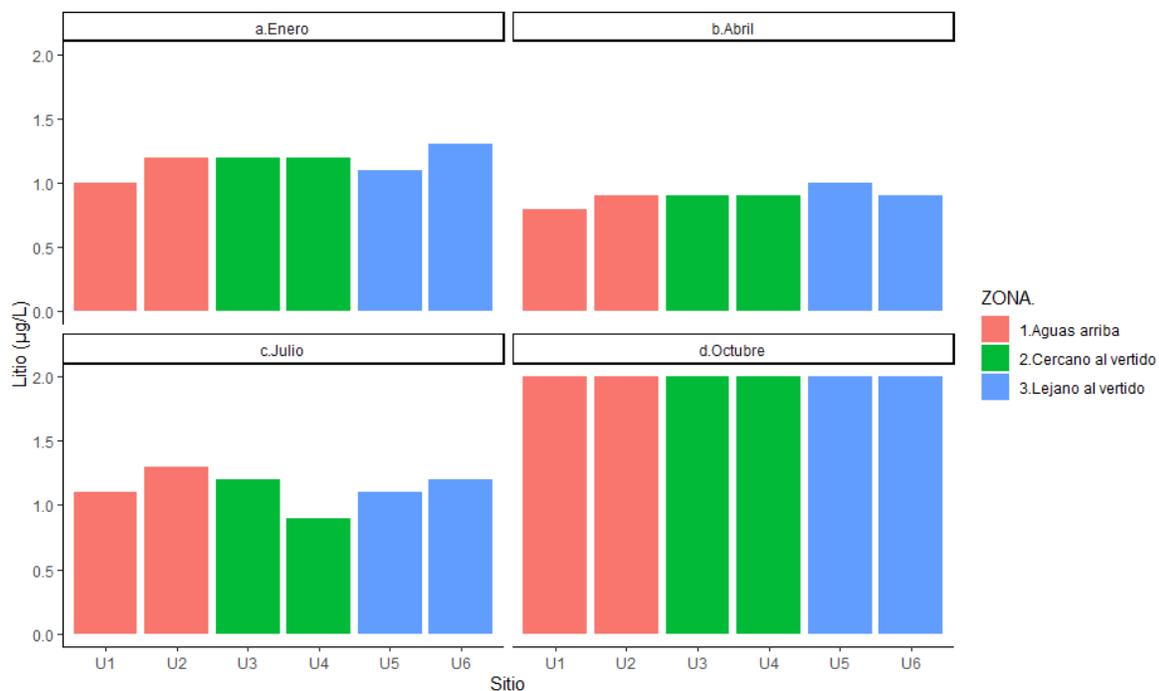


Figura 64: Variación espacial y temporal de litio.

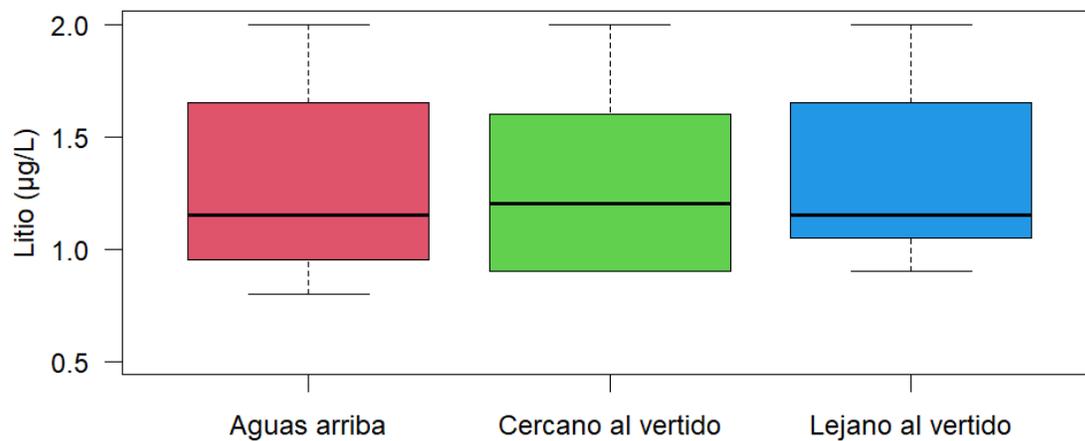


Figura 65: Variación espacial de litio.

Magnesio

Durante el periodo de estudio, las concentraciones de magnesio variaron entre un máximo de 2,6 mg/L (en el mes de octubre en el sitio U6 -Lejano al vertido-) y un mínimo de 1,5 mg/L (en el mes de enero en el sitio U2 -Aguas arriba-). Si bien la concentración media de magnesio fue 2,08 mg/L, se observa una variabilidad temporal donde en enero se dieron las concentraciones más bajas de magnesio mientras que en octubre las concentraciones resultaron las más elevadas (Figura 66).

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio con respecto a las concentraciones de magnesio (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 67).

Valores de magnesio (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	1,6	2	2,3	2,5
U2	1,5	1,9	2,2	2,4
U3	1,6	2	2,3	2,4
U4	1,6	2	2,4	2,4
U5	1,6	2	2,4	2,4
U6	1,6	2,1	2,2	2,6

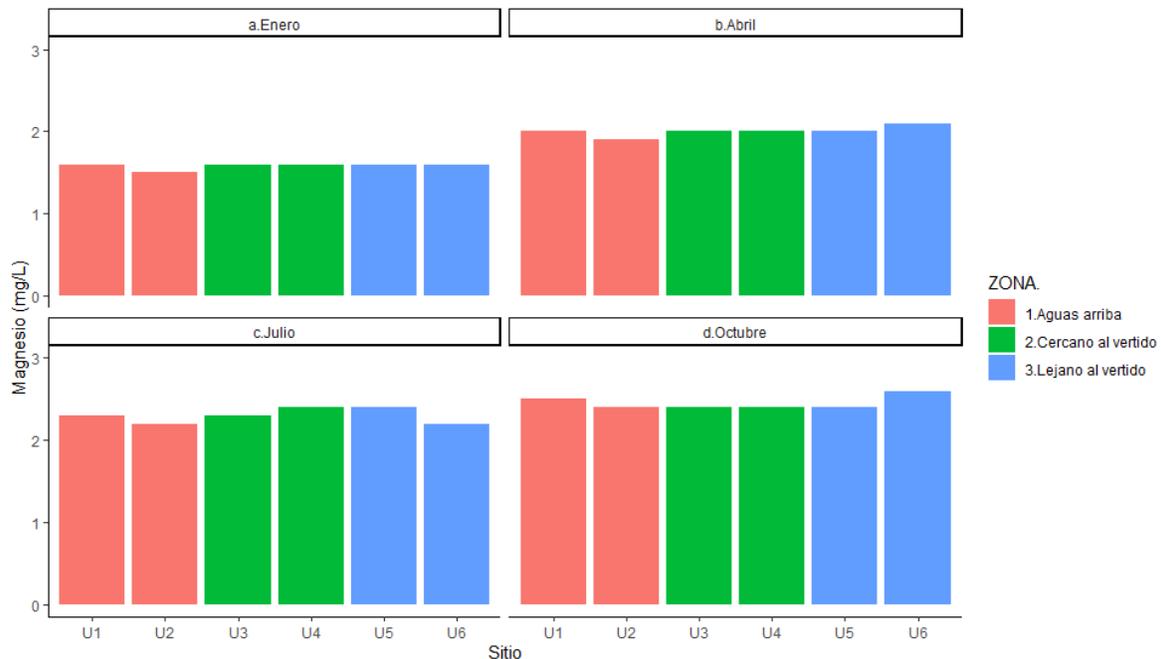


Figura 66: Variación espacial y temporal de magnesio.

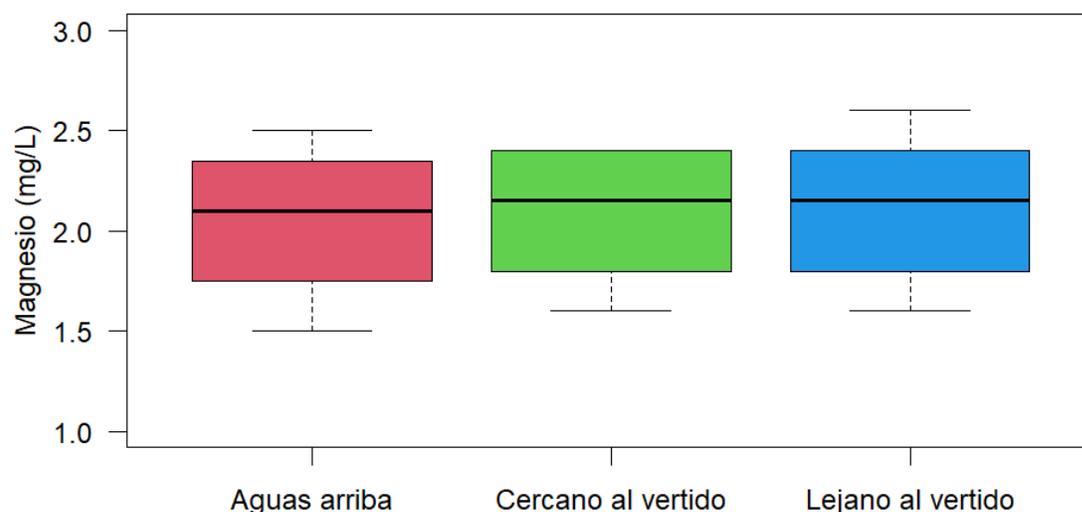


Figura 67: Variación espacial de magnesio.

Manganeso

El parámetro manganeso tuvo una concentración media 0,01 mg/L. La concentración máxima observada fue 0,036 mg/L correspondiente al sitio U6 (Lejano al vertido) en el mes enero; mientras que la concentración mínima fue 0,008 mg/L correspondiente al sitio U4 (Cercano al vertido) en el mes de julio.

Para el periodo informado, no se registraron valores por encima del límite normativo (0,1 mg/L, según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 1). En la figura 68 se representa este límite normativo con una línea roja.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio con respecto a la concentración de manganeso (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 69).

Valores de manganeso (mg/L).

	Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio					
U1		0,027	0,013	0,01	0,01
U2		0,03	0,012	0,011	0,01
U3		0,025	0,011	0,01	0,01
U4		0,032	0,011	0,008	0,01
U5		0,031	0,026	0,009	0,01

U6	0,036	0,014	0,01	0,01
-----------	-------	-------	------	------

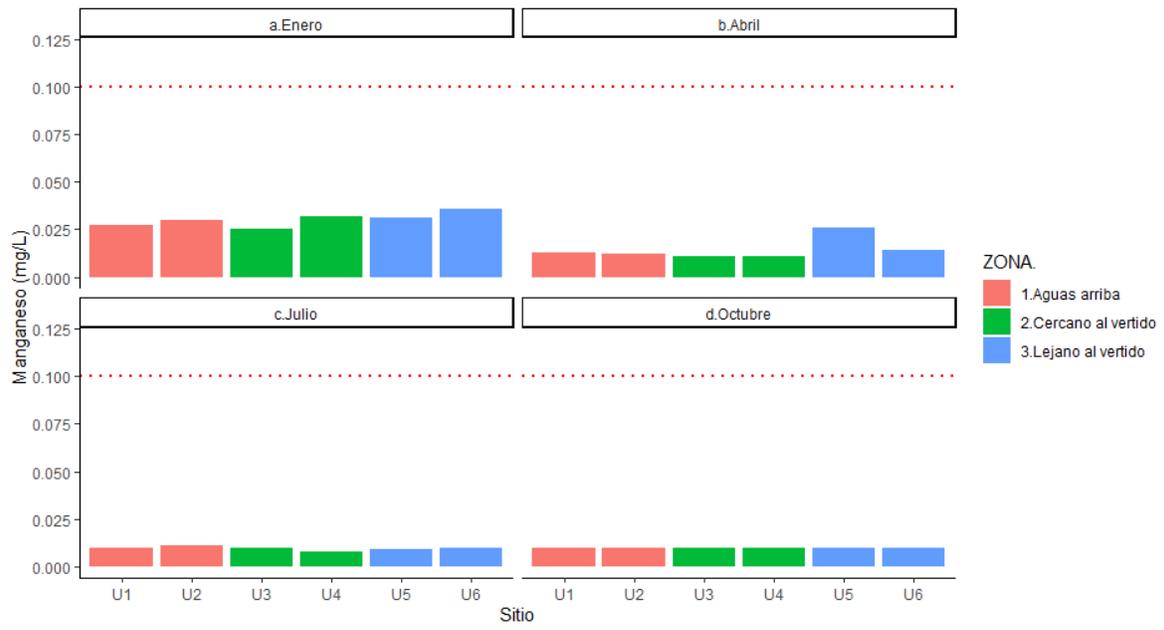


Figura 68: Variación espacial y temporal de manganeso.

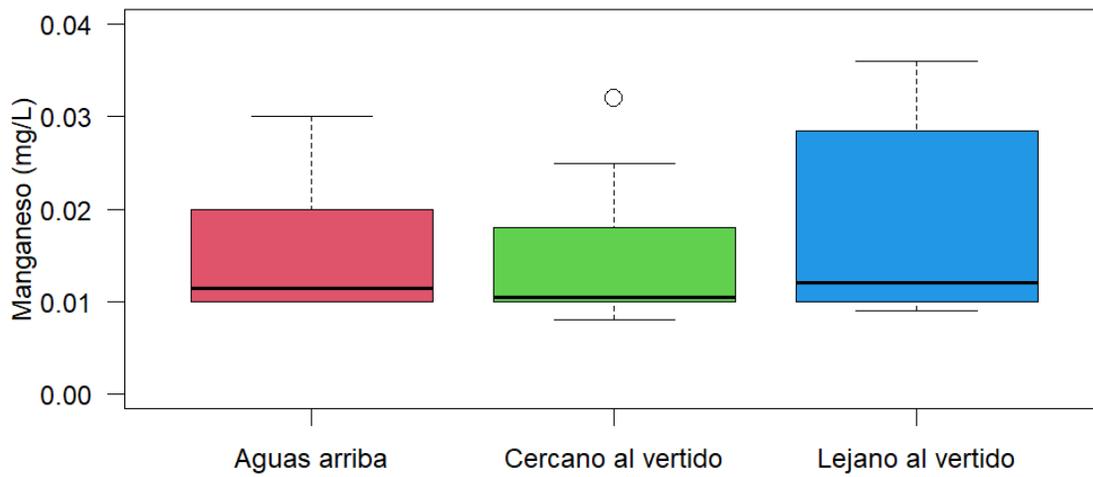


Figura 69: Variación espacial de manganeso.

Molibdeno

Las concentraciones de molibdeno variaron entre un máximo de 97 µg/L en el sitio U1 (Aguas arriba) en julio hasta un mínimo por debajo del límite de detección en octubre para los sitios U2 (Aguas arriba) y U4 (Cercano al vertido). El valor mínimo observado para este parámetro fue 0,06 µg/L correspondiente al mes de julio en el sitio U6 (Lejano al vertido). La concentración media para este parámetro resultó 4 µg/L (Figura 70). Se hace notar que en ocasiones puntuales se ajustó el límite de detección de la técnica analítica debido a efectos de la matriz.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre zonas de estudio respecto a la concentración de molibdeno (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 71).

Valores de molibdeno (µg/L).

Sitio	Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
U1		5,2	0,08	9,7	0,2
U2		0,23	0,1	0,15	<0,1
U3		0,09	0,67	0,07	0,1
U4		0,07	0,2	0,07	<0,1
U5		0,14	0,12	0,08	0,1
U6		0,1	0,08	0,06	0,2

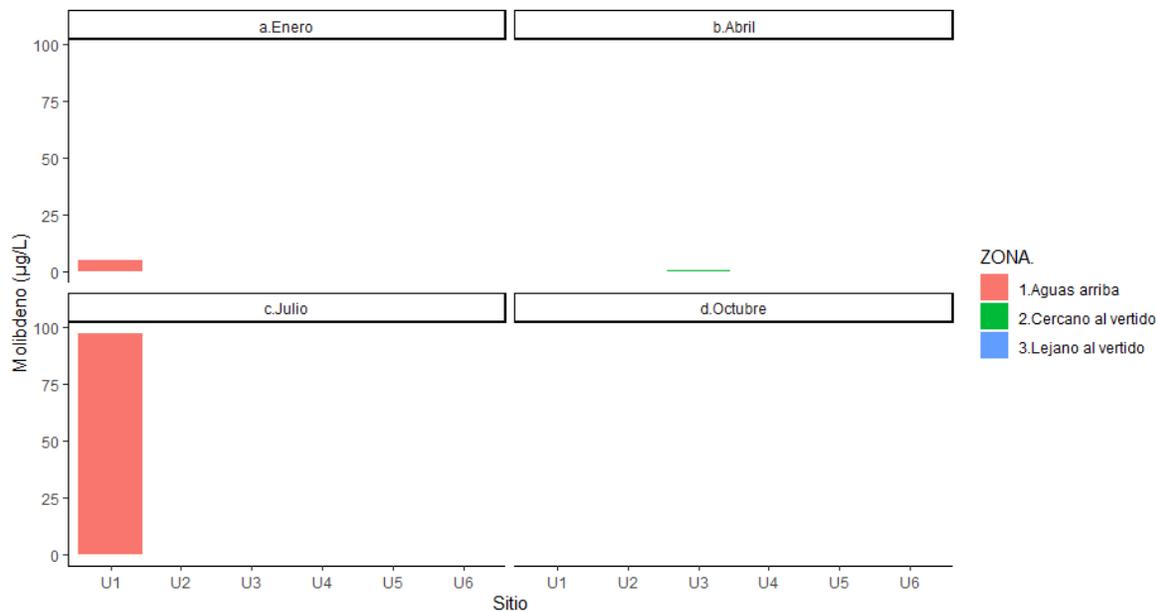


Figura 70: Variación espacial y temporal de molibdeno.

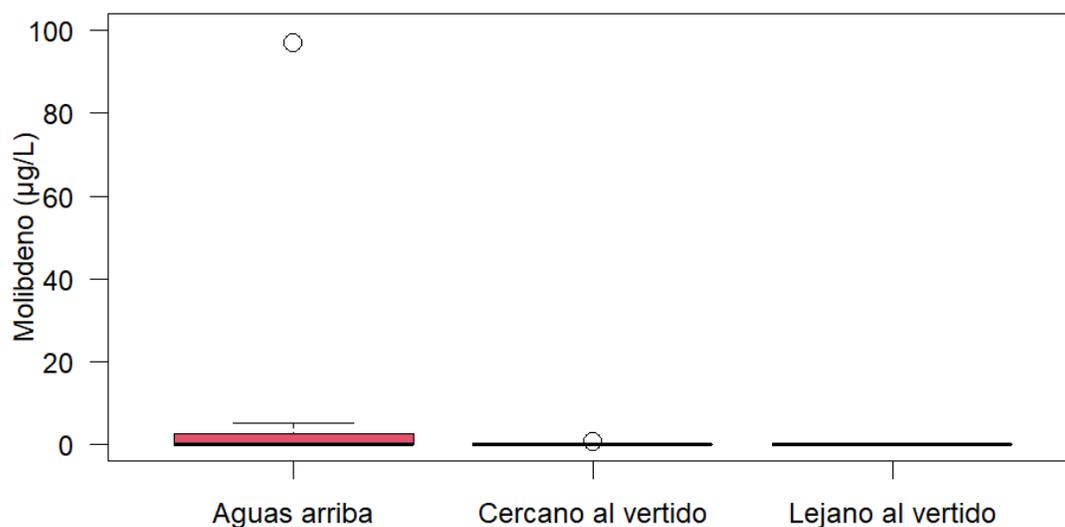


Figura 71: Variación espacial de molibdeno.

Níquel

Con una concentración media de 20 µg/L, los valores de níquel oscilaron entre una concentración máxima de 420 µg/L en el sitio U1 (Aguas arriba) en julio, hasta una concentración mínima de 0,4 µg/L detectados en el mes de julio en el sitio U5 (Lejano al vertido). Se hace notar que en ocasiones puntuales se ajustó el límite de detección de la técnica analítica debido a efectos de la matriz.

El límite normativo para el níquel es 116,3 µg/L (Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 4), este valor resulta excedido para el caso de la concentración máxima reportada. En la tabla a continuación se resalta el incumplimiento en color naranja, mientras que en la figura 72 se representa el límite normativo con una línea roja.

No se observan diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 73).

Valores de níquel (µg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	24	0,5	420	1
U2	1,4	0,5	0,8	<1
U3	0,9	2,8	0,8	<1

U4	0,9	1	0,6	<1
U5	0,7	0,9	0,4	<1
U6	1	0,5	0,5	2

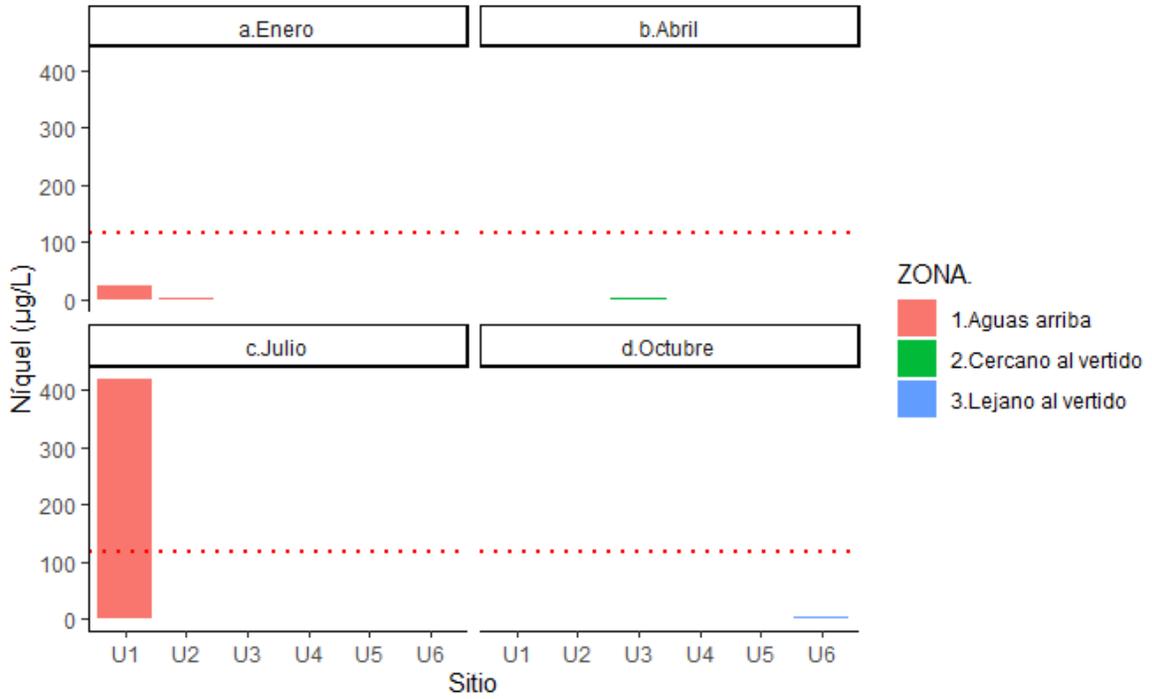


Figura 72: Variación espacial y temporal de níquel.

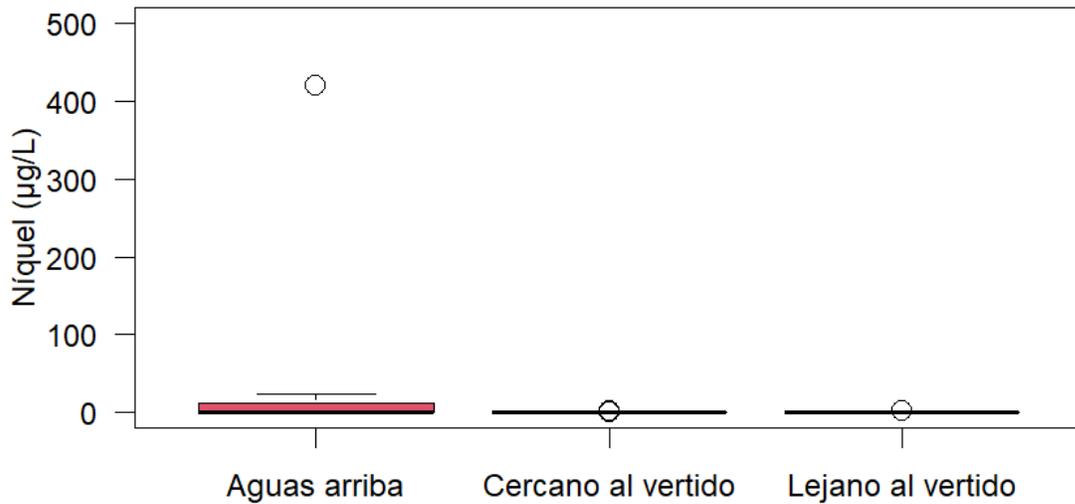


Figura 73: Variación espacial de níquel.

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. De estas concentraciones, la máxima fue 1 mg/L y corresponde al sitio U6 (Lejano al vertido). La concentración mínima fue 0,2 mg/L y fue registrada en múltiples sitios de monitoreo durante enero (Figura 74).

La reducida cantidad de mediciones válidas y la elevada variabilidad entre los resultados de ambos meses derivan en que no se observen diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de monitoreo (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 75).

Valores de Nitrito + Nitrato-N (mg/L).

Sitio	Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
U1		0,3	0,9	s/d	s/d
U2		0,2	0,9	s/d	s/d
U3		0,2	0,9	s/d	s/d
U4		0,5	0,9	s/d	s/d
U5		0,2	0,9	s/d	s/d

U6	0,2	1	s/d	s/d
-----------	-----	---	-----	-----

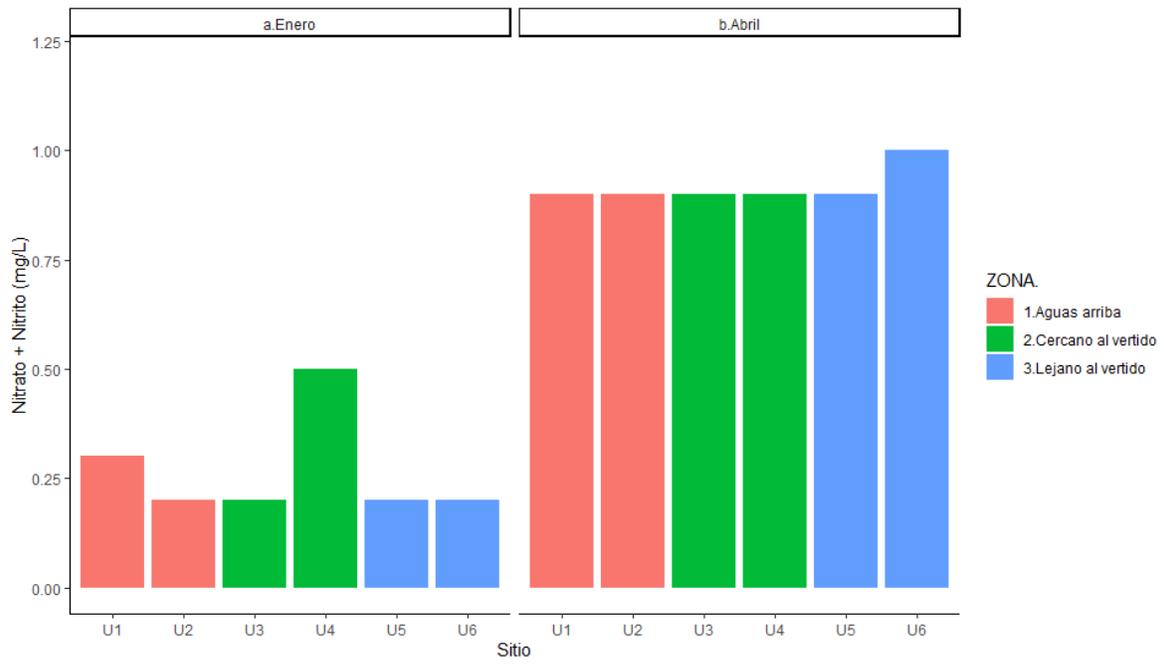


Figura 74: Variación espacial y temporal de nitrato+nitrato-N.

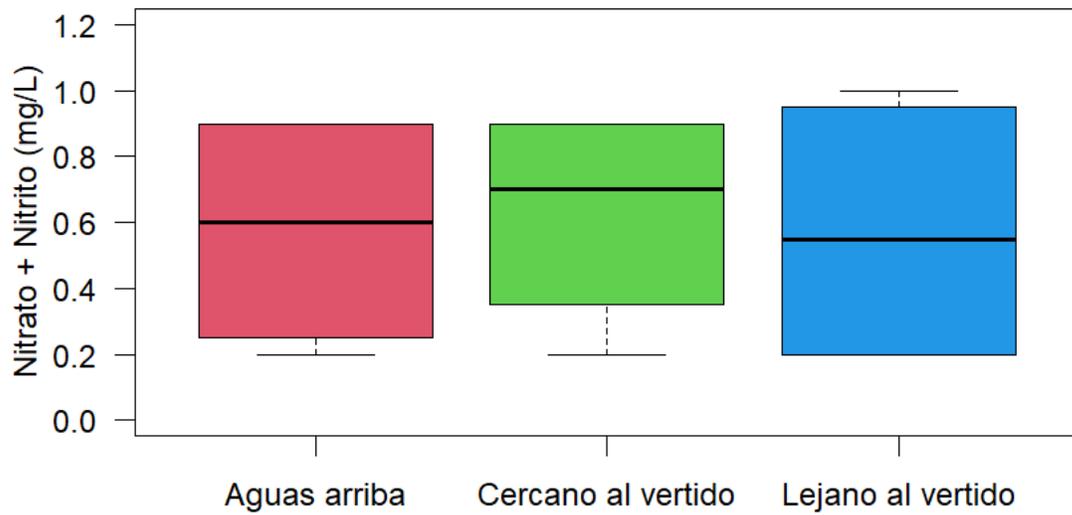


Figura 75: Variación espacial de nitrato+nitrato-N.

Nitrato-N

De forma similar a lo descrito para el parámetro Nitrito+Nitrato-N, y por las mismas razones de tiempos analíticos excedidos, para el parámetro Nitrato-N se cuenta con resultados válidos sólo para los meses de enero y abril. Al igual que el anterior, en el mes de abril se observan las concentraciones más elevadas, alcanzando un máximo de 1 mg/L en el sitio U6 (Lejano al vertido). La concentración mínima fue 0,2 mg/L y fue registrada en múltiples sitios de monitoreo durante enero.

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). A fin de facilitar la interpretación, se excluye la representación normativa en la figura 76.

La reducida cantidad de mediciones válidas y la elevada variabilidad entre los resultados de esos meses derivan en que no se observen diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de monitoreo (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 77).

Valores de Nitrato-N (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	0,3	0,9	s/d	s/d
U2	0,2	0,9	s/d	s/d
U3	0,2	0,9	s/d	s/d
U4	0,2	0,9	s/d	s/d
U5	0,2	0,9	s/d	s/d
U6	0,2	1	s/d	s/d

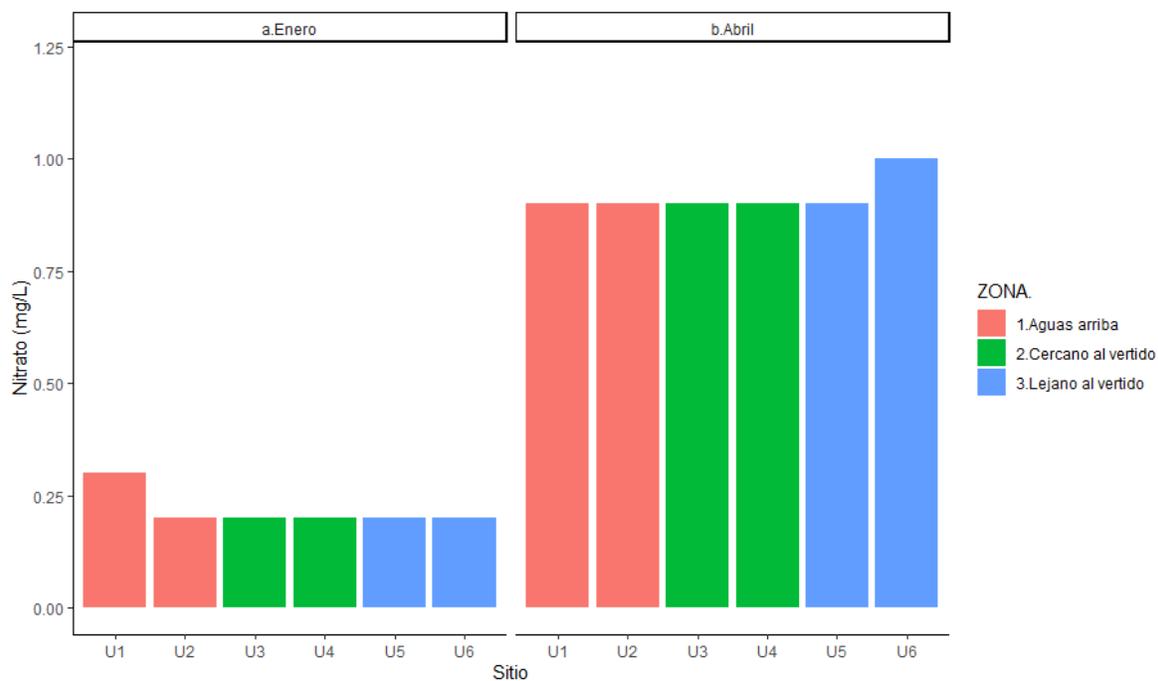


Figura 76: Variación espacial y temporal de Nitrato-N.

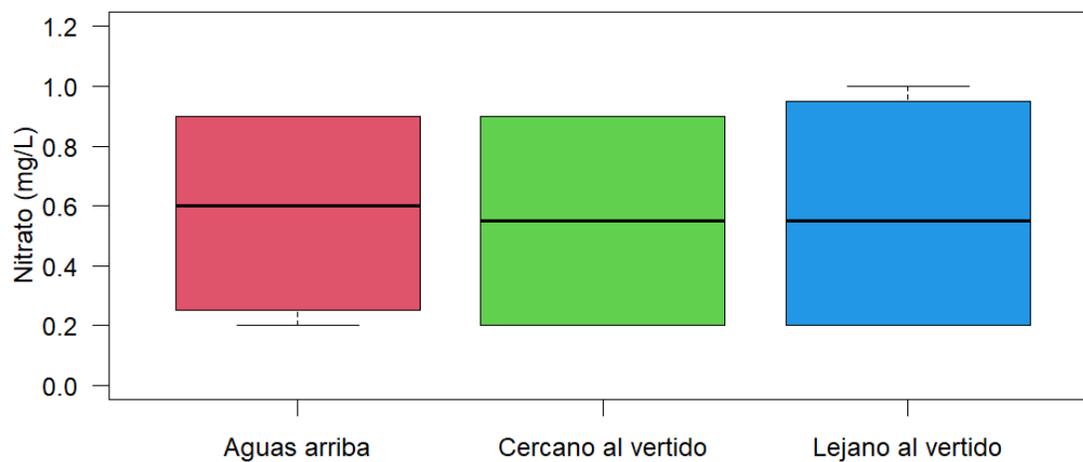


Figura 77: Variación espacial de Nitrato-N.

Nitrito-N

Al igual que para los dos parámetros anteriores, sólo se reportan resultados válidos para el parámetro Nitrito-N correspondientes a las campañas de monitoreo realizadas en los meses de enero y abril. De éstas, las concentraciones resultaron por encima del nivel de detección en dos ocasiones, ambas durante el mes de enero: en el sitio U1 (Aguas arriba) se observaron 0,05 mg/L y en el sitio U4 (Cercano al vertido) se observaron 0,29 mg/L (Figura 78).

La reducida cantidad de mediciones válidas y la elevada cantidad de resultados no cuantificables derivan en que no se observen diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de monitoreo (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 79).

Valores de Nitrito-N (mg/L).

Sitio	Mes Enero	Abril	Julio	Octubre
U1	0,05	<0,05	s/d	s/d
U2	<0,05	<0,05	s/d	s/d
U3	<0,05	<0,05	s/d	s/d
U4	0,29	<0,05	s/d	s/d
U5	<0,05	<0,05	s/d	s/d
U6	<0,05	<0,05	s/d	s/d

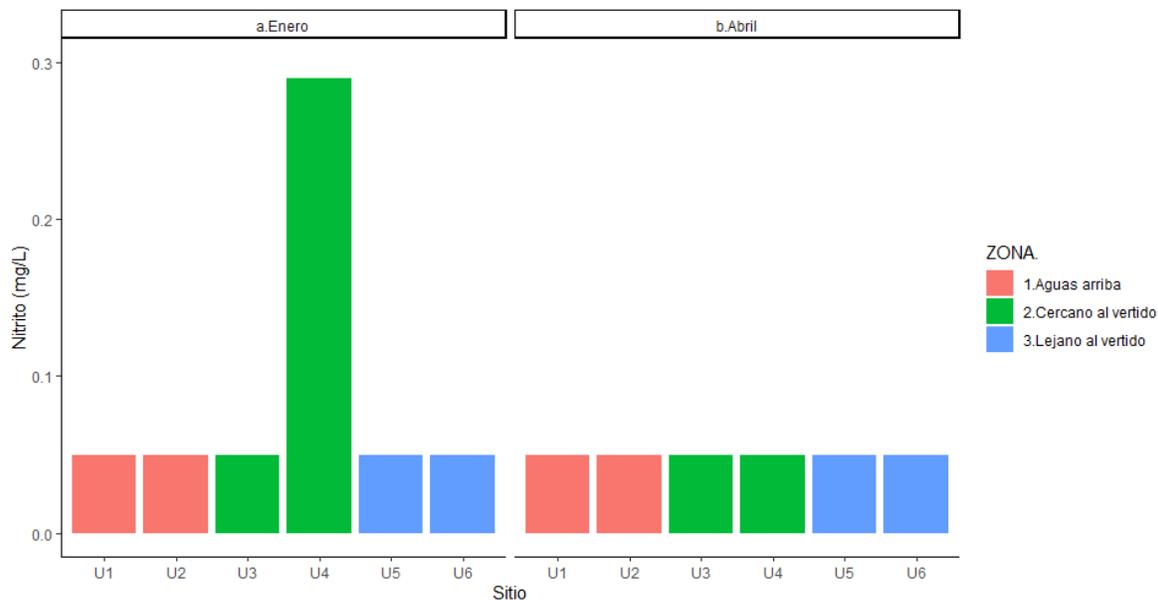


Figura 78: Variación espacial y temporal de Nitrito-N.

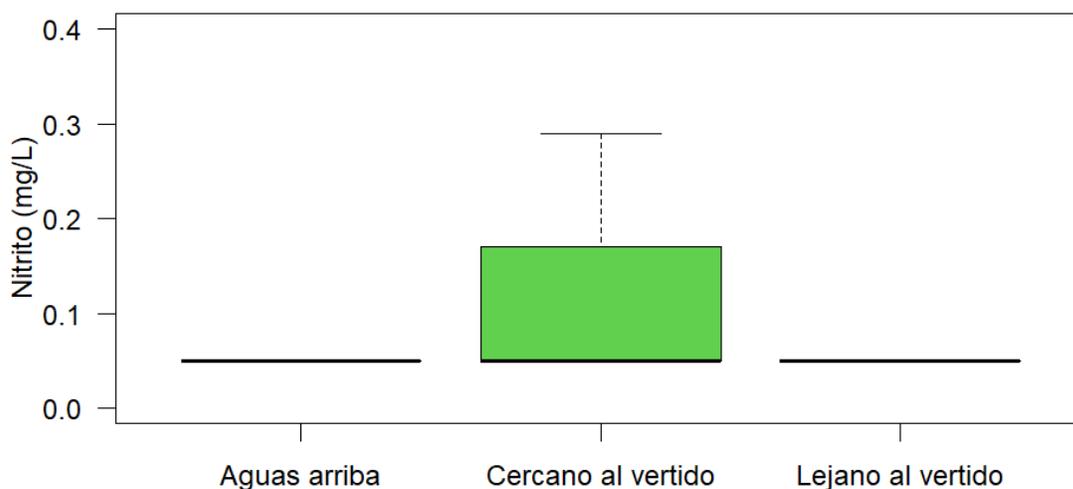


Figura 79: Variación espacial de Nitrito-N.

Nitrógeno Total de Kjeldahl – TNK

La concentración máxima registrada para el parámetro Nitrógeno Total de Kjeldahl fue 0,6 mg/L y se observó en el sitio U4 (Cercano al vertido) en octubre. Las concentraciones mínimas corresponden a dos mediciones que resultaron por debajo del límite de detección, ambas en el sitio U1 (Aguas arriba) en abril y en julio. La concentración media para este parámetro fue 0,24 mg/L (Figura 80).

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio partir del análisis de varianza ($p > 0,05$, Figura 81).

Valores de Nitrógeno total de Kjeldahl-TNK (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	0,3	<0,07	<0,07	0,3
U2	0,4	0,3	0,08	0,3
U3	0,3	0,2	0,1	0,2
U4	0,07	0,3	0,2	0,6
U5	0,3	0,3	0,1	0,3
U6	0,3	0,2	0,09	0,1

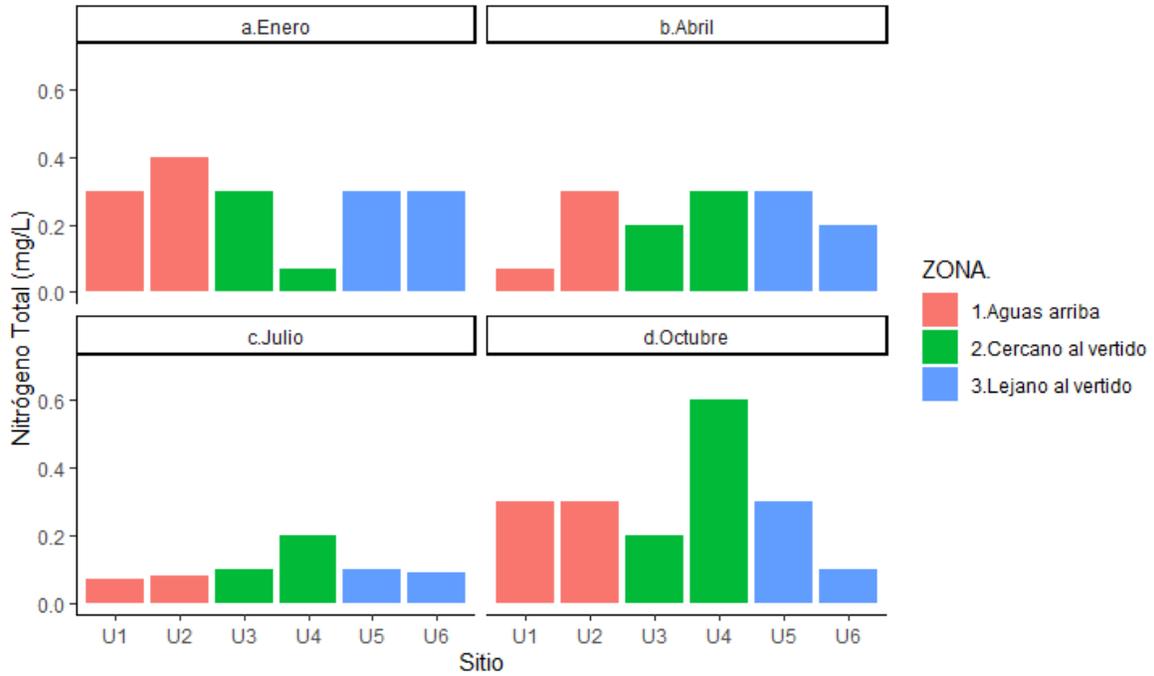


Figura 80: Variación espacial y temporal de nitrógeno total de Kjeldahl.

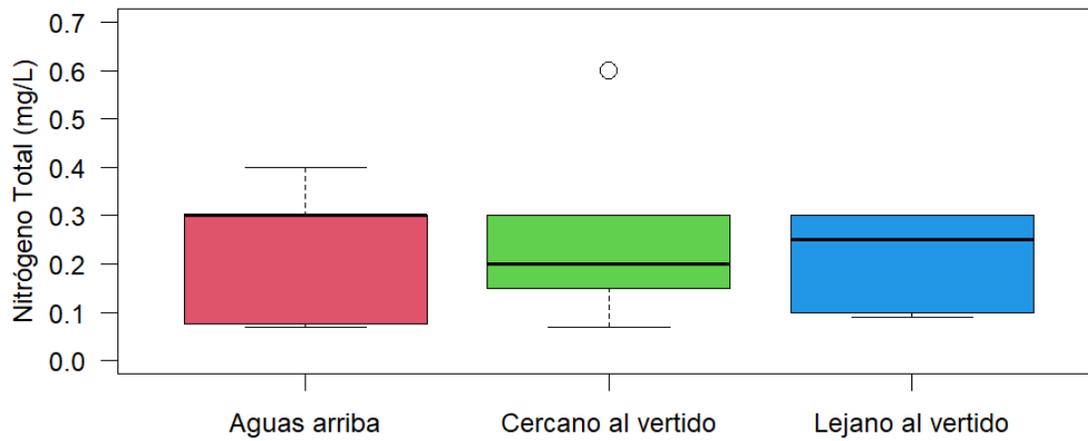


Figura 81: Variación espacial y temporal de nitrógeno total de Kjeldahl.

Ortofosfato

Para este parámetro se tuvo también algunos problemas en el reporte de resultados del laboratorio local a cargo, por lo cual sólo se reportan resultados válidos para los meses de julio y octubre. En ellos, la concentración máxima fue 0,0532 mg/L y corresponde al sitio U6 (Lejano al vertido) en octubre. Todas las determinaciones correspondientes a julio resultaron por debajo del límite de cuantificación (Figura 82).

A partir del análisis de varianza no hay diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio ($p > 0,05$, Figura 83).

Valores de ortofosfato (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	s/d	s/d	<0,032	0,0466
U2	s/d	s/d	<0,032	0,0466
U3	s/d	s/d	<0,032	0,0499
U4	s/d	s/d	<0,032	0,0516
U5	s/d	s/d	<0,032	0,0516
U6	s/d	s/d	<0,032	0,0532

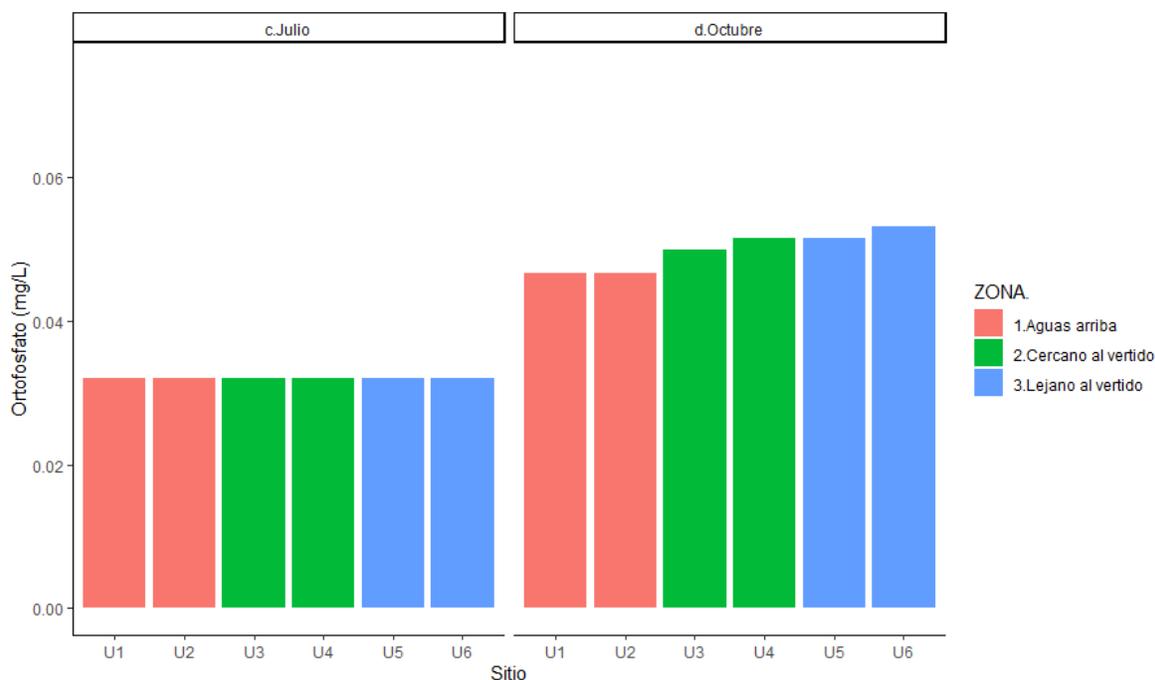


Figura 82: Variación espacial y temporal de ortofosfato.

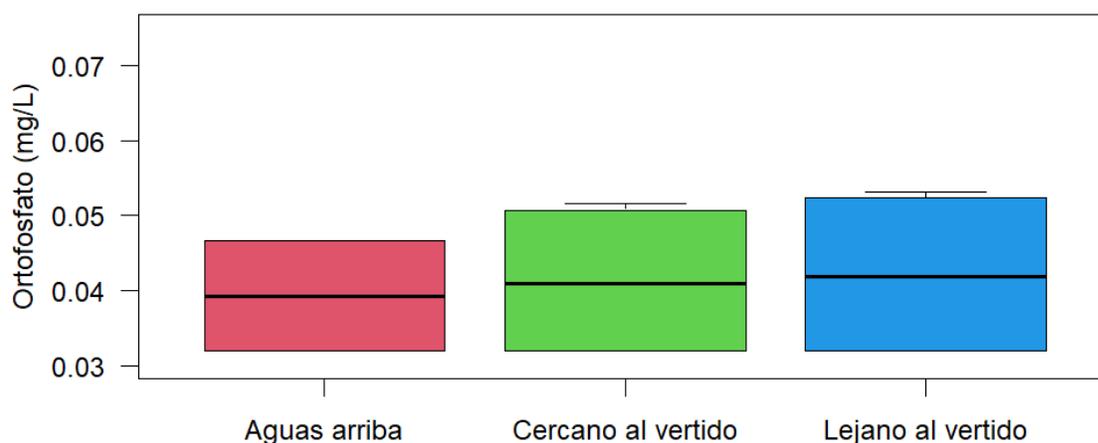


Figura 83: Variación espacial de ortofosfato.

Plata

La concentración máxima para plata fue 0,52 $\mu\text{g/L}$ y corresponde a la determinación del sitio U5 (Lejano al vertido) en octubre. Múltiples determinaciones resultaron por debajo del límite de detección (Figura 84). Se hace notar que en ocasiones puntuales se ajustó el límite de detección de la técnica analítica debido a efectos de la matriz.

No se observan diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 85).

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

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	0,02	<0,01	<0,01	<0,05
U2	0,01	0,2	<0,01	<0,05
U3	0,01	<0,01	<0,01	<0,05
U4	<0,01	0,02	<0,01	<0,05
U5	0,52	<0,01	<0,01	0,1
U6	0,03	0,01	<0,01	<0,05

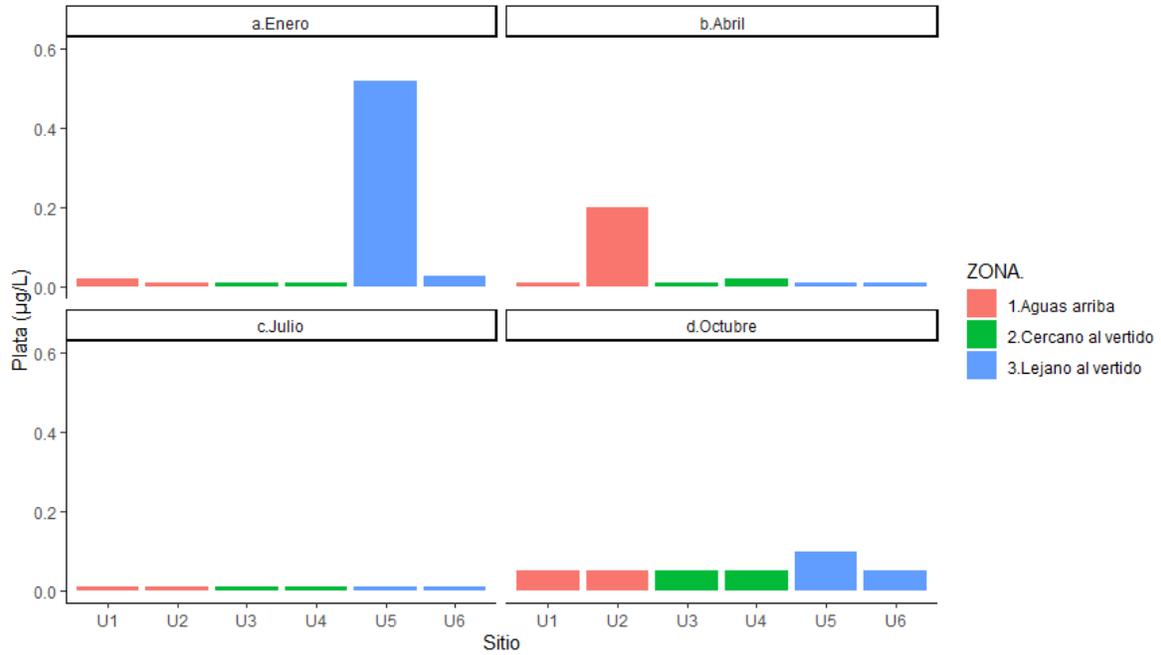


Figura 84: Variación espacial y temporal de plata.

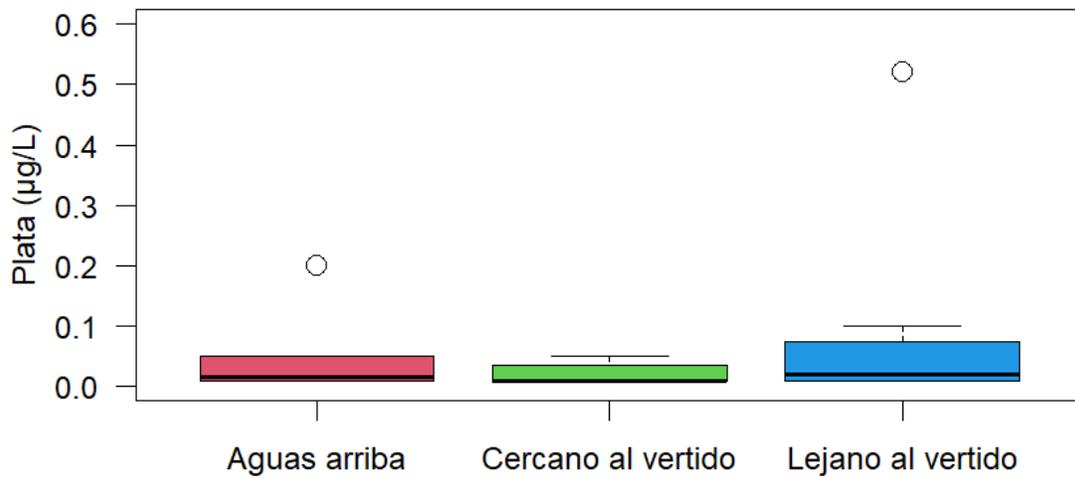


Figura 85: Variación espacial de plata.

Plomo

La concentración media de plomo fue 0,29 $\mu\text{g/L}$, donde el valor máximo, 0,46 $\mu\text{g/L}$, fue registrado en el mes de enero en el sitio U1 (Aguas arriba). Por el contrario, la concentración mínima fue 0,20 $\mu\text{g/L}$ y se observó en el mes de octubre en los sitios U2 (Aguas arriba) y U3 (Cercano al vertido). Durante el periodo de estudio no se observaron incumplimientos del límite establecido en la normativa de aplicación (7 $\mu\text{g/L}$, según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 4). En la figura 86 se representa este límite normativo mediante una línea roja.

Las zonas de estudio no presentan diferencias estadísticamente significativas (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 87).

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

Sitio	Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
U1		0,46	0,31	0,32	0,3
U2		0,44	0,28	0,26	0,2
U3		0,34	0,25	0,21	0,2
U4		0,34	0,24	0,22	0,3
U5		0,3	0,27	0,24	0,3
U6		0,34	0,24	0,21	0,4

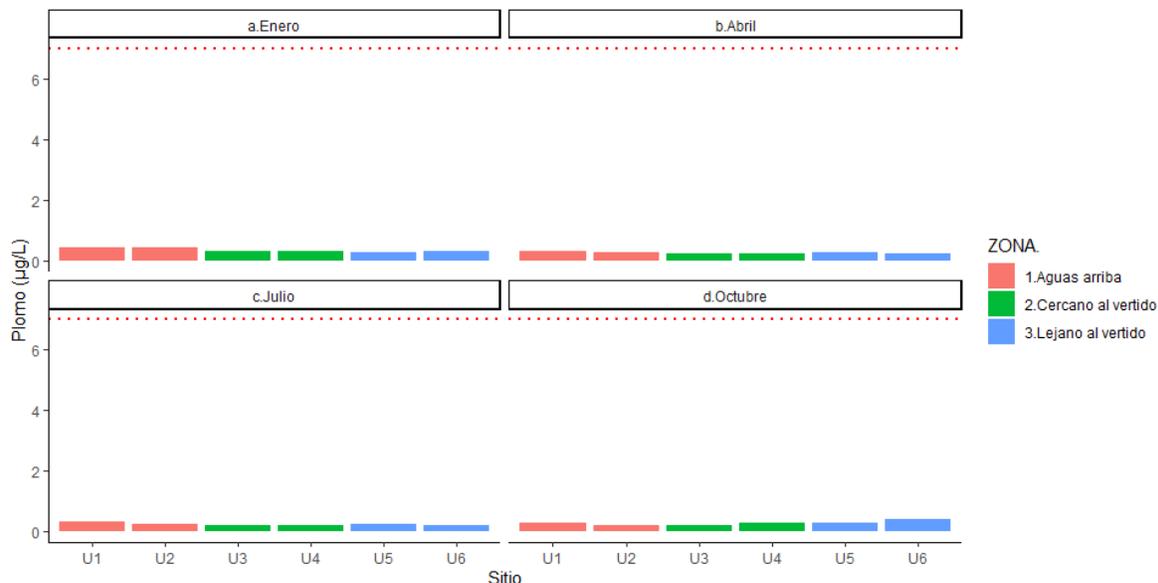


Figura 86: Variación espacial y temporal de plomo.

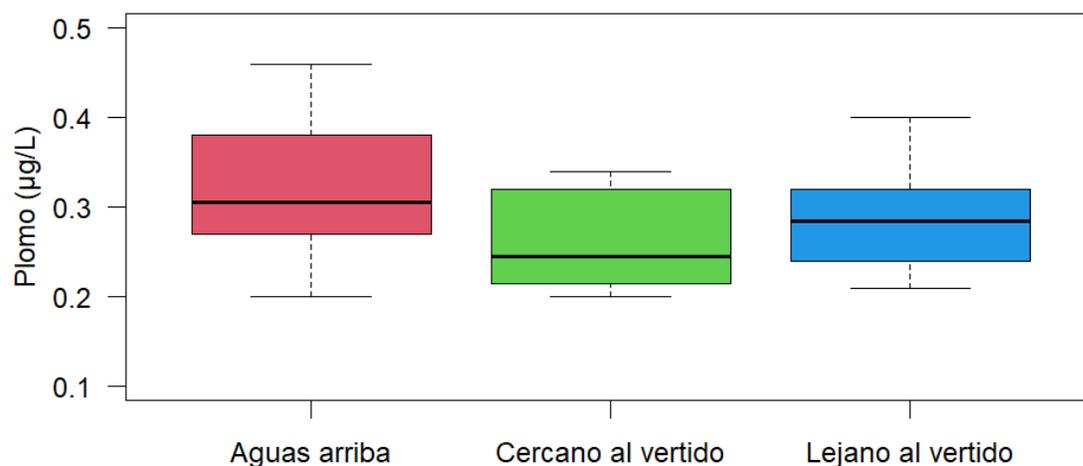


Figura 87: Variación espacial de plomo.

Potasio

La concentración media de potasio resultó 1,4 mg/L, siendo que el valor máximo fue 1,7 mg/L detectado en el mes de octubre en los sitios U3 (Cercano al vertido) y U5 (Lejano al vertido). La concentración mínima fue 1,2 mg/L y fue registrada en U2 (Aguas arriba) en enero (Figura 88).

Se observan concentraciones de potasio significativamente más altas en las zonas Cercana al vertido y Lejana al vertido con respecto a la zona Aguas arriba del vertido (ANOVA, $p < 0,05$, Figura 89).

Valores de potasio (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	1,3	1,5	1,3	1,6
U2	1,2	1,5	1,3	1,5
U3	1,4	1,6	1,3	1,7
U4	1,4	1,6	1,4	1,5
U5	1,4	1,6	1,3	1,7
U6	1,4	1,5	1,3	1,6

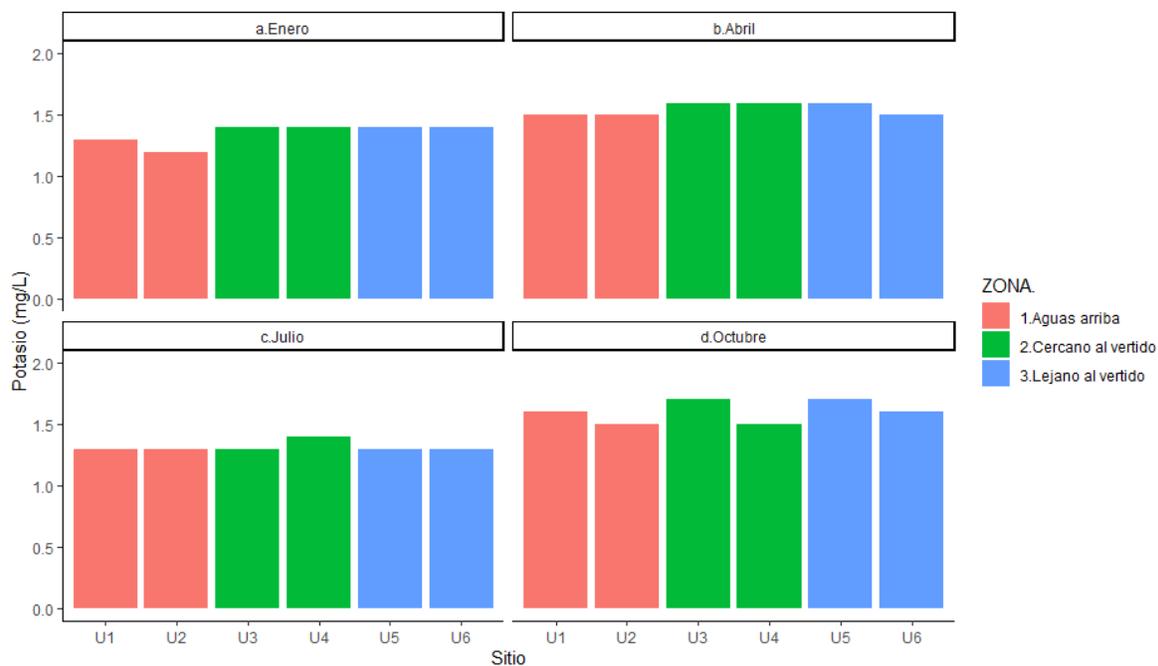


Figura 88: Variación espacial y temporal de potasio.

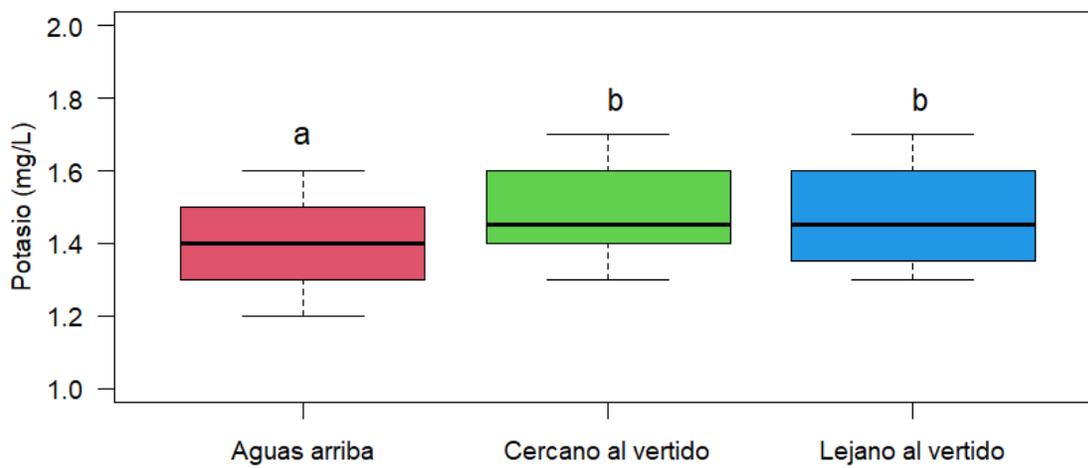


Figura 89: Variación espacial de potasio.

Silicio

Respecto a las concentraciones de silicio, se obtuvo una media de 7,8 mg/L, siendo que la concentración máxima (8,8 mg/L) se detectó en el mes de julio en los sitios U4 (Cercano al vertido) y U5 (Lejano al vertido). Durante el mes de enero se registraron las concentraciones relativamente más bajas, de las que la mínima fue 6,4 mg/L correspondiente al sitio U1 (Aguas arriba, Figura 90).

Se detectan concentraciones de silicio significativamente más altas en la zona Lejana al vertido con respecto a la zona Aguas arriba (ANOVA, $p < 0,05$, Figura 91).

Valores de silicio (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	6,4	8,4	8,3	7,2
U2	6,6	8,6	8,2	7,3
U3	6,9	8,5	8,2	7,2
U4	6,8	8,5	8,8	7,4
U5	6,7	8,7	8,8	7,4
U6	7	8,7	8,3	8,7

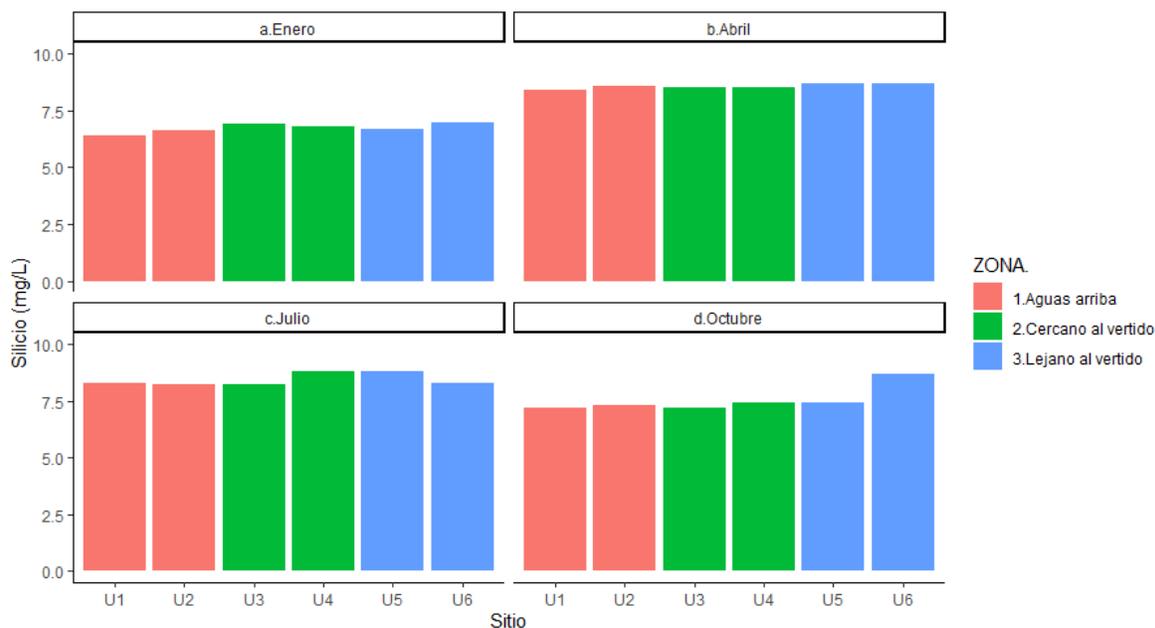


Figura 90: Variación espacial y temporal de silicio.

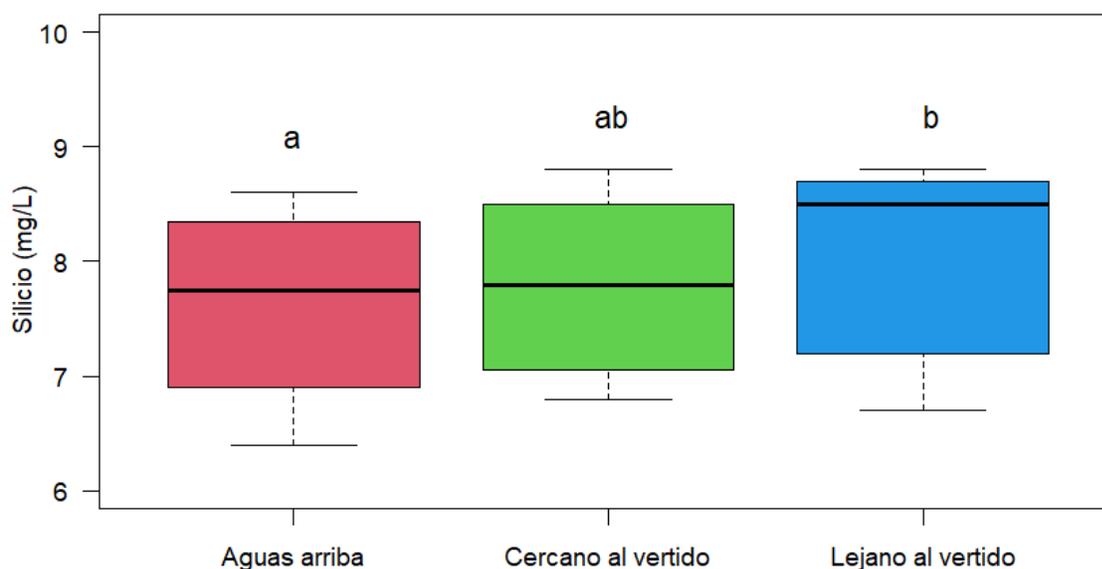


Figura 91: Variación espacial de silicio.

Sodio

El sodio presentó una media de 3,2 mg/L. En octubre se observó la concentración máxima de 5,2 mg/L en el sitio U3 (Cercano al vertido), mientras que la concentración mínima fue 1,6 mg/L y correspondió a la muestra de enero en U2 (Aguas arriba, Figura 92).

A partir del análisis de varianza se observan diferencias estadísticamente significativas entre todas las zonas de estudio, donde la zona Aguas arriba presenta las concentraciones más bajas de sodio, la zona Cercana al vertido las concentraciones más altas de sodio y luego concentraciones intermedias de sodio hacia la zona Lejana al vertido, lo que sería indicador del proceso de dilución de este metal (ANOVA, $p < 0,05$, Figura 93).

Valores de sodio (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	1,8	2,6	2,9	4
U2	1,6	2,6	2,8	4
U3	1,9	3,7	4,1	5,2
U4	1,8	3,3	3,7	5,1
U5	1,9	2,9	3,1	5
U6	1,9	3	3,1	5

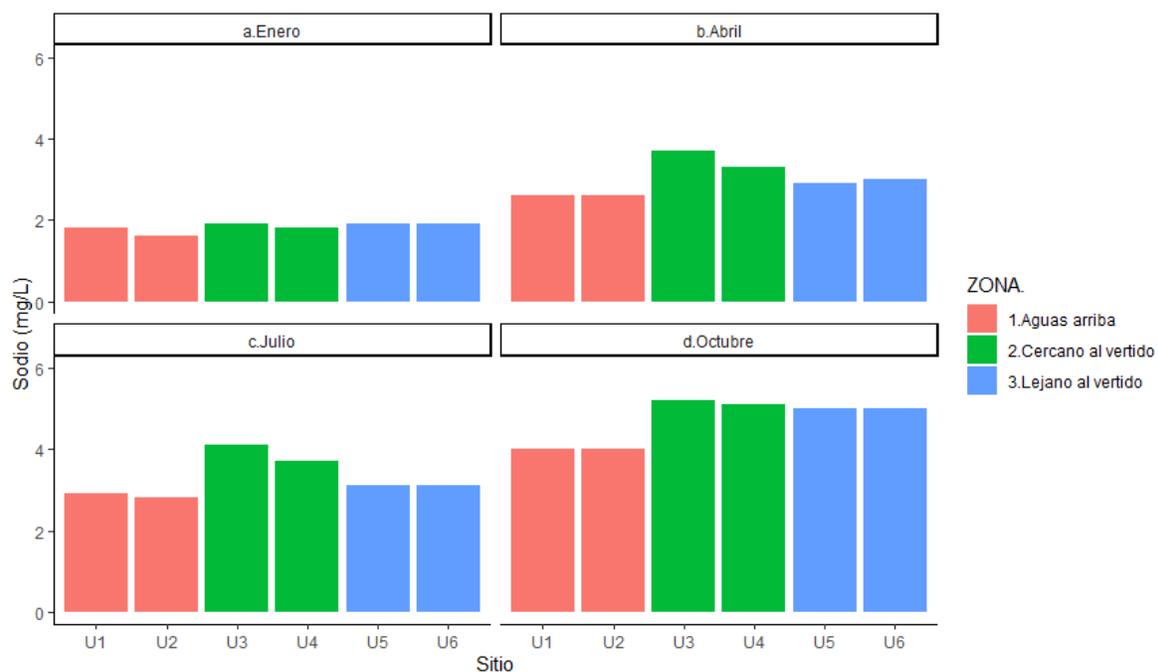


Figura 92: Variación espacial y temporal de sodio.

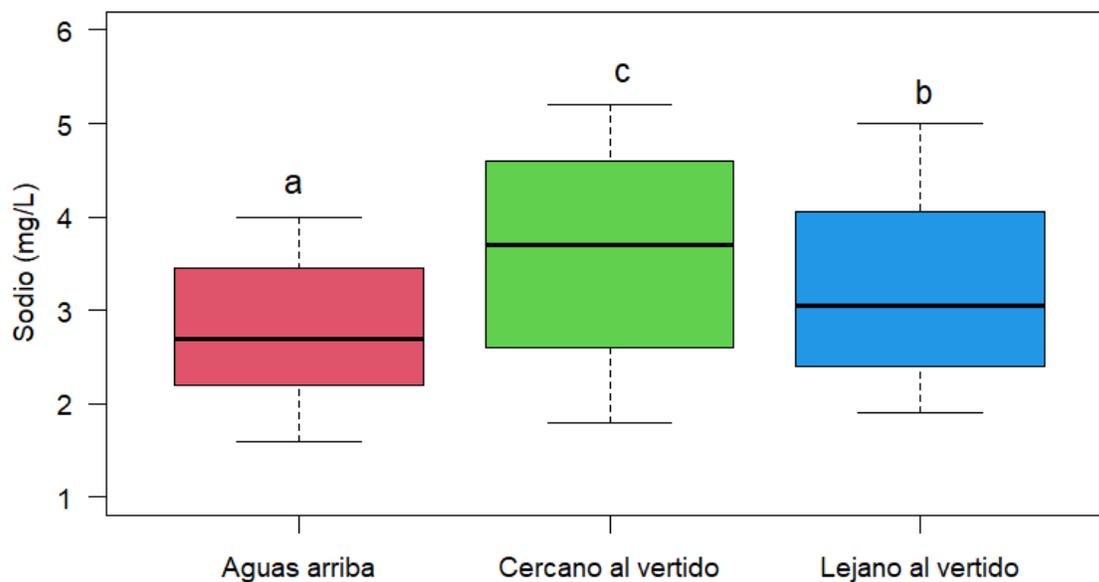


Figura 93: Variación espacial de sodio.

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 ello, sólo se cuenta con resultados válidos de este parámetro para los meses de enero y julio, siendo que para el mes de enero las concentraciones resultaron notoriamente mayores y en el mes de julio la mayoría de las determinaciones válidas resultaron por debajo del límite de detección. La mayor concentración de sólidos suspendidos totales fue 10 mg/L y corresponde a los sitios U1 (Aguas arriba) y U3 (Cercano al vertido) durante el mencionado mes de enero (Figura 94).

Respecto a los sólidos suspendidos totales no se observan diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 95).

Valores de sólidos suspendidos totales (mg/L).

Sitio	Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
U1		10	s/d	<2	s/d
U2		6,5	s/d	2	s/d
U3		10	s/d	s/d	s/d
U4		6,5	s/d	<2	s/d
U5		6,5	s/d	<2	s/d
U6		7	s/d	<2	s/d

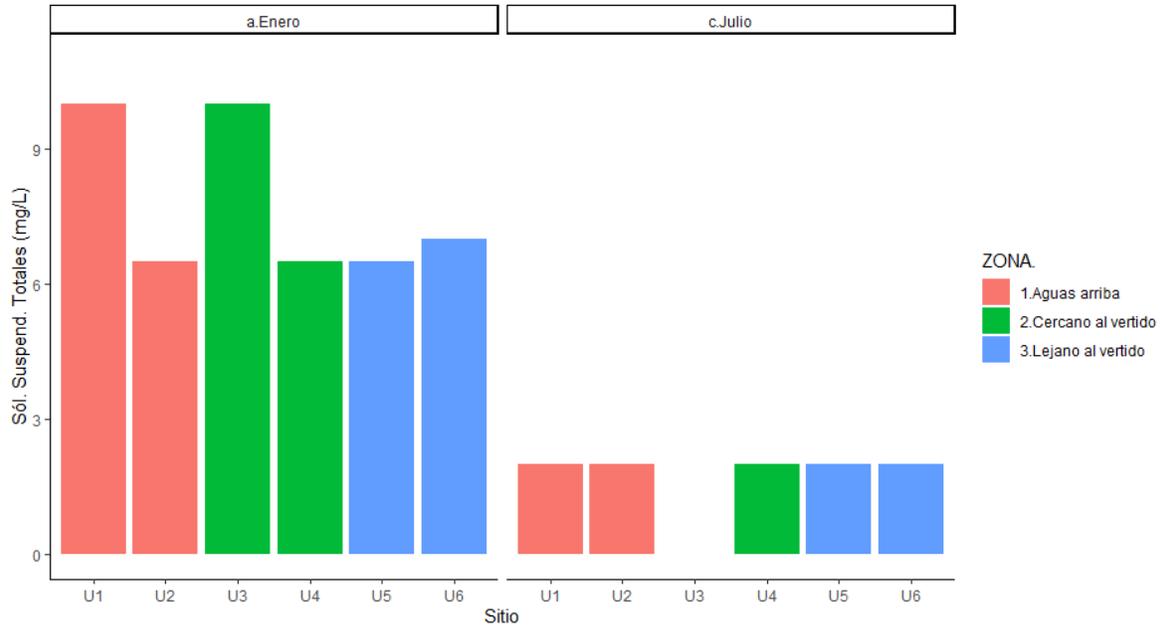


Figura 94: Variación espacial y temporal de sólidos suspendidos totales.

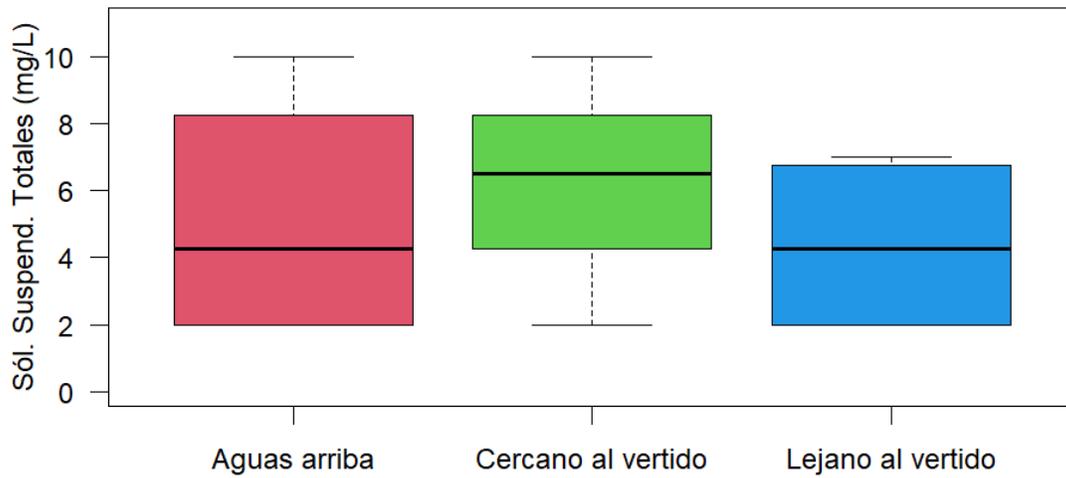


Figura 95: Variación espacial de sólidos suspendidos totales.

Sólidos Totales

De forma similar a lo descrito para el parámetro anterior y por las mismas razones de tiempos analíticos excedidos, para el parámetro sólidos totales se cuenta con resultados válidos sólo para el mes de enero. De resultados, la mayor concentración fue 134 mg/L correspondiente al sitio U3 (Cercano al vertido) y la menor concentración fue 54 mg/L correspondiente al sitio U5 (Lejano al vertido, Figura 96).

No se dispuso de datos suficientes para la realización de análisis de varianza.

Valores de sólidos totales (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	72	s/d	s/d	s/d
U2	64	s/d	s/d	s/d
U3	134	s/d	s/d	s/d
U4	70	s/d	s/d	s/d
U5	54	s/d	s/d	s/d
U6	98	s/d	s/d	s/d

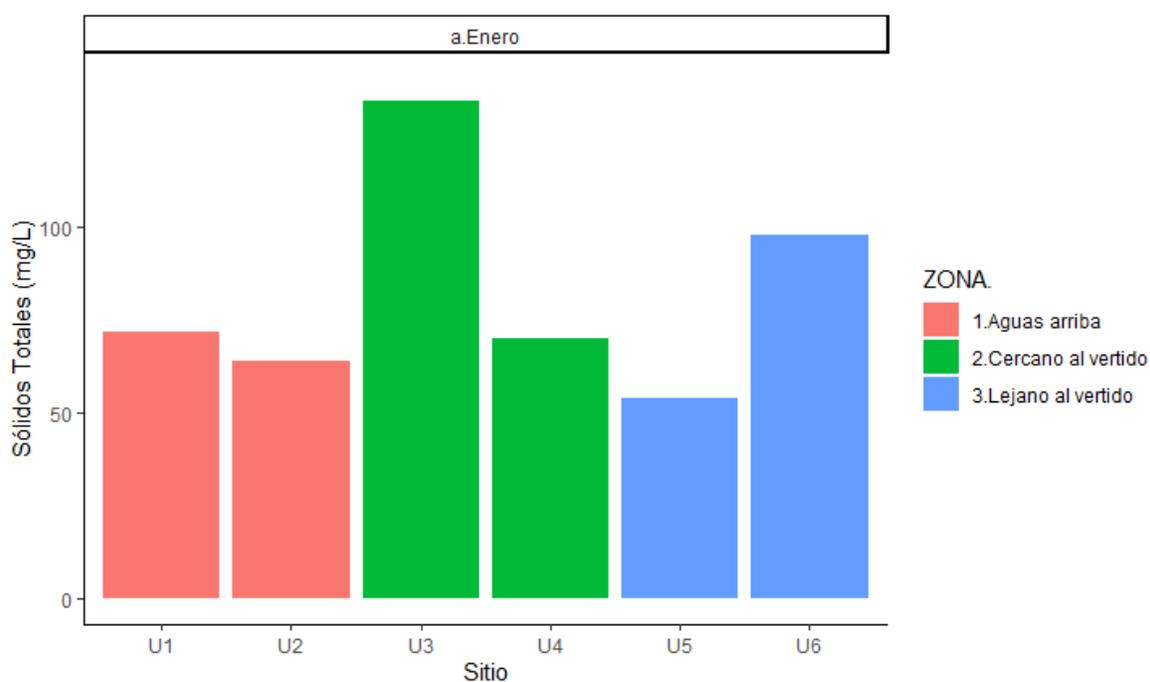


Figura 96: Variación espacial de sólidos totales.

Sulfato

La concentración media de sulfato fue 1,7 mg SO₄/L, siendo que durante el mes de enero se observaron las concentraciones más bajas del periodo de estudio, donde los sitios U1 y U2 (Aguas arriba) presentaron el valor mínimo de 0,7 mg SO₄/L. El sitio U3 (Cercano al vertido) presentó la concentración más alta en cada una de las instancias de monitoreo y de éstas, el valor máximo se observó en el mes de julio (3,4 mg SO₄/L).

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 1). Para facilitar la interpretación se excluye de la figura 97 este límite normativo.

El análisis de varianza muestra diferencias estadísticamente significativas en la concentración de sulfato entre todas las zonas de estudio, siendo que la zona Aguas arriba presenta las concentraciones más bajas, la zona Cercana al vertido presenta las concentraciones más elevadas y luego en la zona Lejana se registran concentraciones intermedias a las dos anteriores, lo cual indicaría el efecto de la dilución aguas abajo del vertido (ANOVA, p<0,05, Figura 98).

Valores de sulfato (mg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	0,7	1,2	1,2	1,6
U2	0,7	1,2	1,2	1,6
U3	0,9	3,2	3,4	3,3
U4	0,8	2,6	2,4	3,3
U5	0,8	1,6	1,3	2
U6	0,8	1,8	1,3	2,8

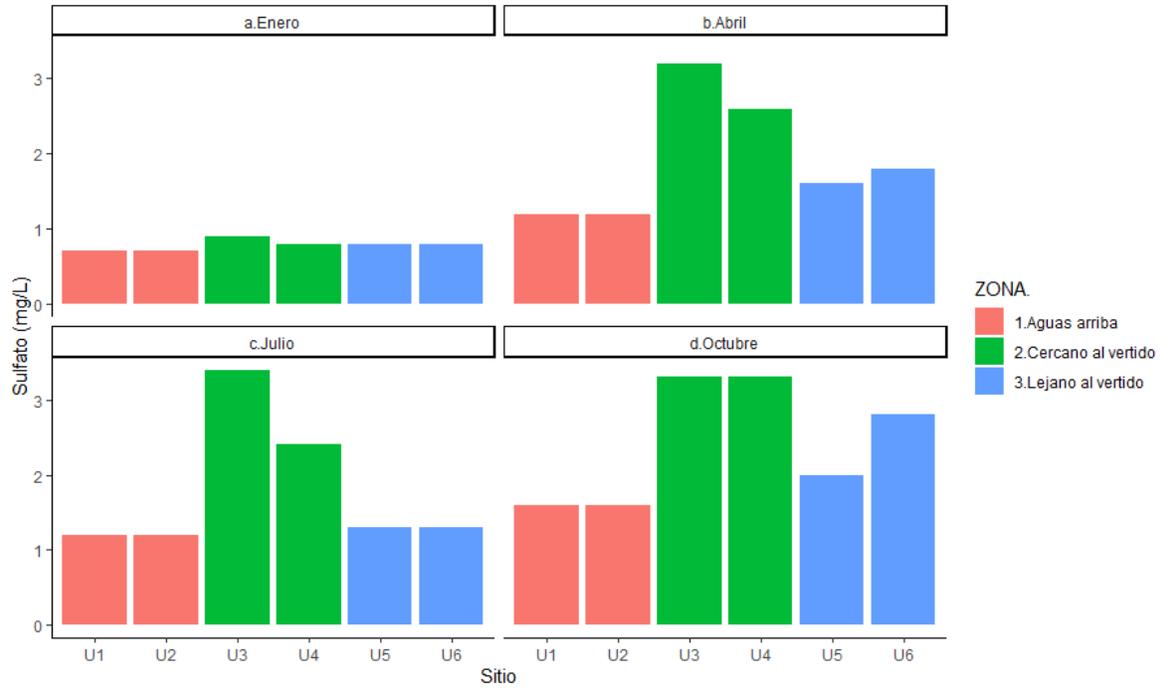


Figura 97: Variación espacial y temporal de sulfato.

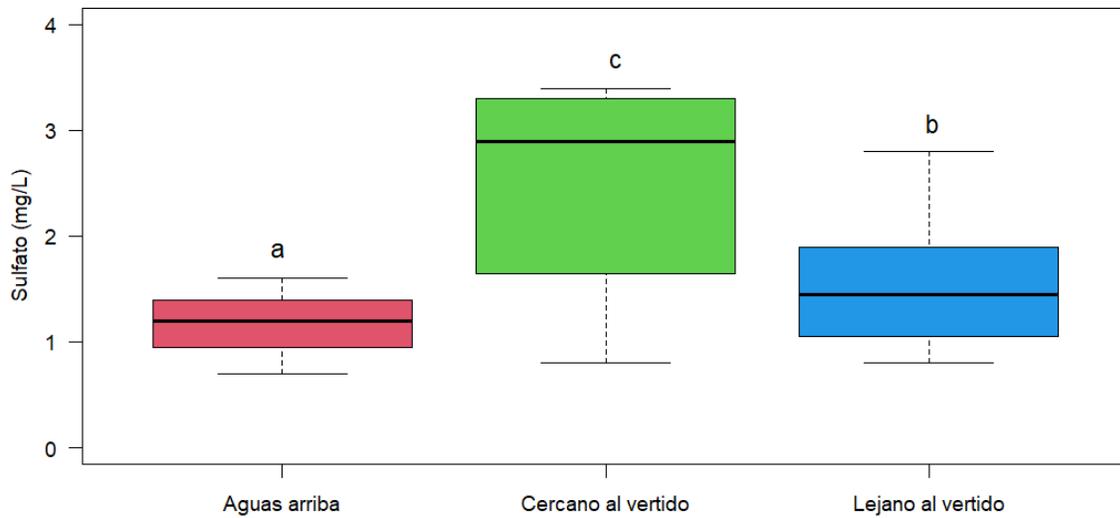


Figura 98: Variación espacial de sulfato.

Talio

Las concentraciones de talio variaron entre un máximo de 0,09 $\mu\text{g/L}$ en el sitio U5 (Lejano al vertido) en enero, hasta un mínimo de 0,01 $\mu\text{g/L}$ registrado en múltiples sitios en el mes de julio con determinaciones por debajo del límite de detección en todos los sitios Aguas arriba y Cercano al vertido en el mes de octubre. La concentración media para este parámetro fue 0,02 $\mu\text{g/L}$. Se hace notar que en ocasiones puntuales se ajustó el límite de detección de la técnica analítica debido a efectos de la matriz (Figura 99).

No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio respecto a las concentraciones de talio (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 100).

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

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	0,02	0,02	0,01	<0,05
U2	0,03	0,04	0,01	<0,05
U3	0,02	0,02	0,01	<0,05
U4	0,02	0,02	0,01	<0,05
U5	0,09	0,02	0,02	0,1
U6	0,04	0,02	0,01	0,05

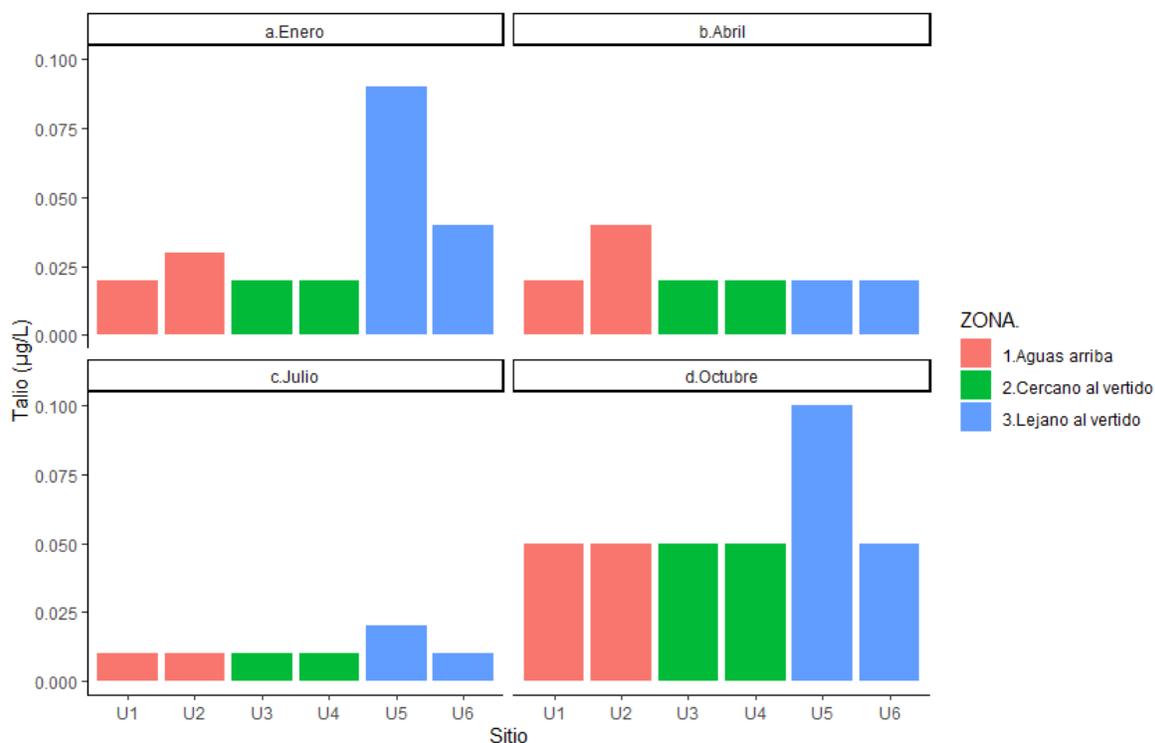


Figura 99: Variación espacial y temporal de talio.

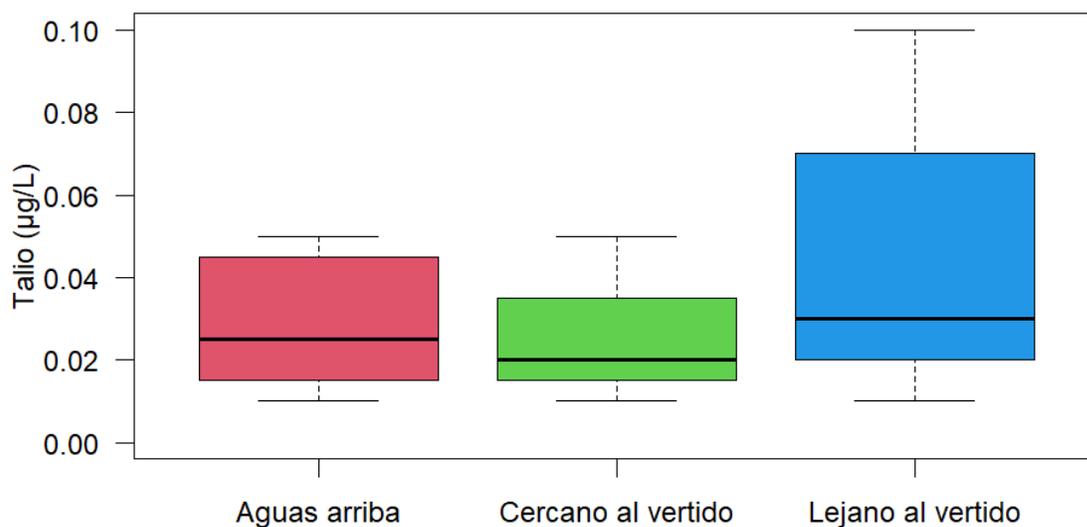


Figura 100: Variación espacial de talio.

Titanio

La concentración media de titanio fue 19 µg/L, determinándose la concentración máxima - 25 µg/L- en el sitio U5 (Cercano al vertido) en abril. La concentración mínima corresponde a determinaciones por debajo del límite de detección en el mes de octubre, en todos los sitios Aguas arriba y Cercano al vertido (Figura 101). Se hace notar que en ocasiones puntuales se ajustó el límite de detección de la técnica analítica debido a efectos de la matriz.

Para el parámetro titanio no se registran diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 102).

Valores de titanio (µg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	13	22	23	<10
U2	21	25	21	<10
U3	19	22	19	<10
U4	18	24	18	<10
U5	13	25	18	10
U6	20	24	19	20

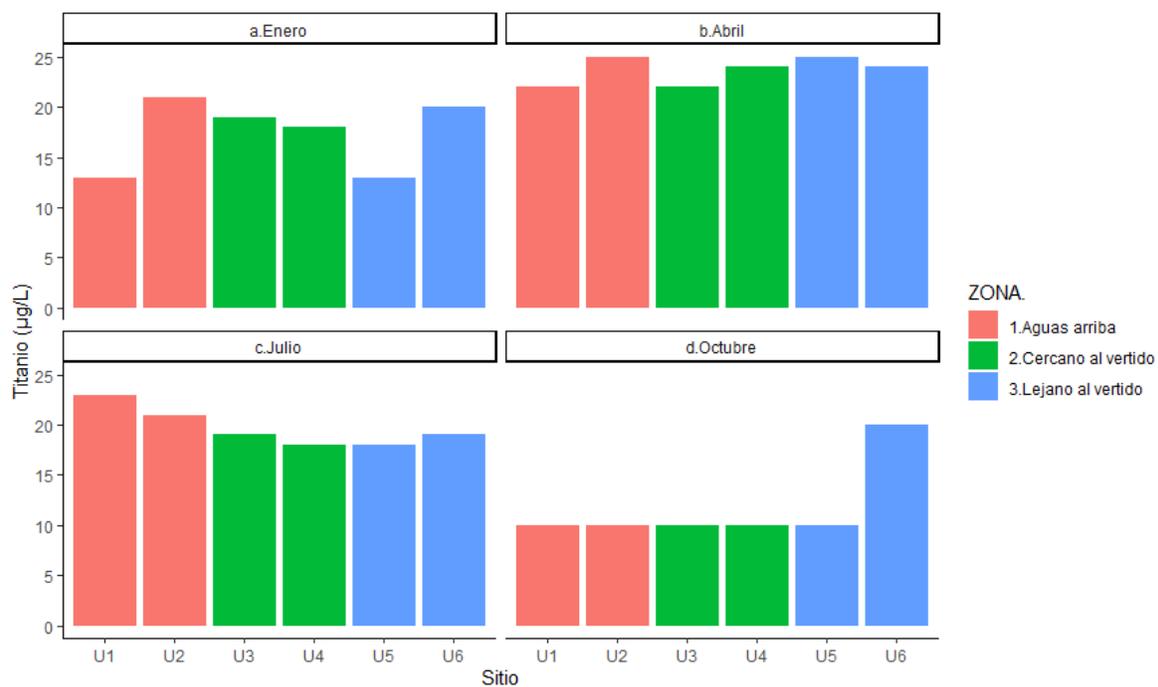


Figura 101: Variación espacial y temporal de titanio.

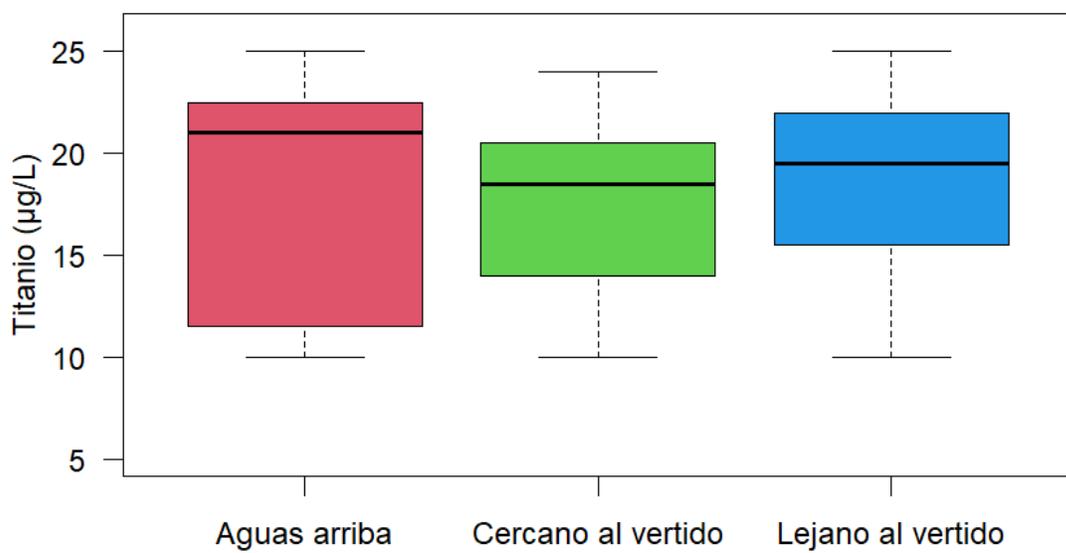


Figura 102: Variación espacial de titanio.

Torio

La concentración media de torio resultó 0,1 µg/L. La concentración máxima observada fue 0,37 µg/L en U5 (Lejano al vertido) en enero y la concentración mínima resultó 0,08 µg/L en el mes de julio en los sitios U2 (Aguas arriba) y U3 (Cercano al vertido, Figura 103). Se hace notar que en ocasiones puntuales se ajustó el límite de detección de la técnica analítica debido a efectos de la matriz.

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

Valores de torio (µg/L).

Sitio	Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
U1		0,13	0,1	0,09	<0,3
U2		0,16	0,31	0,08	<0,3
U3		0,16	0,13	0,08	<0,3
U4		0,13	0,12	0,2	<0,3
U5		0,37	0,11	0,11	<0,3
U6		0,14	0,12	0,09	<0,3

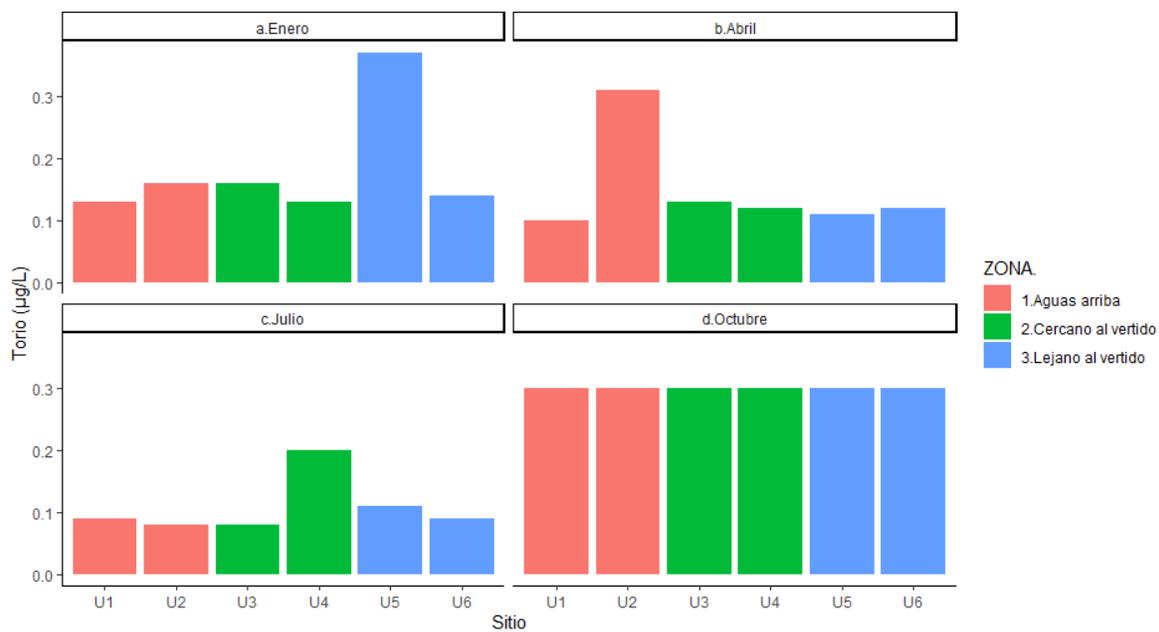


Figura 103: Variación espacial y temporal de torio.

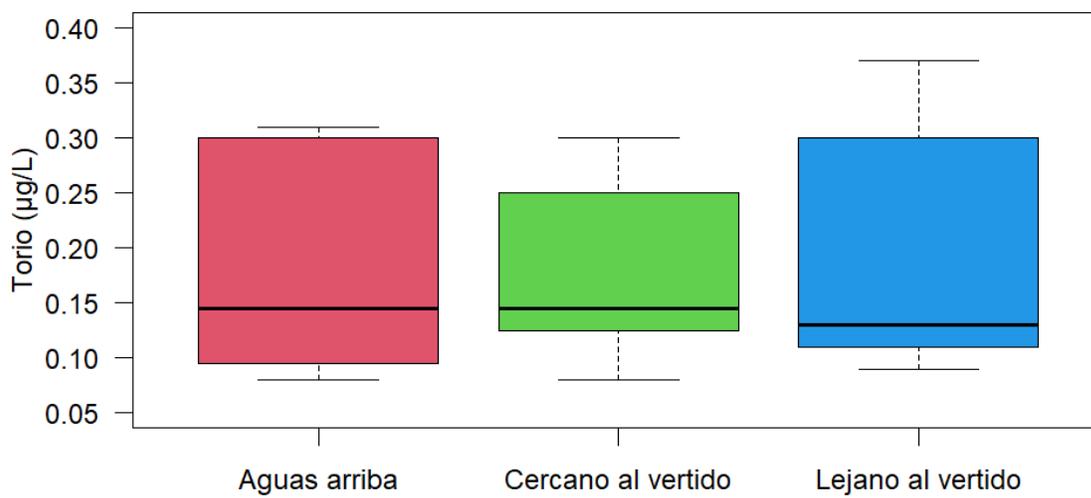


Figura 104: Variación espacial de torio.

Uranio

Durante el periodo de estudio la concentración máxima de uranio fue 0,3 µg/L, registrada en el sitio U5 (Lejano al vertido) en octubre. La concentración mínima fue 0,08 µg/L detectada en U1 (Aguas arriba) en abril. La concentración media para este metal resultó 0,13 µg/L (Figura 105).

El análisis de varianza no arroja diferencias estadísticamente significativas entre las zonas estudiadas con respecto a la concentración de uranio (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 106).

Valores de uranio (µg/L).

Sitio	Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
U1		0,26	0,08	0,16	0,2
U2		0,11	0,09	0,09	0,2
U3		0,1	0,12	0,1	0,2
U4		0,1	0,09	0,11	0,2
U5		0,1	0,09	0,14	0,3
U6		0,1	0,09	0,1	0,2

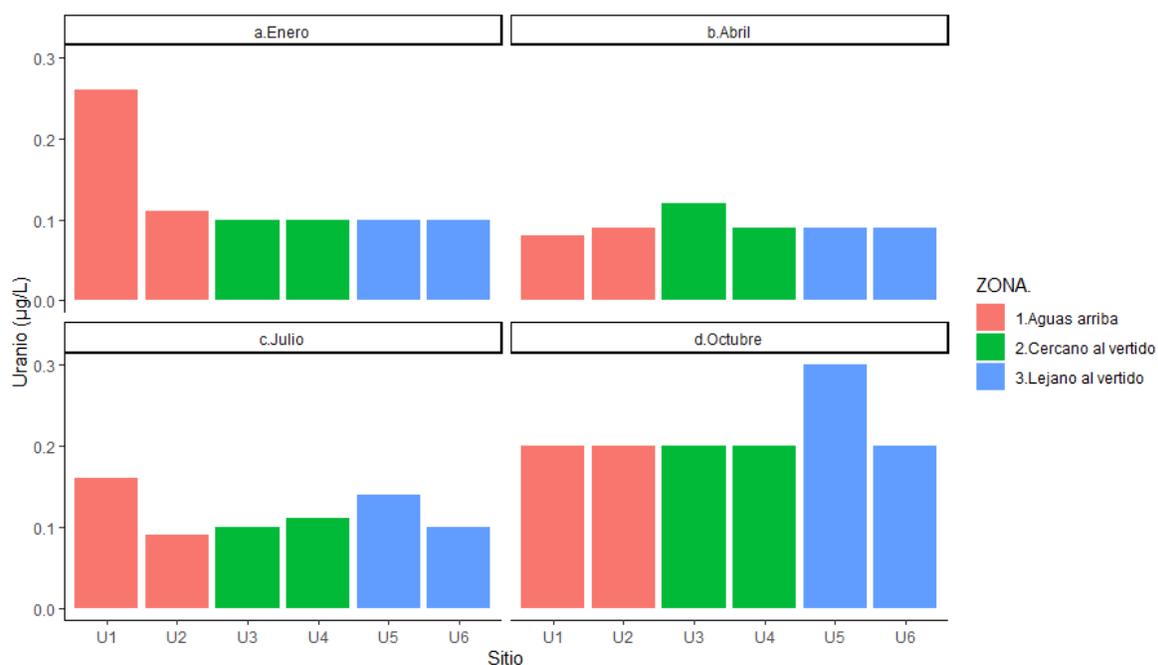


Figura 105: Variación espacial y temporal de uranio.

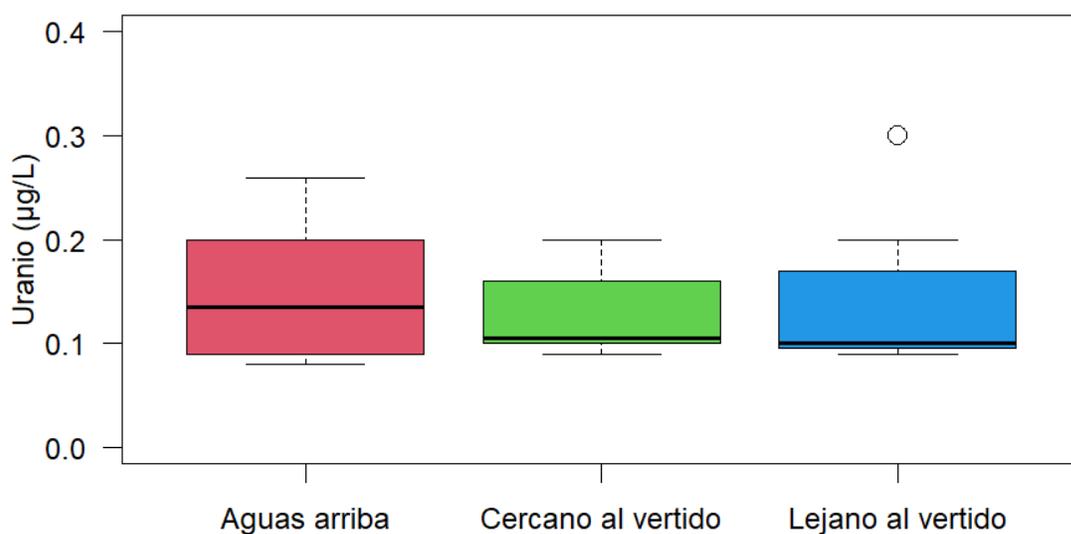


Figura 106: Variación espacial de uranio.

Vanadio

La concentración media para el metal vanadio fue 6,7 µg/L, siendo que se determinó la concentración máxima de 10 µg/L en U6 (Lejano al vertido) en octubre. Por el contrario, la concentración mínima observada fue 5,4 µg/L y se detectó en los sitios Lejanos al vertido, U5 (en enero y julio) y U6 (en julio, Figura 107).

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

Valores de vanadio (µg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	5,6	6,7	5,9	7,4
U2	6,4	6,9	5,7	7,9
U3	6,5	5,9	5,7	8,6
U4	6,2	6,8	5	8,2
U5	5,4	7,2	5,4	8,6
U6	6,4	7	5,4	10

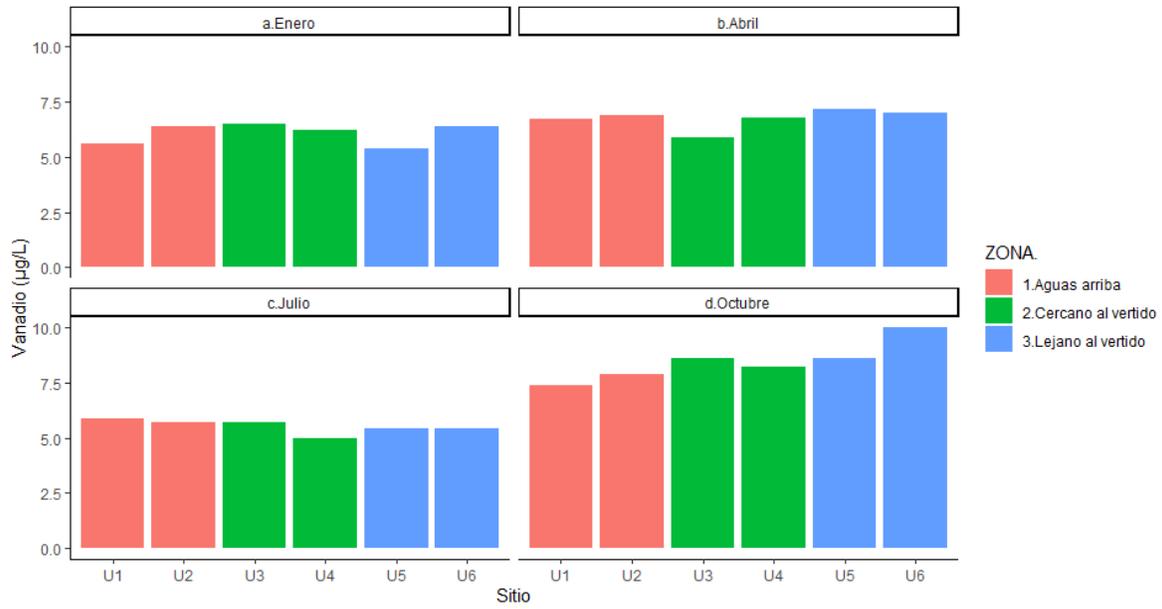


Figura 107: Variación espacial y temporal de vanadio.

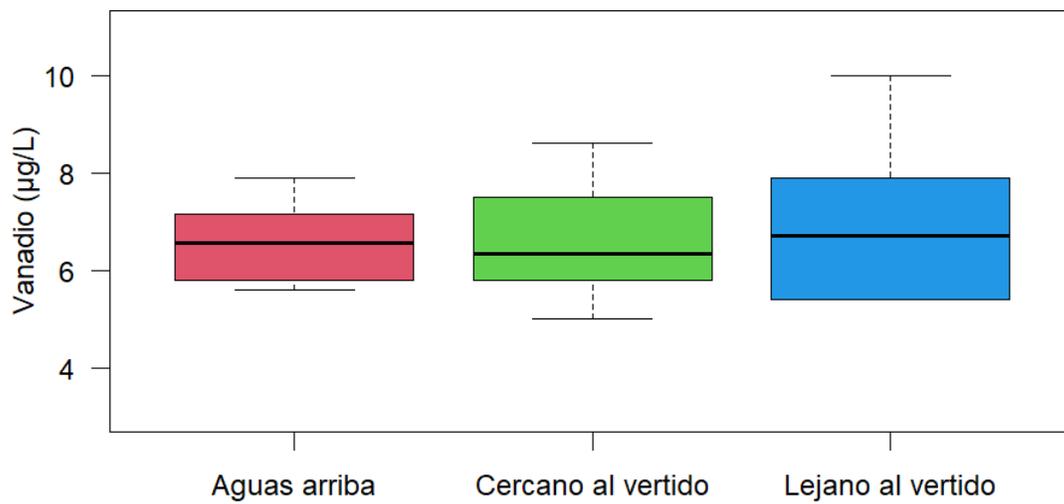


Figura 108: Variación espacial de vanadio.

Zinc

La concentración media para el metal zinc fue 5,8 µg/L. En el sitio U5 (Lejano al vertido) se observan tanto la concentración máxima como la mínima reportada en el periodo de estudio: en octubre la concentración máxima fue 18 µg/L, y en julio la concentración mínima fue 2,5 µg/L.

Ninguna de las determinaciones reportadas supera el estándar establecido en la normativa de aplicación (37 µg/L según el Digesto sobre usos y aprovechamiento del río Uruguay, Uso 4). En la figura 109 se representa este límite normativo mediante una línea roja.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas respecto a las concentraciones del metal zinc entre las zonas de estudio (ANOVA, $p > 0,05$, Figura 110).

Valores de zinc (µg/L).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	9,7	3,4	4,9	7,7
U2	3,4	3,5	3	7,9
U3	3,4	4,9	3,9	17
U4	3,1	3,2	5,2	9
U5	2,8	3,9	2,5	18
U6	2,9	3,3	3,6	9,5

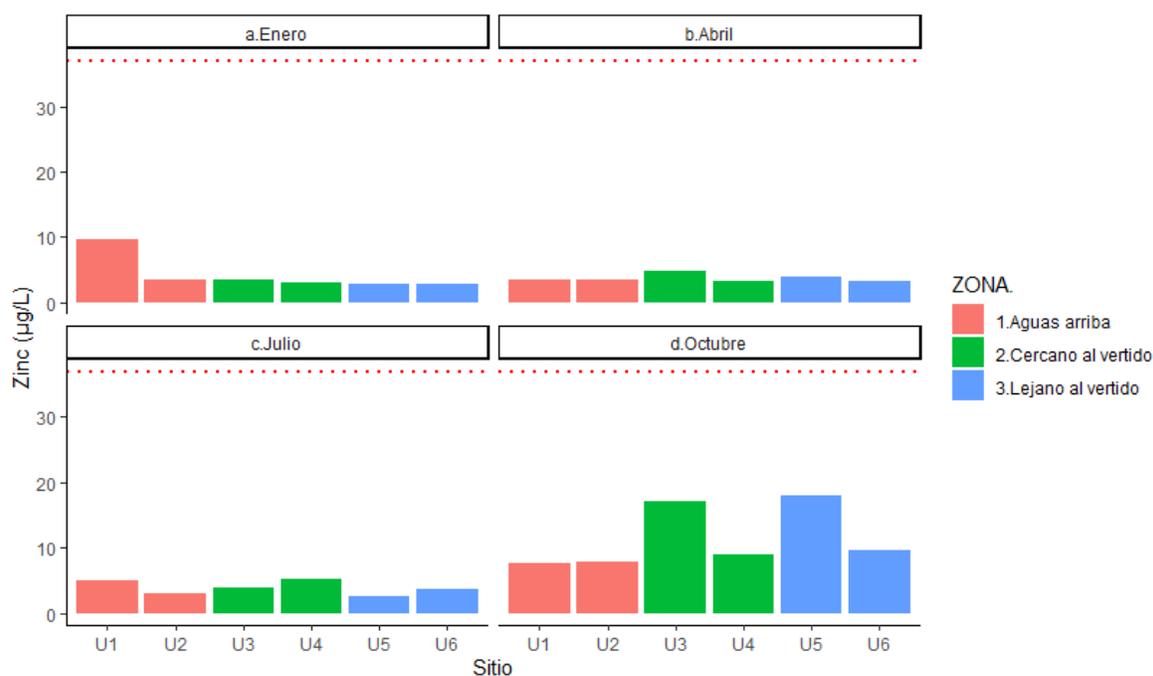


Figura 109: Variación espacial y temporal de zinc.

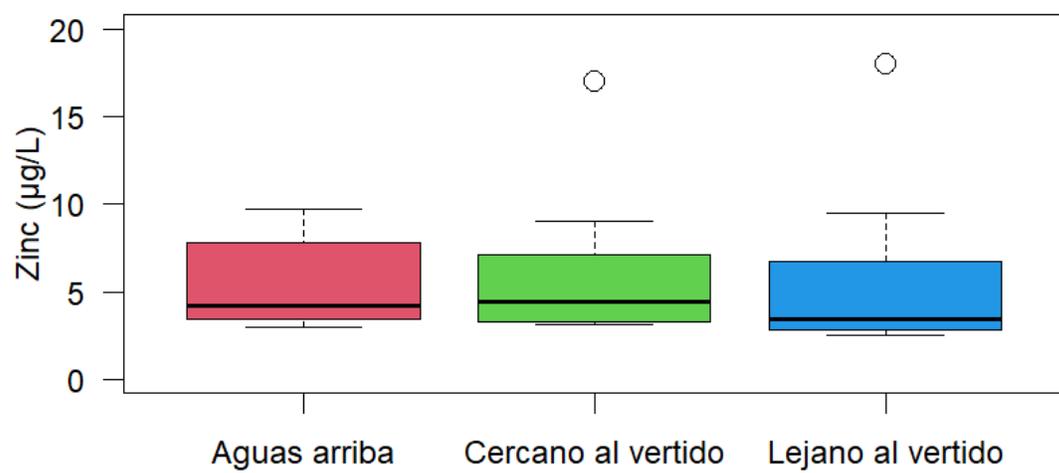


Figura 110: Variación espacial de zinc.

3.2.2. Parámetros con baja frecuencia de detección

Klebsiella sp.

En julio se detectó una concentración de 110 UFC/100 mL de *Klebsiella sp.* en U4 (Cercano al vertido).

Mes	Enero	Abril	Julio	Octubre
Sitio				
U1	s/d	<100	<100	<100
U2	s/d	<100	<100	<100
U3	s/d	<100	<100	<100
U4	s/d	<100	110	<100
U5	s/d	<100	<100	<100
U6	s/d	<100	<100	<100

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:

Bromuro	Total de HpCDD	Total de OCDF
Cloratos	Total de HpCDF	Total de PeCDD
Fenoles	Total de HxCDD	Total de PeCDF
Selenio	Total de HxCDF	Total de TCDD
Teluro	Total de OCDD	Total de TCDF

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 zona del faltante, procediendo a imputar al faltante el otro resultado disponible (AOX para el sitio U3 en el mes de enero).

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 Aguas arriba, Cercana al vertido y Lejana al vertido, 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.

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

diferente de la que presentan las otras instancias de monitoreo (octubre y enero). El monitoreo realizado en enero resulta caracterizado por una combinación de valores mayores en parámetros como temperatura, turbidez, manganeso, cobre, cobalto y plomo, entre otros. En el caso del monitoreo realizado en octubre, los eventos quedan caracterizados por una combinación de valores más elevados en metales (estroncio, calcio, vanadio, zinc, bario), DBO₅, dureza y alcalinidad. Las instancias realizadas en abril y julio son caracterizadas por valores más elevados en las concentraciones de titanio, silicio, oxígeno disuelto y fluoruro.

A partir de las pruebas de PERMANOVA incluyendo todas las variables analizadas se constató que existen diferencias estadísticamente significativas entre las cuatro 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 todas las instancias de monitoreo ($p<0,05$).

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 ese 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 seleccionaron aquellas variables que presentaran una calidad de representación (\cos^2) superior a 0,7 en el ámbito definido por las dos primeras componentes principales, resultando en un total de 23 variables: conductividad, pH, bario, alcalinidad, fósforo total, sodio, estroncio, arsénico, litio, magnesio, clorofila, carbono orgánico total, dureza, oxígeno disuelto, manganeso, calcio, cloruro, silicio, turbidez, DQO, temperatura, titanio y zinc.

El resultado de este análisis es presentado en la Figura 112, donde la primera componente explica el 48,72% de la varianza total, mientras que la segunda componente explica un 40,08% de esta varianza; por lo que esta combinación de parámetros integra una

explicación del 88,8% de la varianza total del análisis. Para esta agrupación de parámetros las variables de mayor representación en la primera componente resultaron conductividad, magnesio, sodio, alcalinidad y dureza total; mientras que, para la segunda componente, las variables más representativas resultaron fósforo total, arsénico, clorofila, carbono orgánico total y DQO.

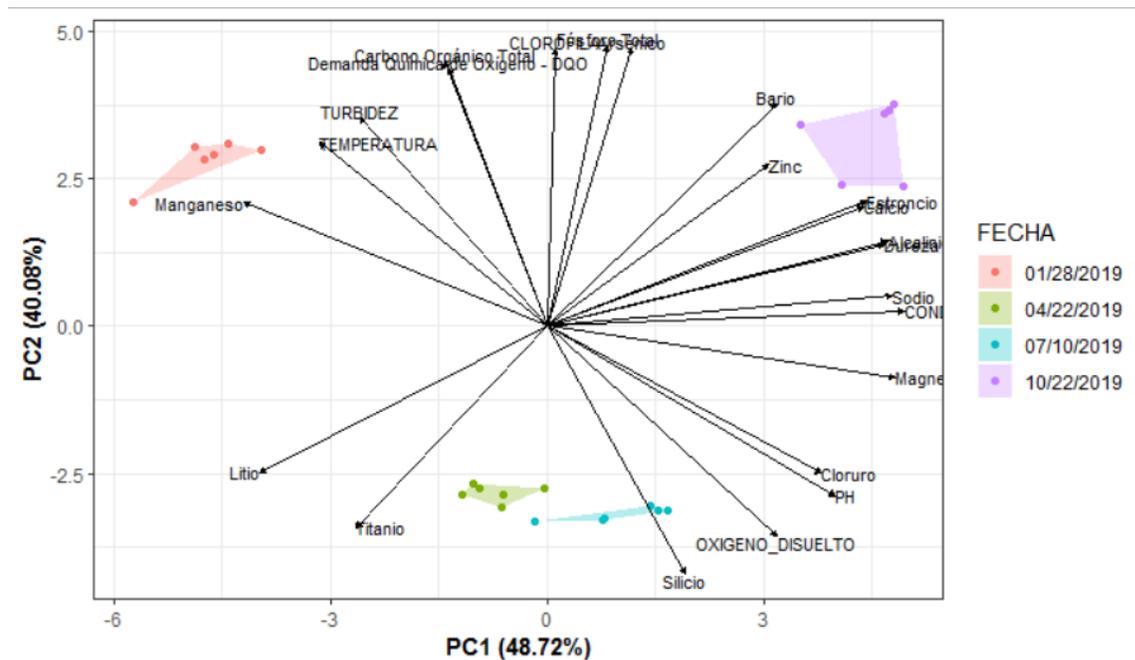


Figura 112: Análisis de componentes principales para un subconjunto de parámetros que maximiza la varianza explicada.

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 todas las áreas convex-hull resultaron menores. La caracterización de los grupos también resulta en diferencias significativas entre todas las instancias de monitoreo, donde se mantienen valores relativamente elevados en enero para los parámetros manganeso, temperatura y turbidez, en el mes de octubre prima la combinación de valores de metales (bario, estroncio, calcio y zinc), alcalinidad y dureza. Durante los meses de abril y julio se observa una predominancia en valores relativamente elevados principalmente para oxígeno disuelto y silicio.

Para esta combinación de variables las pruebas de PERMANOVA resultaron también en diferencias significativas entre las instancias de monitoreo, mientras que tampoco 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 todas las instancias de monitoreo ($p < 0,05$).

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 de los vertidos al río, 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 (Aguas arriba, Cercano al vertido y Lejano al vertido) independientemente de cómo hubieran resultado esas diferencias para cada parámetro. En consecuencia, se seleccionaron un total de 15 variables que incluyen AOX, arsénico, azufre, boro, calcio, carbono orgánico disuelto, cloruro, conductividad, DBO₅, dureza total, estroncio, potasio, silicio, sodio y sulfato.

En la Figura 113 se presenta el ACP resultante, en el que la primera componente explica el 51,83% de la varianza total, mientras que la segunda componente explica un 19,84% de esta varianza; por lo que esta combinación de parámetros integra una explicación del 71,67% de la varianza total del análisis. Para esta agrupación de parámetros, los valores Eigen más altos en la primera componente fueron observados para los parámetros sodio, conductividad, dureza, estroncio y azufre; mientras que para la segunda componente resultaron mayores para los parámetros carbono orgánico total, silicio, DBO₅, cloruro y calcio.

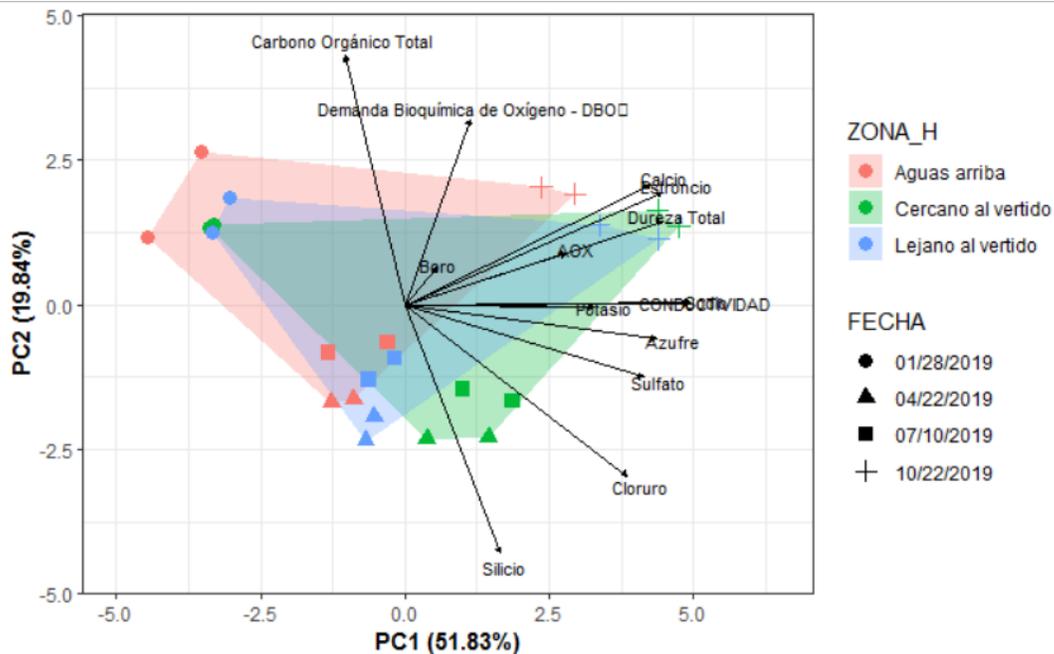


Figura 113: Análisis de componentes principales para el subconjunto de parámetros que mostraron una estructuración espacial en la zona de estudio.

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 también un patrón que se repite durante todo el periodo de estudio, siendo que para esta combinación de variables tiende a diferenciarse la zona Aguas arriba de las zonas Cercano y Lejano al vertido. No obstante, la 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. Para este escenario, las variables con calidad de representación alta ($>0,7$) resultaron sodio, estroncio, conductividad, cloruro, arsénico, calcio, dureza total, azufre, sulfato y silicio.

Para esta combinación de variables las pruebas de PERMANOVA resultaron 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 resultan en que, para esta combinación de variables, existen diferencias significativas entre todas las instancias de monitoreo ($p<0,05$).

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 calculadas a partir de las concentraciones determinadas y el caudal estimado para cada instancia de monitoreo.

En la Figura 114 se presenta el ACP, en el que la primera componente explica el 76,47% de la varianza total, mientras que la segunda componente explica un 7,58% de esta varianza; por lo que esta combinación de parámetros integra una explicación del 84,05% de la varianza total del análisis.

Se observa en la figura una agrupación mayoritaria de los parámetros incluidos en el análisis, donde entre las variables más explicativas de la primera componente principal se encuentran pH, bario, estroncio, potasio y silicio. En este análisis se observa una diferenciación más amplia de las variables registradas en el mes de enero con respecto a las restantes observaciones, aunque en este caso, la segunda componente principal del análisis resalta también la ocurrencia de una situación particular en los muestreos de enero y julio en el sitio U1 (Aguas arriba del vertido) para los factores que mejor explican la varianza de esa componente con concentraciones mayores de níquel, molibdeno y cromo total.

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 de Adonis a esta combinación de variables, existen diferencias significativas entre todas las instancias de monitoreo ($p < 0,05$).

3.4. MONITOREO CONTINUO CON BOYA PERFILADORA

3.4.1. Sobre la boya instalada

Durante el año 2019, en el marco de las actividades del programa de monitoreo del río Uruguay en la zona de potencial influencia de la planta Orión, se instaló el equipo autónomo perfilador vertical de calidad de agua compuesto por una boya y una sonda multiparamétrica. Este equipo había sido adquirido por CARU a finales del 2011 pero su instalación se había visto diferida por discrepancias entre las delegaciones de ambos países respecto de la ubicación que habría de tener en el río, asunto que quedó zanjado a partir de una decisión expresa de la Comisión en oportunidad de la reformulación del programa de monitoreo que aquí se informa.

Teniendo en cuenta las restricciones definidas por el Departamento de Navegación de CARU a fin de evitar la obstaculización de la circulación en la zona, se instaló la boya perfiladora en un sitio distante 1,5 km de la traza del emisario de la descarga de efluentes de la planta Orión, en siguiente ubicación (coordenadas expresadas en el sistema WGS84 proyección cartográfica UTM 21 H, Figura 1):

Posición teórica de la boya perfiladora.

Sitio	Coordenada E	Coordenada S
Boya	0381474	6335949

Nota: La boya quedó fondeada a aproximadamente 20 m de las coordenadas teóricas propuestas en el documento de formulación del programa (0381459 E; 6335964 S).

La profundidad en la ubicación del fondeo es de 9,4 m para la condición de nivel del río respecto al cero local. La profundidad media en el sitio es entonces de 11,0 m.

Para el fondeo de la boya se contó con el apoyo de la Armada Argentina. El arreglo de fondeo consistió en un muerto típico de anclaje para boyas de navegación, complementado con dos cabos desde los laterales de la boya en los extremos de los cuales se colocaron en uno un ancla tipo Almirantazgo y en el otro un ancla tipo Danforth, de modo de intentar minimizar los movimientos de la boya respecto de su posición inicial y para prevenir enredos entre los elementos de amarre y el cable que utiliza el sistema automático para descender e izar la sonda en la vertical.

La sonda multiparamétrica empleada es una YSI 6600, 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, turbidez y clorofila. 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.

El equipo quedó instalado el 5 de abril de 2019 y en esa oportunidad se lo programó de acuerdo con una configuración inicial determinada, tomando registros en la vertical de los parámetros mencionados con perfiles cada 60 minutos (frecuencia máxima que el sistema permite). El equipo habilita distintas configuraciones en el paso vertical con el que realiza el perfil, dependiendo incluso de si la detección del fondo es automática o predefinida por el usuario, y en el tiempo de espera entre perfiles.

Luego de una fase inicial de testeo y pruebas, que demandó varios meses, se determinó que la configuración más estable del sistema es aquella con una especificación fija, perfilando entre los 1,5 m y los 9,5 m de profundidad, tomando registros espaciados en la vertical aproximadamente cada 25 cm (esto puede variar en función de la corriente que exista en la zona en oportunidad de la medición) y realizando un perfil cada hora. Esta configuración es la que se implementó a partir del 1° de julio de 2019, fecha en la que se instaló en el sistema un modem GPRS que permite establecer configuraciones del sistema desde cualquier PC con acceso a internet.

La adquisición de los datos medidos se puede llevar a cabo de forma local o vía remota a través del software LoggerNet. Los datos adquiridos son almacenados dentro del datalogger interno del equipo (CR1000), y pueden ser descargados a PC través de dicho software. El controlador del equipo viene programado de fábrica con un tamaño de memoria para 1.000 registros de datos, capacidad que se agota casi en un día de perfilado en la configuración que se utiliza con frecuencia horaria, por lo que se reprogramó el software controlador para ampliar tal capacidad a 4 días de memoria, y además para evitar pérdidas de información se implementó un proceso de descarga automática de los datos medidos, los cuales quedan almacenados en la PC de CARU que aloja el software LoggerNet.

La precisión de las mediciones realizadas, según lo informado en el manual de operación y mantenimiento de la sonda YSI 6600, es la siguiente:

Precisión de los sensores instalados.

Sensor	Precisión de la medida	Rango de medición
Temperatura	+/- 0,15 °C	-5 a 50 °C
pH	+/- 0,2 unidades	0 a 14 unidades
Concentración de Oxígeno	+/- 0,1 mg/L o 1% de lectura	0 a 20 mg/L
% de saturación de Oxígeno	+/- 1 % o 1% de lectura	0 a 200%
Conductividad	+/- 0,5 % de lectura + 1µS/cm	0 a 100 mS/cm
Turbidez	+/-2% de lectura o 0,3 NTU	0 a 1000 NTU
Clorofila	No provista.	Aprox. de 0 a 400 µg/L

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 las validaciones.

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
Clorofila	Variable según el estándar.	15% de apartamiento (µg/L)

Corresponde acotar que este equipo ha sido concebido por sus fabricantes para operar fundamentalmente en lagos y bahías, en condiciones hidrodinámicas menos exigentes que las que existen en el río Uruguay. Por ello los incidentes y las interrupciones en la medición no han resultado infrecuentes particularmente al inicio de la actividad (por ejemplo, atascos del cable de la sonda o inconsistencias entre las distintas señales que recibe el equipo), lo que requería necesariamente la intervención manual con acceso al equipo para proceder con maniobras vía comandos pues no todas las tareas se pueden llevar a cabo de forma remota. En función de esto se ha dispuesto una rutina diaria de chequeo vía remota del buen funcionamiento del equipo y una visita al sitio con frecuencia aproximadamente semanal, a fin de verificar in situ que no existan problemas con el sistema de desplazamiento de la sonda.

La boya se mantuvo operativa entonces, con las interrupciones en la medida propias de las actividades de mantenimiento periódicas que se le aplicaban y algunas otras dificultades que se tuvo con la electrónica de los sensores ópticos por temas de montaje en el equipo, hasta fines de septiembre de 2019, cuando se sufrió un acto de vandalismo en la sonda multiparamétrica.

En efecto, el 30 de septiembre de 2019 se pudo constatar que la sonda instalada en la boya había sido manipulada, encontrándola sin el vaso protector, sin los sensores de clorofila, turbidez, ni oxígeno disuelto y con el sensor de pH quebrado. Esto obligó a interrumpir la adquisición de los datos (el último dato válido se determinó que había

sido tomado el 21 de septiembre) hasta encontrar una solución al problema de los frecuentes actos vandálicos que otros dispositivos de CARU ubicados en las inmediaciones ya habían también experimentado en marco de anteriores actividades de monitoreo. La solución que permitió retomar la operativa de registro de datos de calidad de agua, que se demoró en parte por las restricciones derivadas de la epidemia de covid-19, se alcanzó recién en septiembre de 2020, cuando quedó instalado un sistema de seguridad que reporta alarmas ante intrusiones.

3.4.2. Resultados obtenidos

Para el período comprendido entre el 02/07/2019 y el 21/09/2019, luego del correspondiente proceso de validación de datos a partir de las verificaciones positivas de cada uno de los sensores empleados, se obtuvo entonces un conjunto de 350 perfiles medidos que se muestran a continuación (Figura 115).

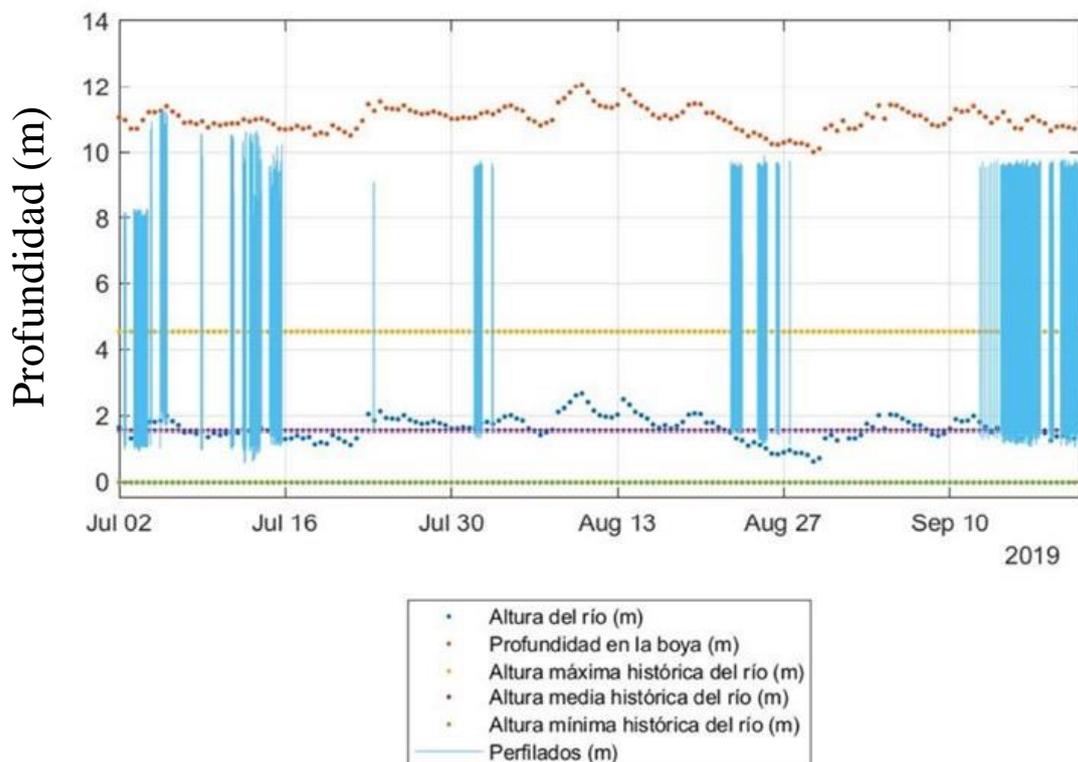


Figura 115: Perfiles medidos.

A los fines de una caracterización estadística básica, se presentan los datos obtenidos separados en estratos cada metro de profundidad, según sea el punto en el perfil donde se ha realizado la medida. Nótese que para un estrato (o cota respecto al fondo) definido la cantidad de registros en cada parámetro depende de la disponibilidad de datos válidos

del sensor, y que la cantidad de registros en cada estrato varía también reflejando fundamentalmente la variabilidad del nivel de río.

Estadística descriptiva de temperatura.

Profundidad (m)	Media (°C)	Error típico (°C)	Mediana (°C)	Moda (°C)	Desviación estándar (°C)	Varianza (°C)	Curtosis	Coef. de asimetría	Rango (°C)	Mínimo (°C)	Máximo (°C)	n
De 0 a 1	13,99	0,05	13,81	13,7	0,76	0,57	4,79	2,26	3,44	13,17	16,61	192
De 1 a 2	15,08	0,04	15,52	13,8	1,16	1,34	-1,75	-0,15	3,45	13,16	16,61	1032
De 2 a 3	15,06	0,03	15,33	16,1	1,11	1,24	-1,7	-0,08	3,46	13,16	16,62	1283
De 3 a 4	15,03	0,03	14,77	16,3	1,09	1,2	-1,65	0,01	3,47	13,16	16,63	1378
De 4 a 5	15,04	0,03	14,81	13,8	1,1	1,2	-1,64	0,01	3,55	13,16	16,71	1400
De 5 a 6	15,04	0,03	14,77	14,1	1,1	1,22	-1,63	0,03	3,72	13,16	16,88	1365
De 6 a 7	15,08	0,03	14,96	16,3	1,11	1,23	-1,62	-0,01	3,93	13,16	17,09	1369
De 7 a 8	15,07	0,03	14,85	13,6	1,12	1,26	-1,61	0,04	4,11	13,16	17,27	1333
De 8 a 9	15,1	0,03	14,98	13,8	1,13	1,28	-1,56	0,02	4,18	13,16	17,34	1351
De 9 a 10	15,18	0,04	15,13	14,1	1,08	1,18	-1,38	-0,07	4,24	13,16	17,4	895
De 10 a 11	14,67	0,14	14,71	14,8	0,64	0,41	1	0,95	2,57	13,75	16,32	22

Estadística descriptiva de conductividad.

Profundidad (m)	Media ($\mu\text{S/cm}$)	Error típico ($\mu\text{S/cm}$)	Mediana ($\mu\text{S/cm}$)	Moda ($\mu\text{S/cm}$)	Desviación estándar ($\mu\text{S/cm}$)	Varianza ($\mu\text{S/cm}$)	Curtosis	Coef. de asimetría	Rango ($\mu\text{S/cm}$)	Mínimo ($\mu\text{S/cm}$)	Máximo ($\mu\text{S/cm}$)	n
De 0 a 1	77	0	76	73	5	22	1	1	24	68	92	254
De 1 a 2	78	0	77	76	5	21	2	1	30	68	98	713
De 2 a 3	78	0	77	76	4	19	2	1	26	69	95	876
De 3 a 4	78	0	77	76	4	16	2	1	27	68	95	984
De 4 a 5	77	0	77	78	4	15	3	1	28	68	96	1006
De 5 a 6	77	0	77	78	4	13	3	1	27	68	95	1005
De 6 a 7	77	0	77	76	3	12	3	1	27	68	95	995
De 7 a 8	77	0	77	75	3	12	3	1	26	68	94	972
De 8 a 9	77	0	76	75	4	13	3	1	26	68	94	971
De 9 a 10	77	0	77	75	3	12	3	1	26	68	94	674
De 10 a 11	77	0	76	75	2	6	-1	0	8	73	81	35

Estadística descriptiva de pH.

Profundidad (m)	Media	Error típico	Mediana	Moda	Desy. estándar	Varianza	Curtosis	Coef. de asimetría	Rango	Mínimo	Máximo	n
De 0 a 1	7,4	0,01	7,5	7,56	0,21	0,05	0,71	-1,28	1,14	6,55	7,69	256
De 1 a 2	7,16	0,01	7,11	7,52	0,28	0,08	-0,63	-0,13	1,44	6,23	7,67	1201
De 2 a 3	7,17	0,01	7,15	7,51	0,3	0,09	-0,81	-0,23	1,74	6,23	7,97	1527
De 3 a 4	7,18	0,01	7,17	7,51	0,31	0,1	-0,16	-0,33	2,38	5,66	8,04	1633
De 4 a 5	7,16	0,01	7,18	7,51	0,35	0,12	0,17	-0,61	2,53	5,64	8,17	1661
De 5 a 6	7,1	0,01	7,17	7,49	0,42	0,17	-0,9	-0,35	2,48	5,78	8,26	1626
De 6 a 7	7,06	0,01	7,12	7,48	0,42	0,18	-0,95	-0,13	2,56	5,95	8,51	1626
De 7 a 8	7,07	0,01	7,12	7,49	0,4	0,16	-1,01	-0,2	2,3	5,92	8,22	1581
De 8 a 9	7,07	0,01	7,12	7,5	0,39	0,15	-0,58	-0,03	2,62	5,92	8,54	1599
De 9 a 10	7,19	0,01	7,24	7,5	0,37	0,14	0,15	-0,31	3,09	5,45	8,54	1099
De 10 a 11	7,57	0,05	7,54	7,53	0,31	0,09	1,24	0,12	1,38	6,81	8,19	39

Estadística descriptiva de turbidez.

Profundidad (m)	Media (NTU)	Error típico (NTU)	Mediana (NTU)	Moda (NTU)	Desviación estándar (NTU)	Varianza (NTU)	Curtosis	Coef. de asimetría	Rango (NTU)	Mínimo (NTU)	Máximo (NTU)	n
De 0 a 1	19,9	0,3	20,1	15	4,6	21,6	-1,1	0,5	16,2	13,4	29,6	254
De 1 a 2	24,8	0,2	26,9	28,9	5,9	34,6	-0,8	-0,7	21,7	12,7	34,4	1176
De 2 a 3	24	0,2	26,1	27,7	6	36,5	-0,9	-0,6	23,3	12,7	36	1444
De 3 a 4	23,7	0,2	25,8	26,5	5,9	34,6	-0,9	-0,6	22,2	12,7	34,9	1457
De 4 a 5	23,5	0,2	25,8	26,5	5,8	33,8	-1	-0,6	22,2	12,7	34,9	1479
De 5 a 6	23,4	0,2	25,7	27,2	5,8	33,7	-1	-0,6	22,2	12,7	34,9	1447
De 6 a 7	23,4	0,2	25,7	26,5	5,9	34,2	-1	-0,6	22,2	12,7	34,9	1441
De 7 a 8	23,5	0,2	25,8	26,5	5,8	33,7	-1	-0,6	22,2	12,7	34,9	1397
De 8 a 9	23,6	0,2	25,9	28,8	5,9	34,4	-1	-0,6	22,2	12,7	34,9	1421
De 9 a 10	22,7	0,2	25,4	28,8	6,1	37,8	-1,4	-0,3	22,2	12,7	34,9	938
De 10 a 11	16,4	0,8	14,5	14,5	4,4	19,1	2,9	2	15,5	13,6	29,1	33

Estadística descriptiva de clorofila.

Profundidad (m)	Media (µg/L)	Error típico (µg/L)	Mediana (µg/L)	Moda (µg/L)	Desviación estándar (µg/L)	Varianza (µg/L)	Curtosis	Coef. de asimetría	Rango (µg/L)	Mínimo (µg/L)	Máximo (µg/L)	n
De 0 a 1	1,7	0,1	1,3	1	1,1	1,3	9,6	2,4	8,5	0	8,5	252
De 1 a 2	2,3	0,1	2,3	0,9	1,5	2,4	30,6	3,6	18,7	0	18,7	772
De 2 a 3	2,1	0,1	2,1	0,9	1,6	2,5	72,2	5,8	24,3	0	24,3	943
De 3 a 4	2,1	0	2,2	1	1,1	1,1	-1	0,2	5,1	0	5,1	962
De 4 a 5	2,1	0	2,1	1	1,1	1,2	0,3	0,5	8,7	0	8,7	978
De 5 a 6	2,1	0	2	1,1	1,4	2,1	100,9	6,4	27,3	0	27,3	968
De 6 a 7	2,1	0	2,2	1,1	1,1	1,2	-1	0,3	5,1	0	5,1	954
De 7 a 8	2,1	0	2,2	1,1	1,1	1,2	-1	0,3	5,1	0	5,1	921
De 8 a 9	2,1	0	2,2	1,1	1,1	1,2	-1	0,2	5,1	0	5,1	924
De 9 a 10	1,9	0	1,5	1,1	1,1	1,1	-0,8	0,5	5,1	0	5,1	612
De 10 a 11	0,9	0	0,9	0,9	0,2	0,1	4,7	-0,8	1,3	0,1	1,4	29

Estadística descriptiva de oxígeno disuelto.

Profundidad (m)	Media (mg/L)	Error típico (mg/L)	Mediana (mg/L)	Moda (mg/L)	Desviación estándar (mg/L)	Varianza (mg/L)	Curtosis	Coef. de asimetría	Rango (mg/L)	Mínimo (mg/L)	Máximo (mg/L)	n
De 0 a 1	9,68	0,02	9,74	9,63	0,29	0,09	12,41	-3,41	1,91	8,07	9,98	256
De 1 a 2	9,03	0,02	8,77	9,75	0,7	0,49	-1,72	-0,03	2,07	8,01	10,08	1015
De 2 a 3	9,06	0,02	8,78	9,79	0,7	0,5	-1,73	-0,03	2,06	8,02	10,08	1211
De 3 a 4	9,08	0,02	8,79	9,79	0,69	0,48	-1,75	-0,03	2,01	8,06	10,07	1225
De 4 a 5	9,09	0,02	8,79	9,81	0,69	0,48	-1,76	-0,05	1,95	8,09	10,04	1257
De 5 a 6	9,11	0,02	8,86	9,79	0,69	0,48	-1,76	-0,09	1,94	8,09	10,03	1238
De 6 a 7	9,08	0,02	8,76	9,83	0,7	0,49	-1,77	-0,02	1,94	8,09	10,03	1240
De 7 a 8	9,09	0,02	8,81	9,83	0,7	0,49	-1,77	-0,04	1,94	8,09	10,03	1191
De 8 a 9	9,07	0,02	8,74	9,81	0,7	0,49	-1,78	0	1,94	8,09	10,03	1211
De 9 a 10	9,05	0,02	8,73	9,73	0,7	0,49	-1,79	0,03	1,94	8,09	10,03	825
De 10 a 11	9,57	0,08	9,72	9,73	0,44	0,19	4,12	-2,41	1,48	8,37	9,85	33

3.4.3. Cumplimiento normativo

De acuerdo con lo establecido en el Digesto CARU vigente a la fecha de la toma de datos, Tema E3, Título 2. Capítulo 4: Clasificación de las aguas y estándares de calidad de aguas. Sección 2. Estándares de calidad de aguas. Art.1º) Uso 4. BÁSICO, los siguientes parámetros medidos contaban con estándares de calidad de las aguas:

Estándares normativos de aplicación.

Parámetro	Estándar
Oxígeno disuelto	5,6 mg/L
pH	entre 6,5 y 9,0.
Temperatura	Se deben mantener las condiciones naturales.

Para el caso del oxígeno no se han registrado determinaciones por debajo del estándar en ningún punto de todos los perfiles medidos (Figura 117).

Respecto del pH, se realizaron 898 determinaciones en puntos distribuidos en los perfiles medidos con valores entre 5,45 y 6,5 sobre un total de 11.658 determinaciones, resultando ello en incumplimiento para el 7,7% de las determinaciones realizadas durante el periodo antes detallado. En la Figura 118 se puede observar cómo se distribuyen temporalmente los perfiles que incluyeron valores de pH por debajo del límite establecido.

En cuanto a temperatura, los valores registrados en todos los perfiles medidos están contenidos en los rangos históricos registrados por el Comité Científico en anteriores programas de monitoreo en la zona. Sin perjuicio de ello, la evaluación de cumplimiento del requisito normativo no resulta posible para este caso sin la definición de un patrón de referencia en la propia norma que se pueda utilizar como baremo. Por tanto, para la evaluación de cumplimiento de la norma en el parámetro temperatura se remite a lo reportado en el apartado 3.2.1. del presente informe (Figura 119).

Complementariamente, se muestran a continuación los perfiles para otros dos parámetros, conductividad y turbidez, los cuales también fueron medidos, pero que para el periodo reportado no contaban con estándares de calidad (Figuras 116 y 120).

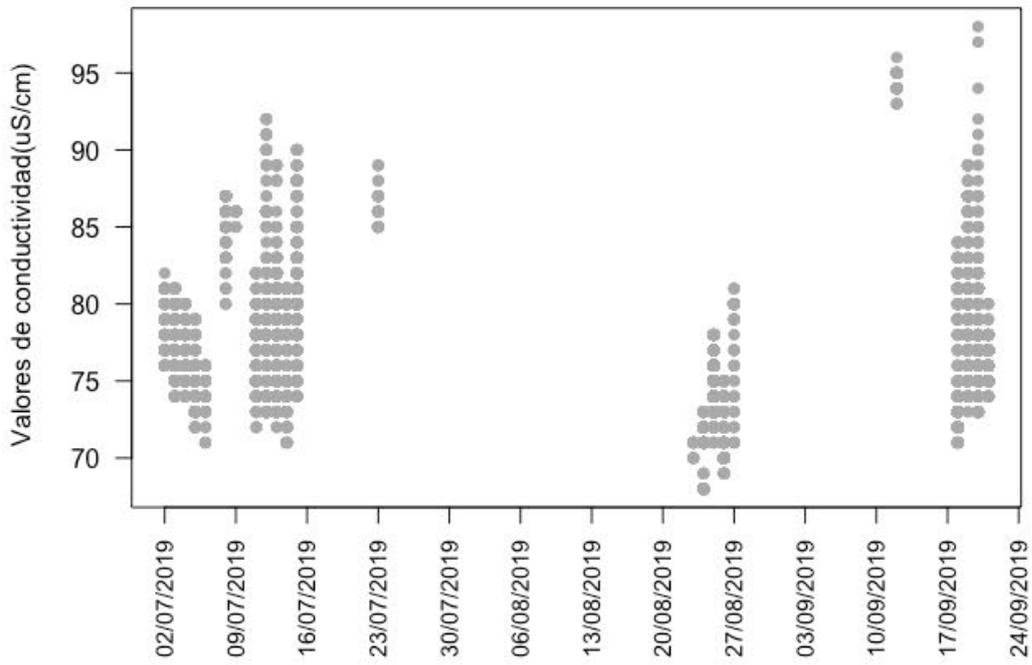


Figura 116: Valores de conductividad.

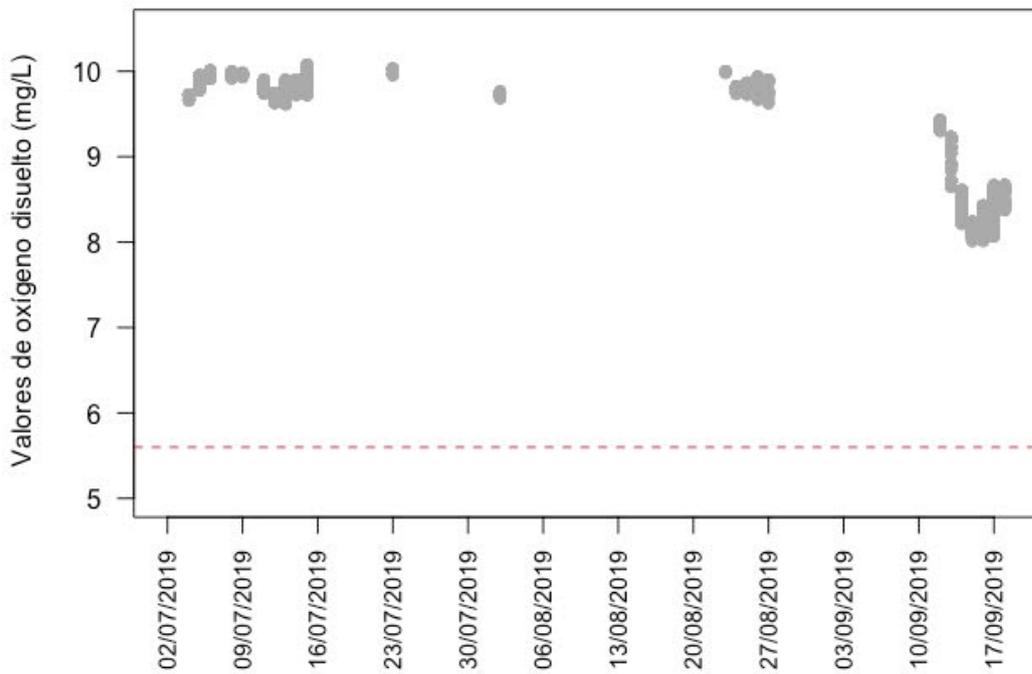


Figura 117: Valores de oxígeno disuelto.

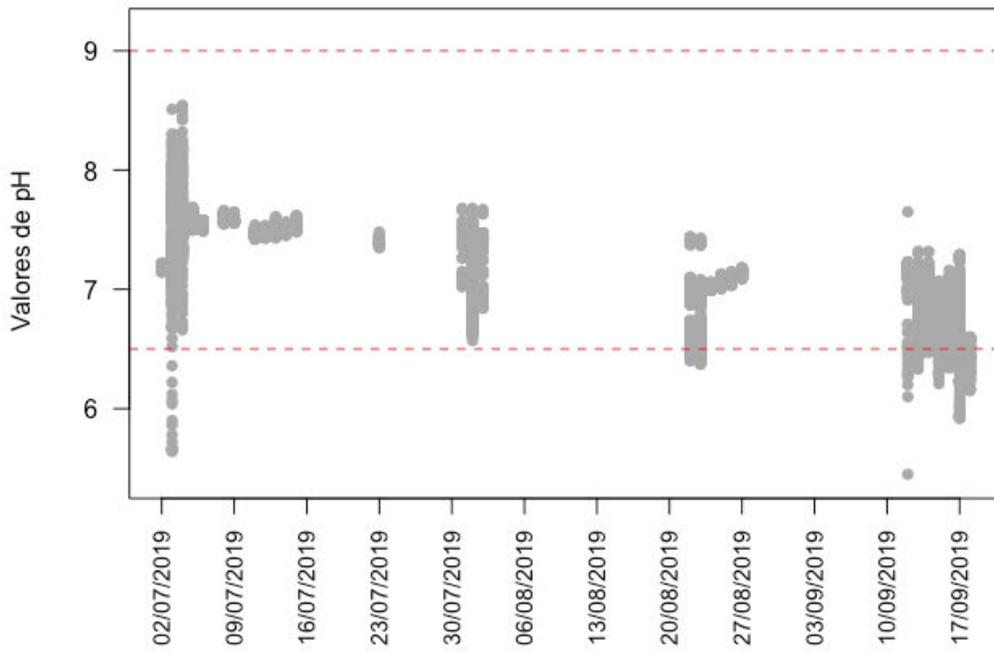


Figura 118: Valores pH.

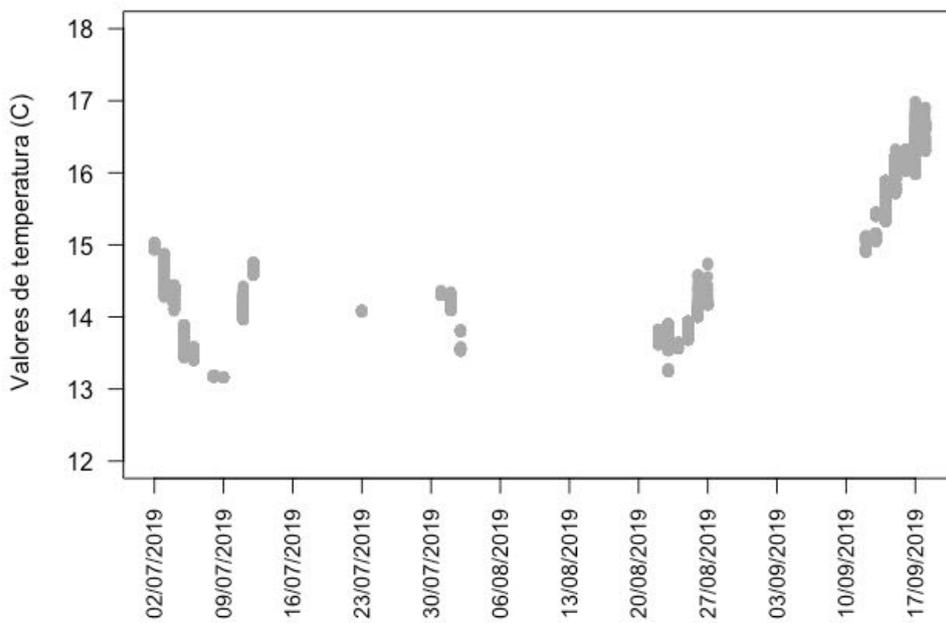


Figura 119: Valores de temperatura.

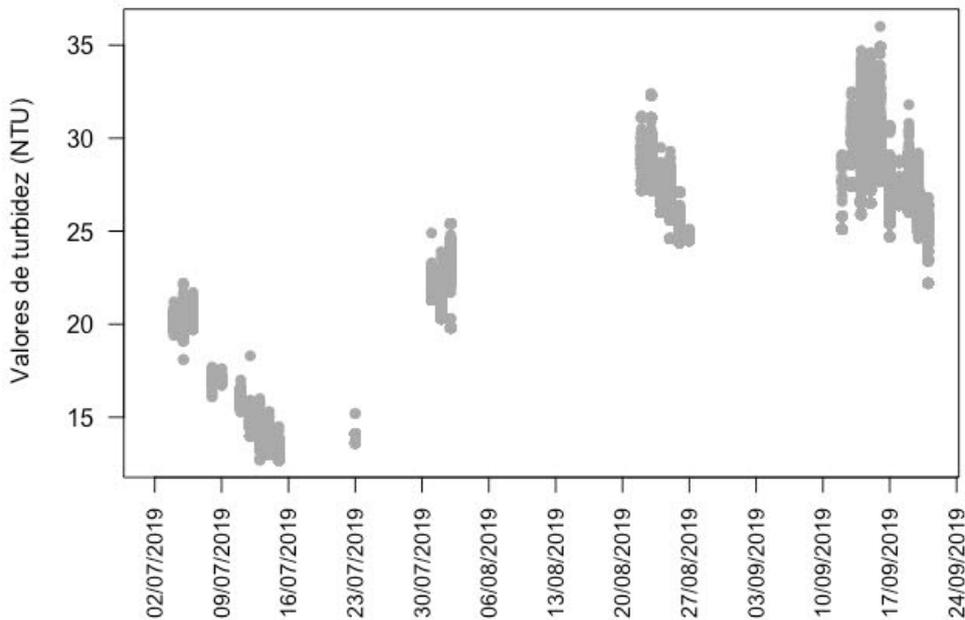


Figura 120: Valores de turbidez.

3.4.4. Análisis de los perfiles medidos

Un perfil es la serie de mediciones continuas realizadas en la masa de agua en una vertical, desde la superficie hasta el fondo en intervalos espaciales predefinidos, de todas las variables objeto de interés y que se realiza aproximadamente cada hora.

Con el fin de evaluar si existe una variación significativa en la vertical de los valores registrados para los parámetros conductividad, temperatura, pH, oxígeno disuelto y turbidez, y para analizar si existe un efecto apreciable de la condición de nivel del río al momento del registro de los datos sobre esa variabilidad vertical, se aplicaron modelos lineales mixtos factoriales. Para ello se utilizó cada dato medido como una réplica anidada dentro del perfil en el cual fue registrado.

A los efectos de este análisis, la variable altura del nivel del río fue categorizada en tres rangos según los valores registrados en la estación Fray Bentos durante el periodo de estudio; estos niveles fueron: “bajo”, cuando la altura registrada fue inferior a los 1,2 m; “medio”, cuando la altura registrada fue de entre 1,2 y 1,61 m; y “alto”, cuando la altura registrada fue superior a 1,61 m de altura.

El modelo factorial empleado también analizó si existe una interacción entre los factores “cota respecto al fondo” y “altura del río” en el valor de los parámetros medidos; es decir si la relación entre el valor de cada parámetro y la cota respecto al fondo a la que fue realizada cada medida depende de la condición de nivel en la que se encuentre el río al momento del registro de los datos.

A continuación, se muestran las figuras correspondientes a los análisis realizados, mostrando la variación en profundidad de cada parámetro normalizado, discriminando entre los registros obtenidos en condición de nivel del río bajo, medio y alto según lo definido previamente. En cada figura se indica además -en líneas punteadas de color rojo- el rango de incertidumbre de las mediciones registradas según la precisión del sensor utilizado.

La normalización del valor de cada parámetro se realizó con el fin de estandarizar las medidas y para facilitar la comparación entre los diferentes perfiles. Para cada parámetro y cada perfil, la normalización se realiza dividiendo cada valor registrado entre el valor promedio en la vertical de ese parámetro en ese perfil. Con esta transformación, los resultados mostrados en las figuras siguientes deben interpretarse en relación al valor medio del perfil, siendo por ejemplo una variación de 0,05 unidades indicadora de un cambio del 5% en el valor medido con respecto al valor medio del perfil (centrado en el valor del eje $x=1$). Para el caso particular de la concentración de oxígeno disuelto, a los fines de independizar esos registros de la condición de temperatura del río, se trabaja con el porcentaje de saturación de oxígeno, y es esa variable la que se normaliza para su representación gráfica acorde a lo expuesto.

Conductividad

El modelo elaborado para el parámetro conductividad muestra que existe un leve incremento en el valor de conductividad medido desde la superficie hacia el fondo (modelo mixto factorial, $p<0,05$), que queda contenido dentro del rango de incertidumbre de las mediciones como se observa en la figura a continuación (Figura 121):

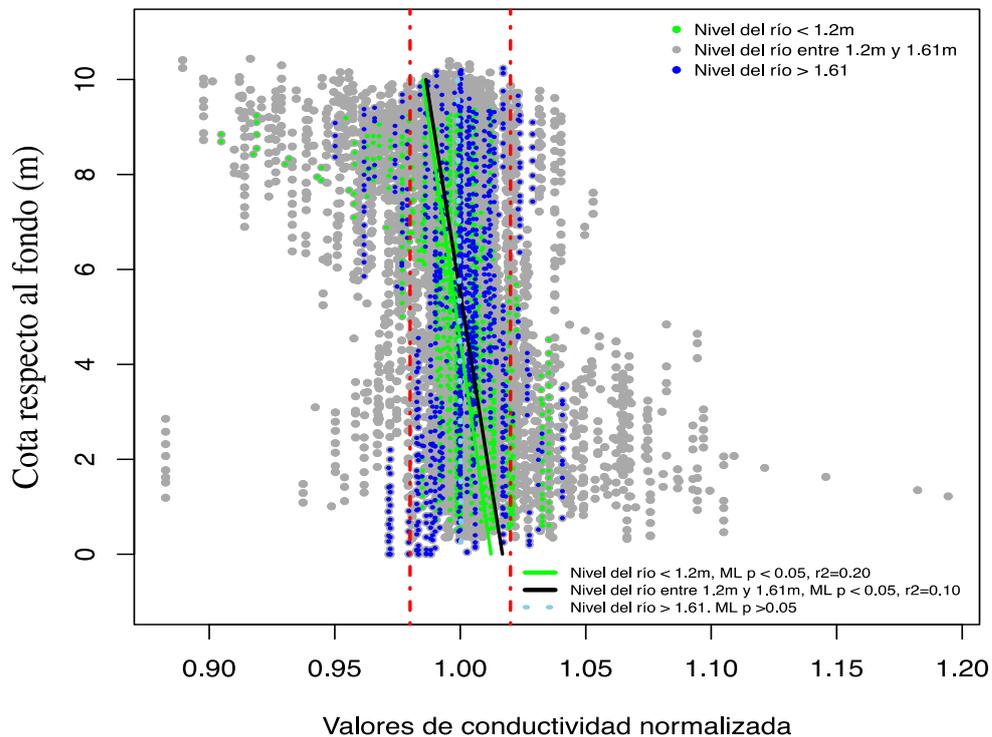


Figura 121: Valores normalizados de conductividad.

Esa variación en la vertical hallada para la conductividad depende adicionalmente de la condición de nivel del río, como lo indica la existencia de una interacción significativa ($p < 0,05$) entre los factores “cota respecto al fondo” y “altura del río” en el modelo empleado. No obstante, cuando el nivel del río supera los 1,61 m de altura no se detecta una relación significativa entre la conductividad y la cota respecto al fondo ($p > 0,05$), siendo para esa condición de nivel del río situaciones en las que no resulta apreciable una variación significativa de la conductividad en la vertical. Esto implica que hay una variación de los valores de conductividad en la columna de agua con niveles del río bajos y medios, siendo los valores cercanos al fondo mayores que los subsuperficiales.

Temperatura

El modelo elaborado en este caso muestra que existe un descenso de menos del 1% en el valor de temperatura medido desde la superficie hacia el fondo (modelo mixto factorial, $p < 0,05$), el cual queda comprendido dentro del rango de incertidumbre de las mediciones como se observa en la figura a continuación (Figura 122).

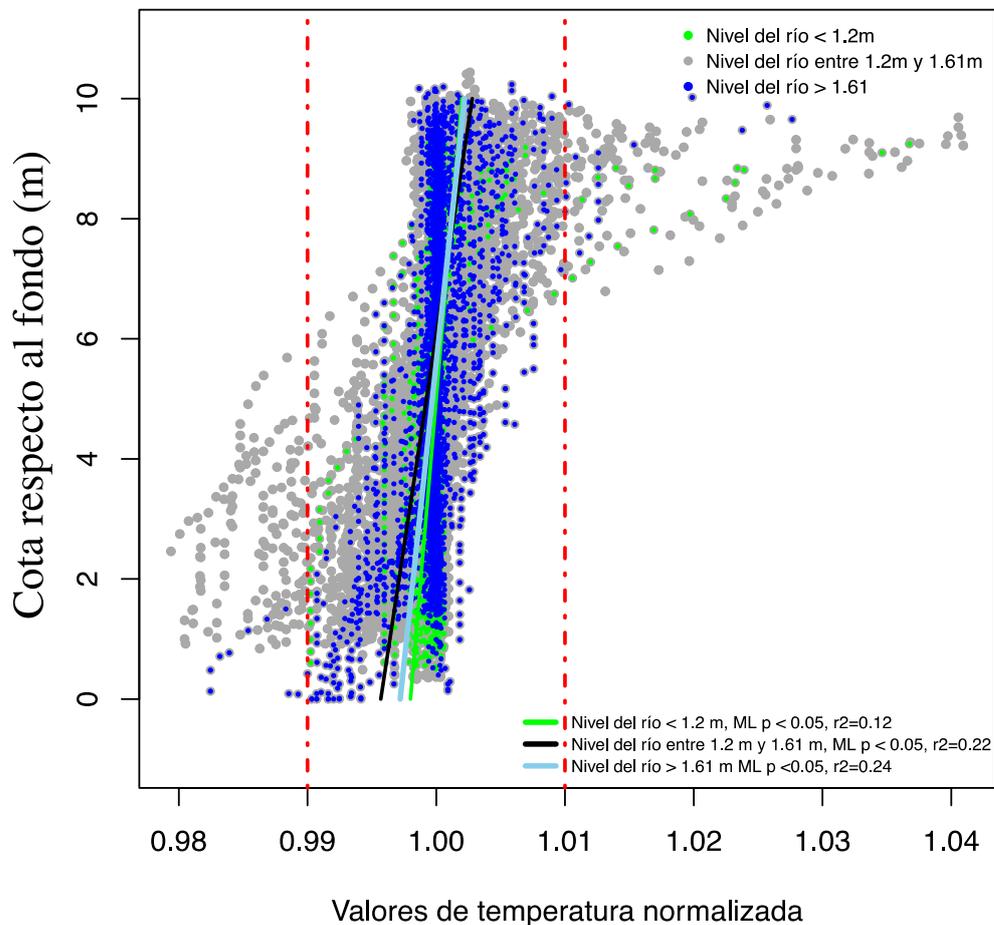


Figura 122: Valores normalizados de temperatura.

La magnitud de la disminución en la vertical de la temperatura depende, asimismo, de la condición de nivel del río, como lo indica la existencia de una interacción significativa ($p < 0,05$) entre los factores “cota respecto al fondo” y “altura del río” en el modelo empleado. En este sentido, cuando el nivel del río se encuentra entre los 1,2 m y los 1,61 m de altura es cuando la relación entre la temperatura y la cota respecto al fondo en la que se realizó la medida se hace más acentuada, como lo indica la mayor pendiente del modelo lineal resultante para esa condición.

Nótese que los perfiles de temperatura exhiben el característico comportamiento que ha sido ya medido por CARU en otras diversas instancias, con una tendencia de los estratos superiores a reflejar la condición de la temperatura atmosférica y con valores más fríos (por la inercia térmica que tiene el río) que se registran más próximo al fondo. Igualmente, el rango de porcentaje de variación respecto al valor promedio en la vertical se mantiene muy limitado, apenas superando un 5% entre los valores extremos. Esa

variación de la temperatura en la columna de agua resulta más evidente en condiciones de nivel del río intermedias.

pH

El modelo elaborado para este parámetro muestra que existe un leve aumento en el valor de pH medido desde superficie hacia el fondo (Modelo mixto factorial, $p < 0,05$), menor al 3% en unidades de pH, que queda comprendido dentro del rango de incertidumbre de las mediciones como se observa en la figura a continuación (Figura 123):

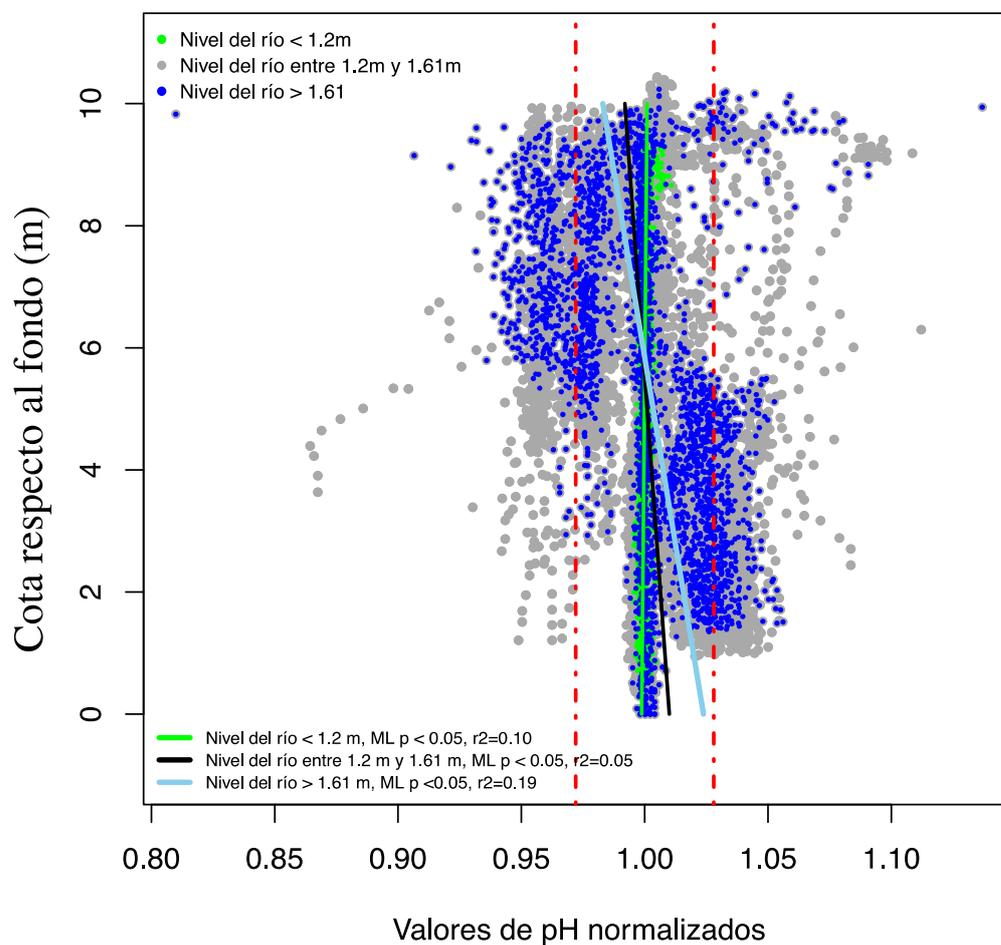


Figura 123: Valores normalizados de pH.

La magnitud de la variación en la vertical en pH depende asimismo de la condición de nivel del río en la que se midió cada perfil, como lo indica la existencia de una interacción significativa ($p < 0,05$) entre los factores “cota respecto al fondo” y “altura del río” en el modelo empleado. En este sentido, cuando el río se encuentra por sobre los 1,2 m de altura es cuando la relación entre el pH medido y la cota respecto al fondo a la cual se

realizó la medida se hace más acentuada, como lo indica la mayor pendiente del modelo lineal resultante para esa condición. Existe una variación medida de pH en la columna de agua que resulta más evidente en condiciones intermedias del nivel del río.

Oxígeno disuelto

El modelo elaborado para el parámetro oxígeno disuelto muestra que existe un muy leve descenso en el valor de oxígeno disuelto medido desde la superficie hacia el fondo (modelo mixto factorial, $p < 0,05$), de menos de un 1 % de magnitud y que por ello queda comprendido dentro del rango de incertidumbre de las mediciones, como se observa en la figura a continuación (Figura 124):

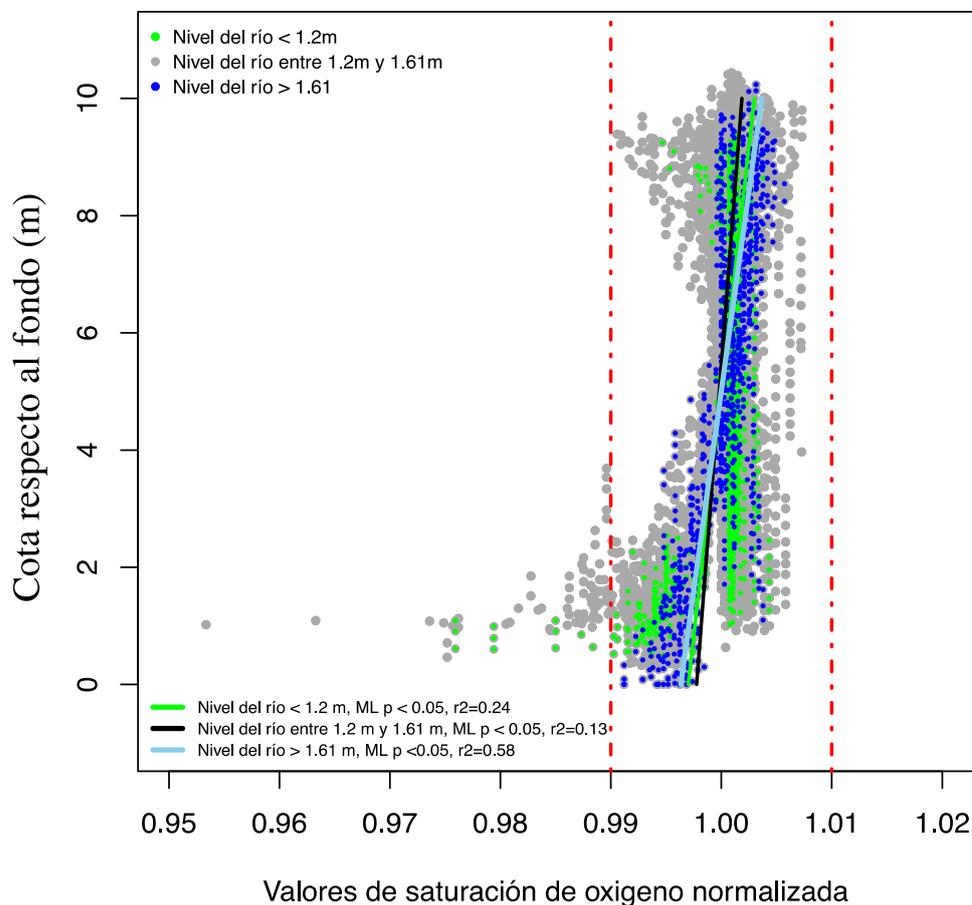


Figura 124: Valores normalizados de saturación de oxígeno.

La magnitud de la variación en la vertical del oxígeno disuelto depende de la condición de nivel del río, como lo indica la existencia en el modelo empleado de una interacción significativa ($p < 0,05$) entre los factores “cota respecto al fondo” y “altura del río”.

Cuando la altura del nivel del río se encuentra por sobre los 1,61 m es cuando la relación entre el oxígeno disuelto medido y la cota respecto al fondo se hace más acentuada (mayor pendiente del modelo lineal resultante). Nótese nuevamente en este caso el muy limitado rango del porcentaje de variación respecto del valor promedio en la vertical, que excepcionalmente alcanza el 5% entre los valores extremos.

Turbidez

El modelo elaborado para este parámetro muestra que existe un incremento de aproximadamente un 5 % en el valor de turbidez medido desde superficie hacia el fondo (modelo mixto factorial, $p < 0,05$), como se observa en la figura a continuación (Figura 125):

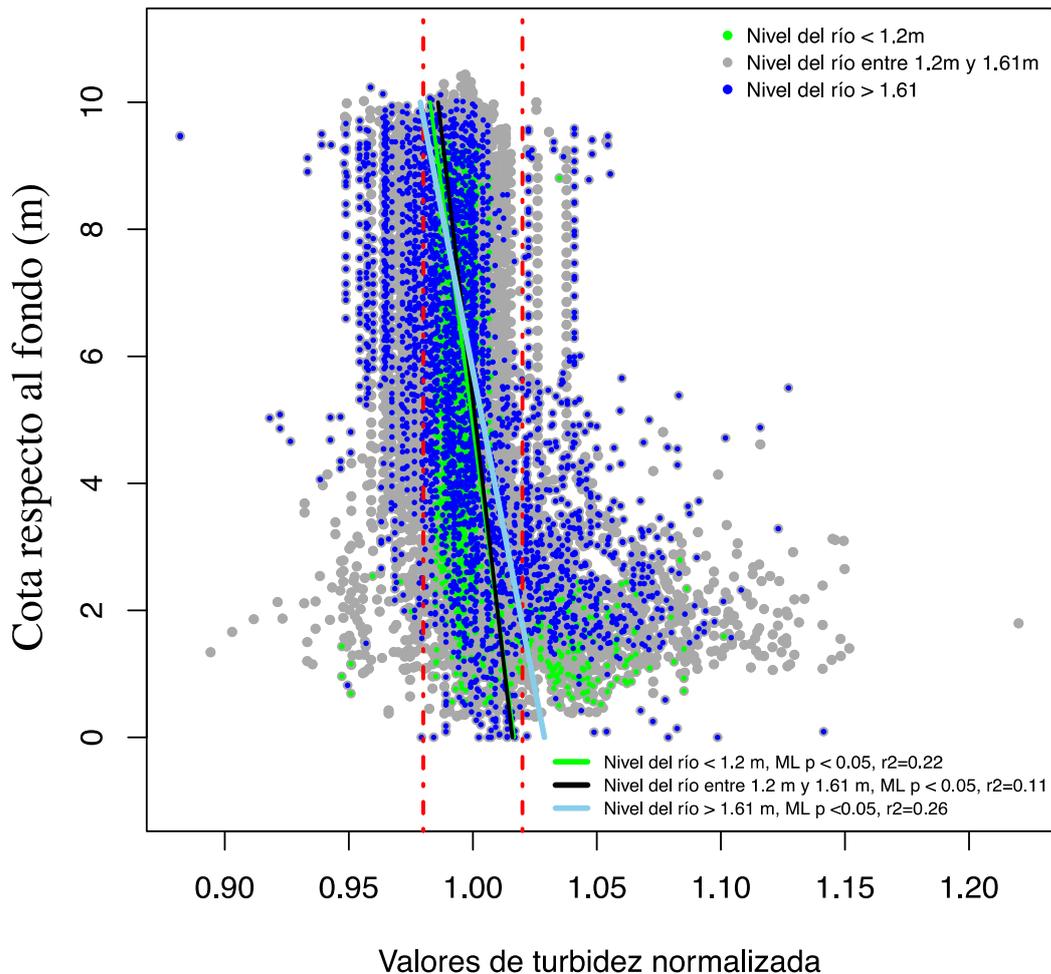


Figura 125: Valores normalizados de turbidez.

La magnitud del incremento que registra el valor de turbidez a medida que la medición se aproxima al fondo depende asimismo de la condición de nivel del río para la cual se realiza el perfil, como lo indica la existencia de una interacción significativa ($p < 0,05$) entre los factores “cota respecto al fondo” y “altura del río” en el modelo empleado. En tal sentido, cuando el nivel del río se encuentra por sobre los 1,61 m de altura es cuando la relación entre la turbidez y la cota respecto al fondo se hace más acentuada (mayor pendiente del modelo lineal). A mayores niveles del río se registra una diferencia de turbidez en la columna de agua, siendo mayor la turbidez del fondo que la de la superficie.

Nótese que los perfiles de turbidez reflejan también la relación existente entre este parámetro y la concentración de sedimentos en suspensión, teniendo esta última un conocido perfil exponencial producto de la mayor carga de transporte de sedimentos que ocurre contra el lecho.

3.4.5. Variación en la vertical en los perfiles

El alcance de los análisis realizados en la sección previa refiere a la totalidad de los datos registrados, integrando información sobre todos los perfiles que fueron medidos a los fines de detectar patrones generales de variación en la vertical en la totalidad del set de datos. No obstante, puede ocurrir (y de hecho ocurre) que en algunas ocasiones particulares exista una variación en la vertical diferente a lo que resulta observado a nivel global, y es sobre esas ocasiones sobre las que se focaliza en el análisis que a continuación se presenta.

El subconjunto con el que seguidamente se trabaja es el de los perfiles medidos en los que hay una variación de magnitud apreciable en la evolución en la vertical de cada parámetro registrado, entendiendo como variación de magnitud apreciable la existencia de al menos un registro dentro del perfil que difiera más del 5 % respecto al valor medio de ese perfil.

Para la definición de ese subconjunto se realizó un proceso de exploración de datos, cuantificando la frecuencia de hallazgo de perfiles con variación vertical de la magnitud referida y graficando individualmente los valores para cada parámetro en esos casos.

En la tabla a continuación se detalla, para cada parámetro, el número y la frecuencia de ocurrencia (FO) de perfiles en los cuales existe al menos un registro cuyo valor se aparta en más del 5% del valor promedio del perfil. Se identifica además el perfil que ha presentado la máxima variación, y se detalla la magnitud absoluta de esa variación respecto al valor promedio en la vertical.

Parámetro	Perfiles sin variación apreciable	Perfiles con variación apreciable (+/- 5%)	FO de perfiles con variación apreciable (%)	Perfil con máxima variación observada
Conductividad (mS/cm)	350	27	7.71	20/09/2019; 04hs (23mS/cm)
Temperatura (°C)	350	0	0	18/09/2019; 18hs (1°C)
pH	350	71	20.28	12/09/2019; 18hs (2.2)
Turbidez (NTU)	311	138	44.52	14/09/2019; 21hs (5.6 NTU)
OD (%)	188	0	0	20/09/2019; 14hs (4.7%)
OD (mg/L)	275	0	0	20/09/2019; 14hs (0.46 mg/L)

Para el parámetro turbidez, aproximadamente el 45% de los perfiles registrados presentaron variaciones superiores al 5% con respecto al valor medio a lo largo de la columna de agua. En el caso del pH, estas variaciones se observaron en aproximadamente un 20% de los perfiles registrados. Para los valores de conductividad la ocurrencia de estos perfiles fue del 8%, mientras que no se registraron perfiles con variaciones superiores al 5% para los parámetros temperatura y oxígeno disuelto.

A continuación, se representan gráficamente para los parámetros conductividad, pH y turbidez, los perfiles medidos en los cuales la variación en la vertical ha superado el 5% del valor medio del perfil. La expresión del perfil se realiza en este caso con el dato absoluto registrado.

Conductividad

En la Figura 123 se grafican exclusivamente los 27 perfiles verticales de este parámetro que cumplen la condición antedicha, indicando fecha y hora en la cual se efectuó el registro. Cabe recordar que la medición de perfiles se realiza cada hora.

En la mayoría de las variaciones verticales detalladas (en 22 de los 27 casos analizados) la conductividad registró aumentos variables del entorno de entre 5 y 23 unidades desde la superficie al fondo.

pH

En la Figura 127 se grafican en este caso los 71 perfiles verticales en los cuales el pH presentó una variación en algún punto entre superficie y fondo de más del 5 % del valor medio del perfil, indicando la fecha y hora en la cual se efectuó el registro.

En la mayoría de los perfiles detallados (al menos en aquellos de agosto y septiembre), los valores de pH parecen mostrar un patrón singular siendo que en superficie y hasta aproximadamente 6 m del fondo oscilan en torno a 6,5 unidades de pH, pero a mayores profundidades pasan a oscilar en torno a un valor de pH 7 aproximadamente.

Se observa asimismo que no existe coincidencia temporal en los perfiles con variación apreciable en la vertical para los parámetros pH y conductividad (ver figuras 126 y 125).

Turbidez

En la Figura 125 se grafican exclusivamente los 138 perfiles verticales en los cuales la turbidez presentó una variación en algún punto entre superficie y fondo de más del 5% de su valor medio, indicando la fecha y hora en la cual fueron registrados esos perfiles.

En la mayoría de los perfiles exhibidos se ha encontrado un patrón de variación vertical en el cual la turbidez medida aumenta hacia el fondo. Ese comportamiento descrito en la vertical resulta consistente con la relación que naturalmente existe entre turbidez y concentración de sólidos en suspensión y la distribución característica en la vertical de estos últimos en cualquier curso de agua donde exista transporte de sedimentos del lecho.

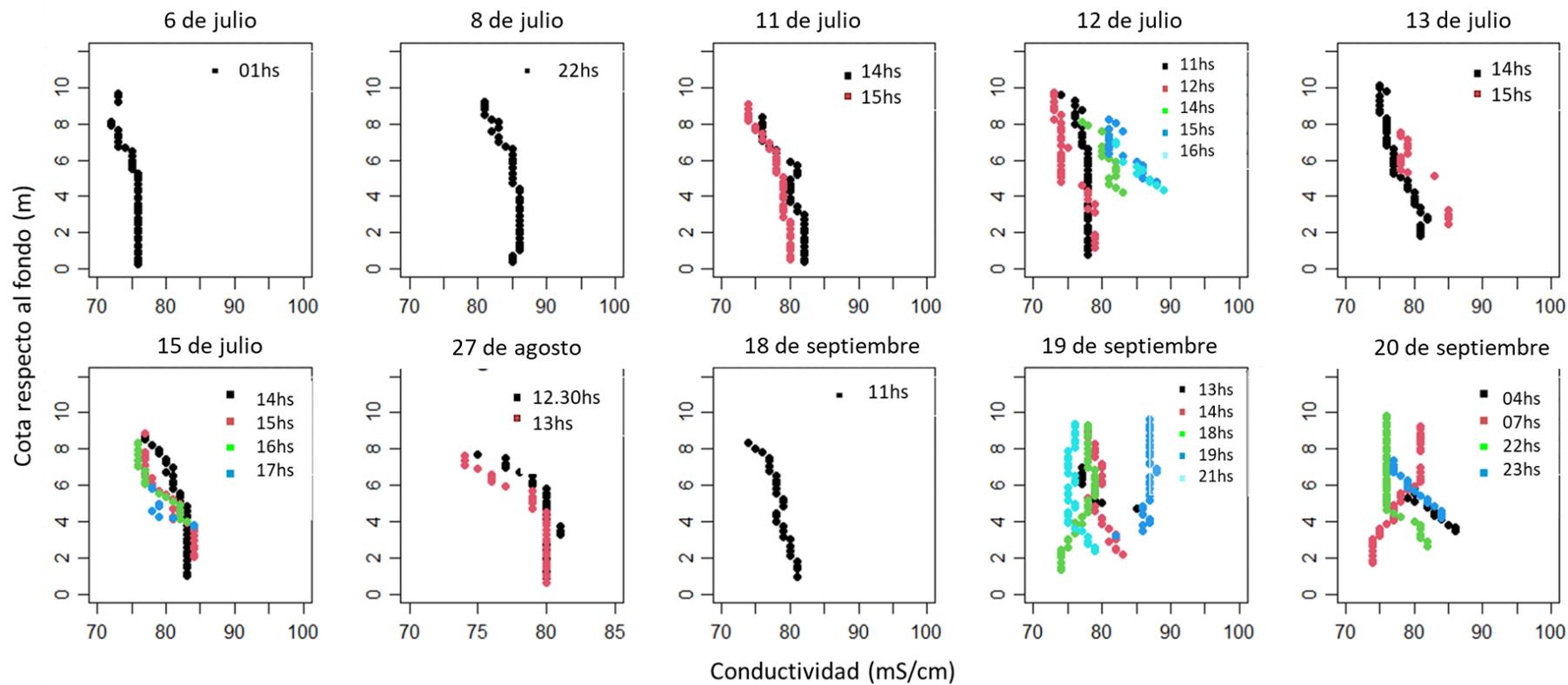


Figura 126: Perfiles con alta variación de conductividad.

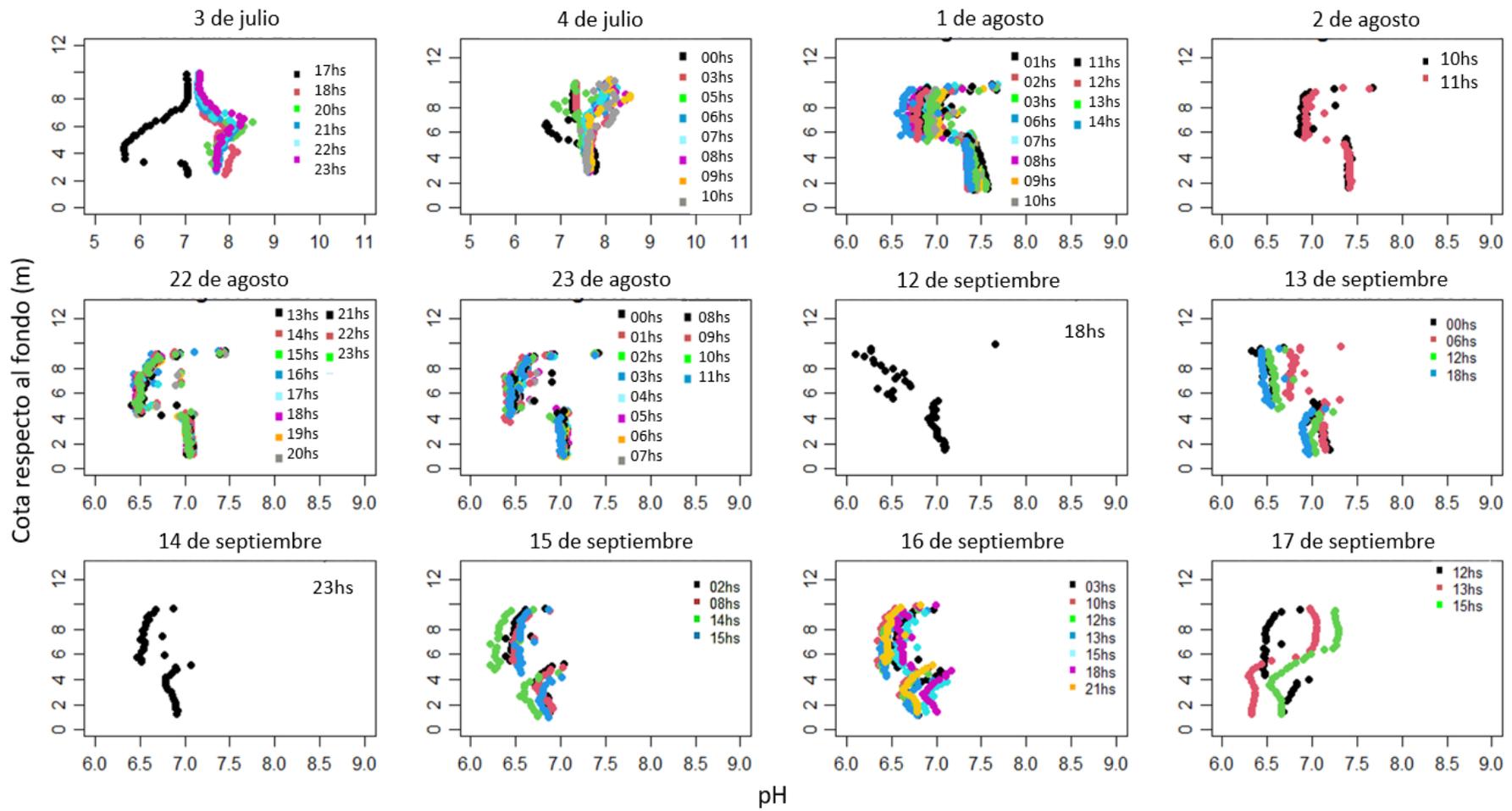


Figura 127: Perfiles con alta variación de pH.

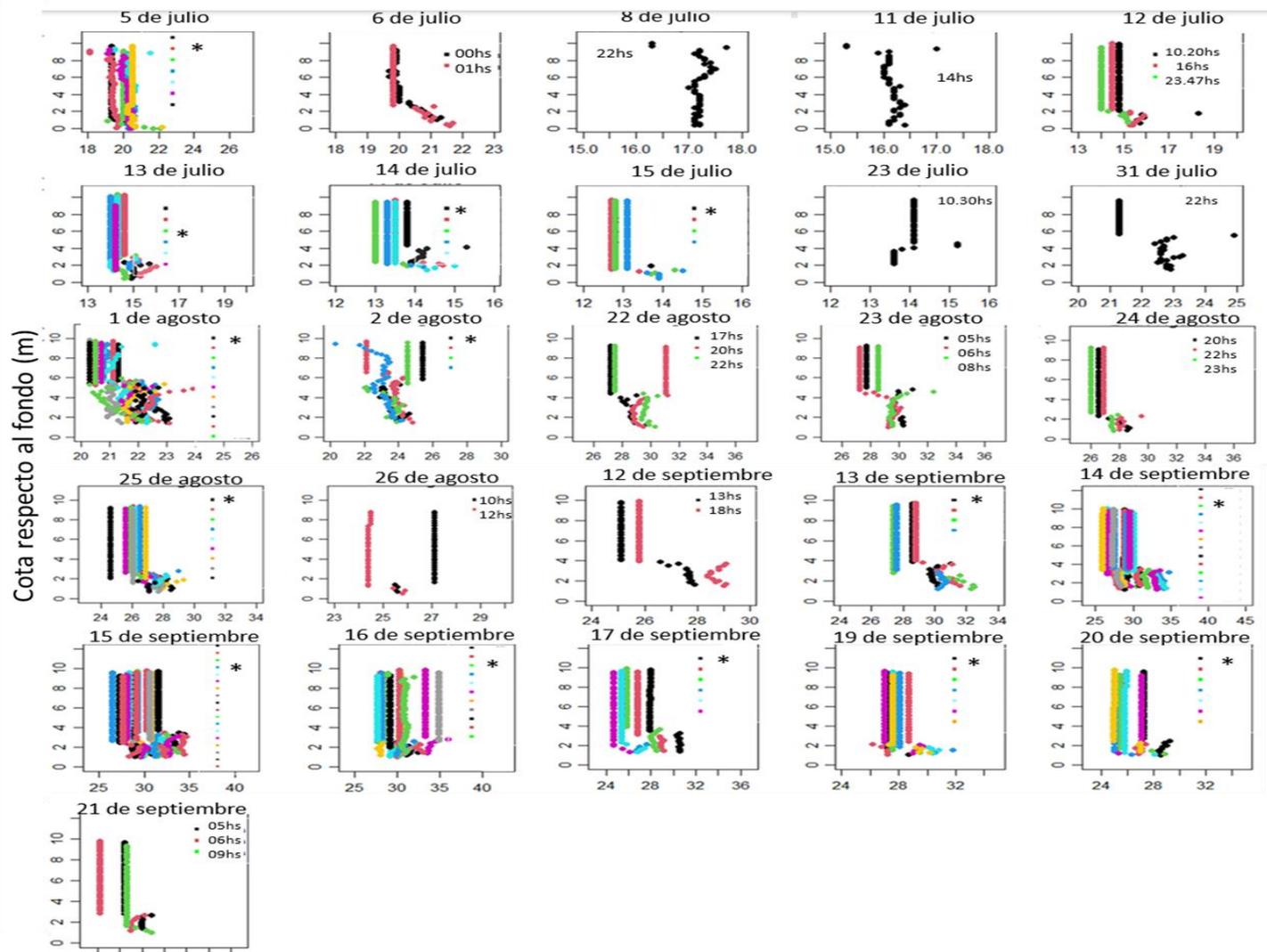


Figura 128: Perfiles con alta variación de turbidez.

3.4.6. Comentarios finales sobre esta sección

El monitoreo con boya perfiladora que ha iniciado en 2019, y cuyos primeros resultados se reportan en esta sección, representa la primera aproximación al análisis continuo de la variación en los valores de parámetros fisicoquímicos como temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, pH y turbidez a lo largo del eje vertical en un punto específico del bajo río Uruguay donde la profundidad total ronda los 11 m.

En ese contexto, los resultados obtenidos son aún acotados y sin que exista información previa contra la cual cotejar los hallazgos aquí reportados. Sin embargo, conforme prosiga este monitoreo se espera que el incremento en la base de datos obtenidos permita abarcar ciclos de variación estacional natural (por ejemplo, incluyendo al menos un año completo de mediciones), de modo que se pueda establecer cuáles son los patrones de variación vertical más representativos de la calidad de las aguas del río en esa zona. No obstante lo expuesto, en base a los primeros resultados correspondientes a los meses de julio, agosto y septiembre de 2019 se formulan a continuación algunos comentarios contextualizados en el objetivo fundamental del presente monitoreo, que es la evaluación de posibles efectos sobre los parámetros medidos de la descarga de los efluentes de la planta Orión, los que son vertidos a una distancia aproximada de 1,5 km aguas arriba. Para finalizar se plantean algunas conclusiones preliminares de patrones que podrían ser descriptivos de la situación natural del río en la zona.

Los efluentes de la planta Orión son descargados al río en forma continua y tienen una temperatura sensiblemente más elevada que la temperatura que presenta el río durante los meses de julio, agosto y septiembre (período efectivamente monitoreado). Además, sus valores de conductividad son sustancialmente más elevados que los de las aguas del río (en el entorno de los 4500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ frente a menos de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que generalmente se registran en el agua del río), aunque el pH del efluente (aproximadamente 7,5 unidades) no difiere mucho de la condición usual del río y su turbidez (en torno a los 3,5 NTU) es sensiblemente menor a la del río en esa zona.

Los análisis estadísticos realizados con la totalidad de los datos recabados correspondientes a tres meses de 2019, aún a modo preliminar, aportan a comprender posibles patrones verticales de variación que indican tendencias hacia la existencia de una leve reducción de la temperatura y de la concentración de oxígeno disuelto, y una tendencia a un aumento de la conductividad, el pH, la turbidez conforme se desciende por la columna de agua hacia el fondo. Además, se reportan indicios de que dicha variación podría depender de la condición de nivel del río.

No se ha podido detectar en el presente monitoreo la presencia permanente de la pluma del efluente en la zona donde está situada la boya, en tanto no se hallaron consistentemente variaciones significativas en el perfil vertical para los parámetros medidos. Para el caso de los parámetros temperatura y oxígeno disuelto las variaciones registradas quedaron comprendidas en los intervalos de certidumbre de las mediciones, en tanto en el 92% de los perfiles de conductividad y en el 80% de los de pH tampoco se han

registrado variaciones en la vertical en magnitudes superiores al 5 % con respecto al valor medio del perfil.

Sin perjuicio de lo anterior, igualmente algunas de las mediciones realizadas podrían indicar la presencia de la pluma del efluente parcialmente mezclada con el agua del río, condición que se refleja en modificaciones en el perfil del parámetro conductividad (hay que tener en cuenta la distancia y la dilución variable según la condición hidrológica que se produce desde la zona de descarga hasta la zona de medición situada aproximadamente 1500 m aguas abajo). Para obtener un modelo completo y adecuado de esta situación es necesario no obstante recabar más información durante un período de tiempo más prolongado.

En cuanto a los escenarios en los cuales se registra cierta variabilidad vertical en los registros de los distintos parámetros (al menos en el 8% de los perfiles registrados para conductividad y en el 20% para los perfiles de pH) cabe destacar que la dinámica de los incrementos observados hacia las partes más profundas de la columna de agua podría ser reflejo de la detección temporaria de la pluma del efluente, aunque el hecho de que estos registros ocurran en escasas horas del día puede sugerir también que su origen esté en la presencia de masas de agua que entran desde el tramo inferior del río en condiciones en las cuales el caudal circulante por el río Uruguay, las mareas y los vientos así lo determinen.

Si bien es un desafío el comprender la dinámica natural de dichas variaciones con el acotado set de datos analizados, algunos resultados de la exploración de los eventos con mayor variación, como los antes expuestos para conductividad y pH, podrían sugerir un efecto de intrusión de agua proveniente desde secciones aguas abajo ante condiciones hidrológicas específicas o la efectiva detección de la pluma del efluente vertido aún a una distancia de 1500 m de la descarga, hipótesis sobre las cuales se espera poder profundizar conforme aumente la cantidad de registros medidos en la base de datos que maneja CARU.

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 los vertidos descargados por la empresa UPM al río Uruguay. 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 aguas abajo del punto de vertido.

Para el periodo abarcado en el presente informe, se observaron diferencias significativas en parámetros de calidad de agua medidos en la zona Aguas arriba con respecto a al menos una de las zonas ubicadas aguas abajo del vertido. Estos parámetros fueron: AOX, arsénico, azufre, boro, calcio, carbono orgánico disuelto, cloruro, conductividad, DBO₅, dureza total,

estroncio, oxígeno disuelto, potasio, sodio, silicio, sulfato y turbidez; aunque el sentido o intensidad de esta variación no es siempre la misma para cada uno de ellos.

Por una parte, los parámetros sodio y sulfato son los que parecen reflejar de manera más evidente la existencia del vertido, con un ingreso y una posterior dilución de estos compuestos, en tanto las concentraciones observadas aguas arriba resultaron significativamente más bajas que las observadas en la zona Lejana al vertido, y éstas a su vez, significativamente menores que las determinadas en la zona Cercana al vertido.

También parecen reflejar la existencia del vertido los parámetros conductividad, arsénico y potasio, para los cuales los valores registrados aguas arriba son significativamente más bajos que los registrados en las zonas Cercana y Lejana al vertido, y los parámetros azufre y cloruro, para los cuales la zona Cercana al vertido resulta en valores significativamente más altos que los registrados en las otras dos zonas.

Por otra parte, el conjunto de parámetros conformado por boro, calcio, carbono orgánico disuelto, dureza, estroncio y silicio presenta un comportamiento donde resulta significativamente detectable la existencia de un gradiente entre la zona Aguas arriba (con valores más bajos) y la zona Lejana al vertido (con valores más altos), resultando la zona Cercana al vertido con valores intermedios entre aquellas dos zonas y sin que pueda apreciarse una diferencia significativa con ninguna de ellas. Esto hace presumir la existencia de una fuente de aporte de estos compuestos en el tramo comprendido entre la zona Aguas arriba y la zona Lejana al vertido, sin que pueda apreciarse con claridad dónde está el origen de estos. El parámetro DBO₅ presenta un comportamiento similar a este que ha sido descrito, pero con sentido opuesto, en tanto el gradiente se da desde los valores significativamente más altos en la zona Aguas arriba hacia valores más bajos en la zona Lejana al vertido.

En contrapartida, el parámetro AOX (parámetro específico característico de efluentes de un proceso de blanqueo como el que realiza UPM) presenta un comportamiento disímil de los anteriores en tanto los valores que se registran en la zona Lejana al vertido resultan significativamente inferiores que los de las otras dos zonas.

Finalmente, respecto de dos parámetros medidos in situ a lo largo de la columna de agua como son oxígeno disuelto y turbidez, los valores resultantes indican la existencia de diferencias significativas en las mediciones realizadas en los estratos fondo y mitad de columna entre la zona Aguas arriba (con valores mayores) y la zona Lejana al vertido (con valores menores), presentando la zona Cercana al vertido valores intermedios entre los de aquellas dos zonas y sin que puedan observarse diferencias significativas con ninguna de ellas. Con respecto al estrato sub-superficial, no se observan diferencias significativas entre los valores registrados para ninguna de las tres zonas. Tampoco se aprecia variación significativa a lo largo de la columna de agua para estos parámetros

En cuanto a la variación a lo largo de la columna de agua, los resultados no muestran diferencias significativas entre los distintos estratos en ninguna de las zonas relevadas

excepción hecha para el parámetro conductividad medido en la zona Cercana al vertido que sí evidencia la existencia de un gradiente en la vertical con valores registrados significativamente más altos en el estrato de fondo respecto de los registrados en el estrato sub-superficial, resultando los valores del estrato de mitad de columna intermedios entre aquellos y sin diferencias significativas entre ninguno de los otros dos. Esta condición podría deberse a que en esa zona Cercana al vertido aún no se hubiera completado la mezcla completa del efluente en toda la columna de agua.

Para algunos de los parámetros normados se detectaron incumplimientos normativos. En el mes de enero de 2019 se detectaron incumplimientos respecto al oxígeno disuelto en todos los sitios ubicados aguas abajo del vertido de UPM, mientras que no fueron detectados incumplimientos en los sitios ubicados aguas arriba. Los valores registrados en esa instancia, con una condición de caudal muy elevada (superior a 21.000 m³/s, resultaron apreciablemente más bajos que los del resto de los monitoreos realizados (ver Figura 5a), pudiendo ocurrir que la existencia de la descarga provocara una merma en la concentración de oxígeno disuelto resultando en el impacto que conlleva a los incumplimientos normativos observados.

También para el mes de enero, se registraron incumplimientos sistemáticos de pH con valores inferiores al límite normativo para todos los sitios relevados tanto aguas arriba como aguas abajo del vertido de UPM, siendo que no hay evidencia de que la presencia del vertido pueda estar causando estos incumplimientos normativos. Un parámetro que muestra reiteradas excedencias al límite normativo es el hierro, siendo que, para todos los sitios relevados, excepción hecha del sitio U1 (Aguas arriba del vertido), se encontraron valores superiores al límite en al menos una de las instancias de muestreo informadas. Se trata de un metal que es propio de la cuenca y los datos aquí informados no evidencian diferencias significativas respecto a las concentraciones aguas arriba y aguas abajo del vertido de UPM. Por último, se detectó una concentración anómala de cromo en el mes de julio en el sitio U1 (Aguas arriba del vertido) que también significa un incumplimiento normativo. Este registro de incumplimiento, por la magnitud de su valor (0,1 mg/L) 10 veces superior al estándar y dos órdenes superior al resto de los registros obtenidos en el marco de este monitoreo, se presume puede haberse debido a la ocurrencia de alguna circunstancia anómala que no ha podido ser identificada.

De los registros obtenidos para determinados parámetros (AOX, cromo, estaño, molibdeno y níquel) surge la detección ocasional y aleatoria en el sitio U1 de valores relativamente más altos que los valores contemporáneos observados en los restantes sitios. Este hecho llama la atención y podrá ser analizado a mayor profundidad con el desarrollo de la actividad de monitoreo y su consecuente ampliación de la base de datos.

En líneas generales, la información recopilada respecto a la matriz agua permite concluir que los vertidos de UPM al río Uruguay implican un aporte trazable aguas abajo del mismo principalmente a partir del seguimiento en la zona de estudio de las concentraciones de determinados compuestos como sodio, potasio, arsénico, azufre, cloruro y sulfato, y también un aumento en la conductividad.

Se observaron algunos aspectos que serán perfeccionados a partir de la continuidad de la actividad de monitoreo. En primer lugar, resultará importante continuar ajustando técnicas analíticas a fin de lograr los menores límites de detección que resulten posibles. Asimismo, se buscará optimizar los procesos de envío de muestras para análisis al exterior a fin de disminuir la cantidad de ocasiones en las cuales estos análisis resulten realizados en tiempos más allá de los máximos admisibles de almacenamiento de las muestras, lo que ha obligado en ocasiones a descartar los resultados informados por los laboratorios. Esto aplica principalmente para los parámetros nitritos, nitratos y sólidos totales para los que no se ha generado un volumen suficiente de determinaciones válidas que permita incluirlos cabalmente en el tratamiento de la información realizado.

En segundo lugar, cabe destacar la alta variabilidad observada respecto a las condiciones del sistema en función al caudal determinado en cada instancia de monitoreo (21.380 m³/s en enero, 1.752 m³/s en abril, 3.656 m³/s en julio y 1.765 m³/s en octubre). Esta variabilidad en el sistema resultó en condiciones notoriamente distintas respecto a las variables abordadas en la matriz agua durante el periodo reportado. Ante esto, resulta fundamental profundizar los estudios a partir de la incorporación de resultados de los próximos periodos en distintas condiciones hidrológicas, a fin de robustecer las bases de datos y de disgregar con mayor precisión los efectos en el sistema generados propiamente por el aporte de los vertidos de UPM respecto a ocurrencias independientes de estos aportes.

CAPÍTULO IV: MATRIZ SEDIMENTO

4.1. METODOLOGÍA ESPECÍFICA

La matriz 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 potencial influencia de la Planta Orión (UPM-ex Botnia) se ubicaron tres sitios de muestreo para la extracción de sedimentos, uno aguas arriba de la salida del efluente de la planta (zona aguas arriba, UByS1), otro aguas abajo de la mencionada salida (denominada zona Cercana al vertido UByS2) y la tercera más alejada (zona Lejana al vertido UByS3).

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 EXO₂ 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.

Se detallan en la tabla a continuación los parámetros analizados junto con los laboratorios analíticos y límites de detección (LD) y cuantificación (LC) de las técnicas.

Parámetros analizados

Laboratorio	Parámetro	LD	LC
In situ	Profundidad total	-	-
In situ	Transparencia	-	-
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	pH sedimento (unidades de pH)	-	0,01
INA	Sulfuros (mg S/kg)	1	-
LATU	EOX (como Cl) (µg/g)	4	14
LATU	COT (como C) (g/kg)	0,05	0,1
LATU	Sustancias fenólicas (como C ₆ H ₅ OH) (µg/g)	0,008	0,022
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 (ver Figura 1).

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 y granulometrías del sedimento.

CATEGORÍA		RANGO DE TAMAÑO (mm)
Grava		>2,0
Arena	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

Limo	0,002-0,05
Arcilla	<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.

	Aguas arriba	Cercano al vertido	Lejano al vertido
Fecha de muestreo	29/04/2019	29/04/2019	29/04/2019
Profundidad total (m)	0,9	0,6	0,3
Temperatura (°C)	20,41	19,05	19,07
Conductividad (µS/cm)	63,5	82,8	75,3
Transparencia (m)	0,55	0,55	0,55
pH	7,65	7,3	7,63
Oxígeno disuelto (mg/L)	8,35	7,58	8,6

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

	Aguas arriba	Cercano al vertido	Lejano al vertido
Fecha de muestreo	14/10/2019	14/10/2019	14/10/2019
Profundidad total (m)	1,7	1,8	1,9
Temperatura (°C)	19,87	18,68	19,90

Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	74	81,5	74,2
Transparencia (m)	0,45	0,40	0,50
pH	7,72	7,77	7,65
Oxígeno disuelto (mg/L)	8,54	8,89	8,63

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 (Figuras 129, 130 y 131). Para el sitio Aguas arriba (UByS1) la granulometría de las muestras obtenidas es esencialmente característica de arena fina, sin presencia de arcillas y con una fracción porcentualmente menor de limos. La granulometría del muestreo de abril 2019 ($D_{50} \sim 0.18$ mm) es levemente más gruesa que la del muestreo de octubre 2019 ($D_{50} \sim 0.15$ mm), dado que la primera muestra tiene aproximadamente un 20% de arena media y en la segunda esa fracción de arenas prácticamente no se registra.

Para el sitio Cercano al vertido (UByS2) las muestras obtenidas en las dos campañas son esencialmente del mismo tipo de material. Se trata de muestras bien graduadas, con presencia desde arena media hasta limos y un tamaño D_{50} característico de arena muy fina ($D_{50} \sim 0.10$ mm).

Para el sitio Lejano al vertido (UByS3) la muestra obtenida en ocasión de la campaña de abril 2019 ($D_{50} \sim 0.14$ mm) es de granulometría levemente más fina que la del mes de octubre 2019 ($D_{50} \sim 0.19$ mm). En la primera campaña prácticamente no se registra fracción de arena media y hay un porcentaje relativamente mayor de arena muy fina (aproximadamente el 30% del peso de la muestra), en tanto en la segunda se tiene una fracción apreciable de arena media y el porcentaje de arena muy fina es relativamente menor (inferior al 10% de la muestra).

Porcentajes de granulometría fina en sedimento.

Sitio	Fracción de granulometría fina (%)	
	04/2019	10/2019
Aguas arriba	14	16,5
Cercano al vertido	58,1	59,7
Lejano al vertido	29,9	8,5

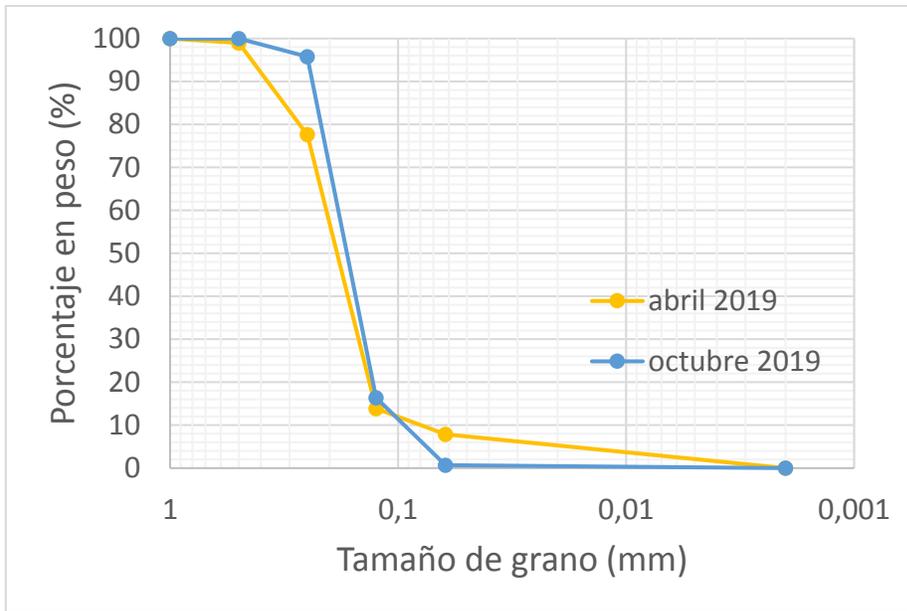


Figura 129: Granulometría de sedimentos en el sitio Aguas arriba (UByS1).

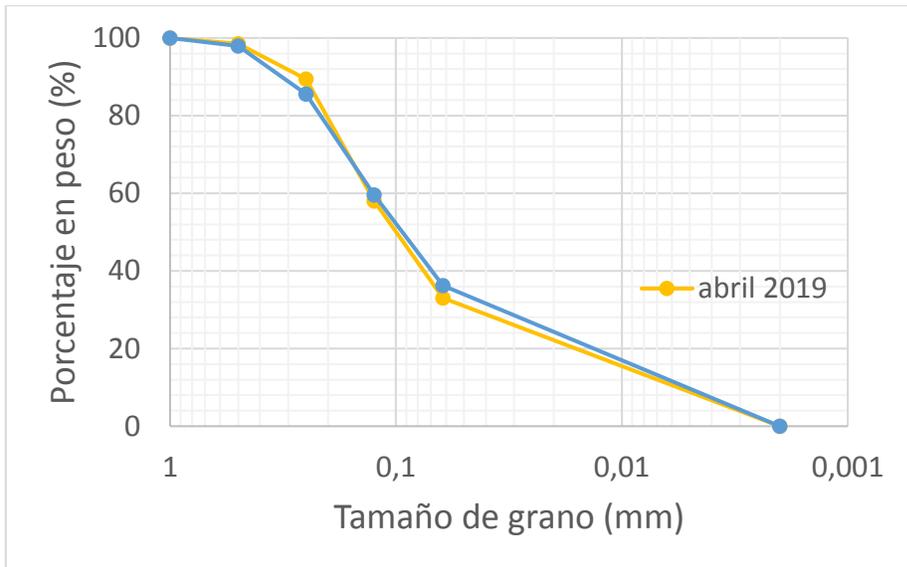


Figura 130: Granulometrías de sedimento en el sitio Cercano al vertido (UByS2).

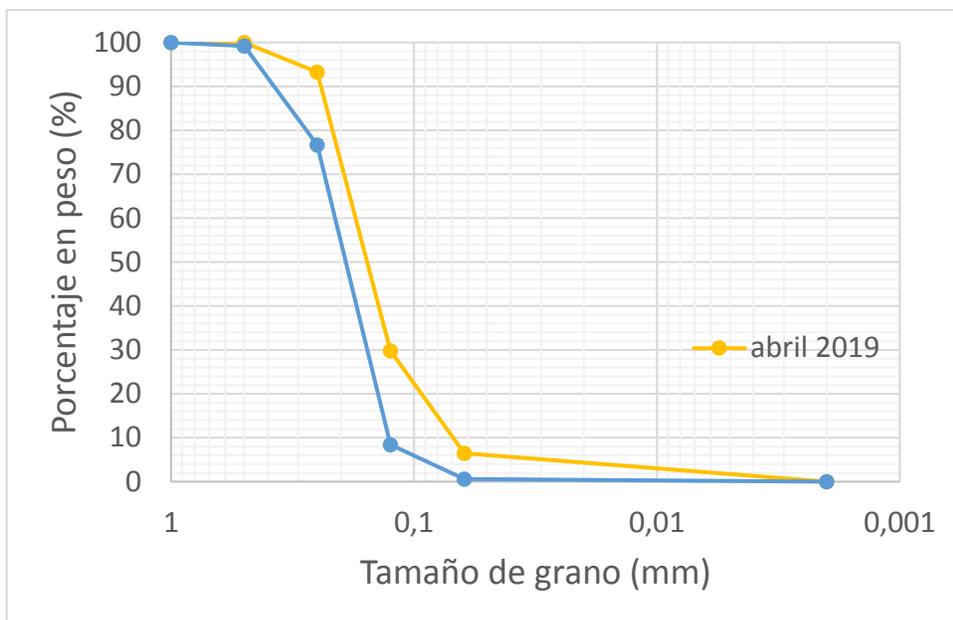


Figura 131: Granulometría de sedimentos en el sitio Lejano al vertido (UByS3).

Carbono orgánico total

Los valores de carbono orgánico total en el sedimento de la zona de influencia resultaron en una media de 5,2 mg/Kg, siendo que el valor máximo fue 14,3 mg/Kg y corresponde al sitio Cercano al vertido en el mes de octubre. La concentración mínima de carbono orgánico total resultó 1,8 mg/Kg y se observó en el sitio Aguas arriba del vertido durante el mes de abril.

Debido a que el sitio Aguas arriba presentó una granulometría en la que predominaron las arenas finas, la corrección granulométrica realizada para carbono orgánico total en sedimento resultó en la concentración más alta del periodo informado (28,5 mg/Kg, Figura 132).

Valores de carbono orgánico total.

Sitio	Resultado (mg/Kg)		Corrección fracción fina (mg/Kg)	
	abr-19	oct-19	abr-19	oct-19
Aguas arriba	1,8	4,7	12,9	28,5
Cercano al vertido	4,7	14,3	8,2	24,0
Lejano al vertido	3,6	2,2	12,1	25,9

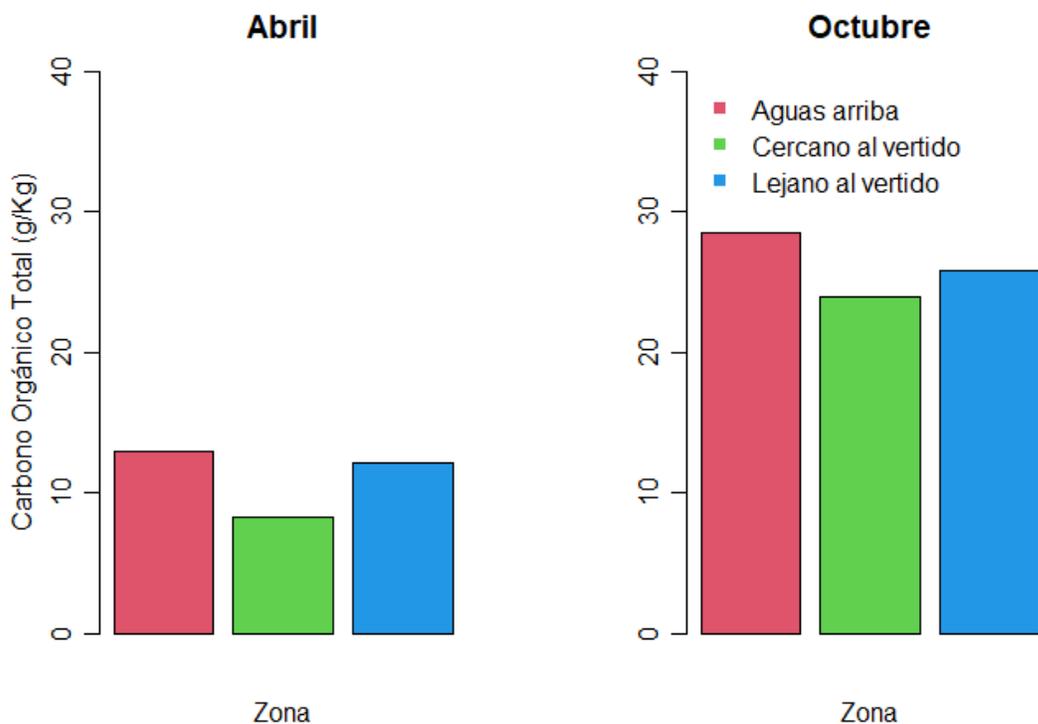


Figura 132: Valores de carbono orgánico total corregidos por granulometría.

Materia orgánica total (base húmeda)

Con respecto a la materia orgánica total en base húmeda, sólo se obtuvieron resultados válidos para la campaña del mes de octubre. Durante esta campaña, se observó la concentración máxima en el sitio Cercano al vertido (2 g/100 g) mientras que la concentración mínima se observó en el sitio Lejano al vertido (0,6 g/100 g).

La concentración máxima según la corrección por la fracción fina del sedimento fue observada en el sitio Aguas arriba (7,9 g/100 g, Figura 133).

Valores de materia orgánica total (base húmeda).

Resultado (g/100 g)	Corrección fracción fina (g/100 g)
------------------------	--

Sitio	abr-19	oct-19	abr-19	oct-19
Aguas arriba	s/d	1,3	s/d	7,9
Cercano al vertido	s/d	2	s/d	3,4
Lejano al vertido	s/d	0,6	s/d	7,1

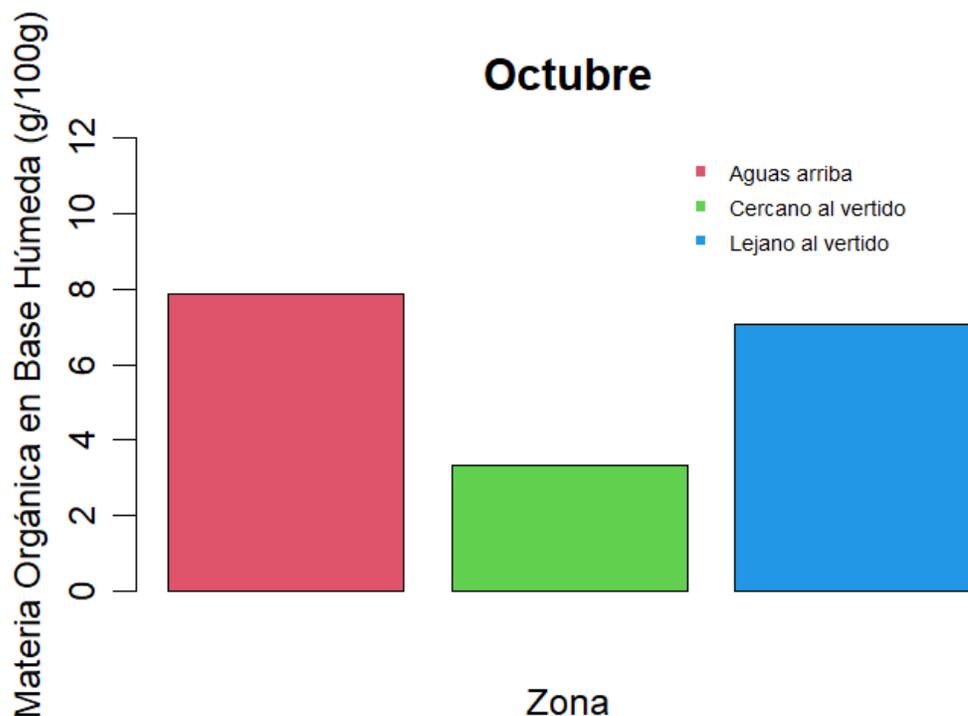


Figura 133: Valores de materia orgánica total (base húmeda) corregidos por granulometría

Materia orgánica total (base seca)

Al igual que en el caso anterior, sólo se reportan resultados válidos de materia orgánica en base seca para el mes de octubre, donde la concentración máxima fue observada en el sitio Cercano al vertido (4,5 g/100 g) y la concentración mínima fue observada en el sitio Lejano al vertido (0,8 g/100 g).

Respecto a las estimaciones corregidas según la fracción fina del sedimento, la concentración máxima resulta en el sitio Aguas arriba del vertido (13,3 g/100 g, Figura 134).

Valores de materia orgánica total (base seca).

Sitio	Resultado (g/100 g)		Corrección fracción fina (g/100 g)	
	abr-19	oct-19	abr-19	oct-19
Aguas arriba	s/d	2,2	s/d	13,3
Cercano al vertido	s/d	4,5	s/d	7,5
Lejano al vertido	s/d	0,8	s/d	9,4

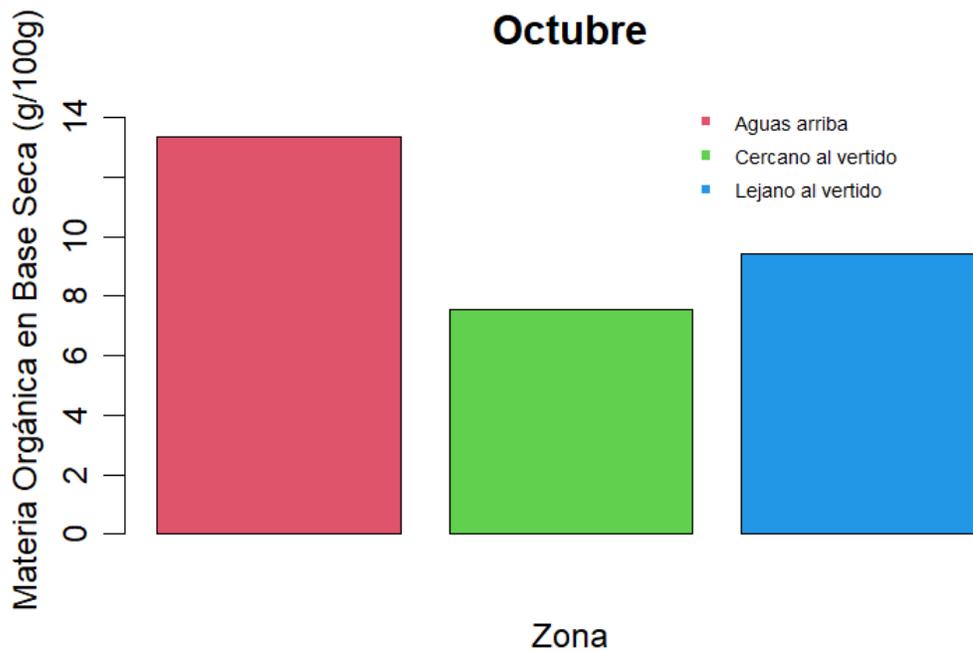


Figura 134: Valores de materia orgánica total (base seca) corregidos por granulometría.

Sulfuro

Durante el periodo de estudio se observó una concentración media de sulfuro de 114,8 mg/Kg, siendo que la concentración máxima fue 163 mg/Kg y fue observada en el sitio Cercano al vertido en abril. Por el contrario, la concentración mínima registrada fue 49 mg/Kg y corresponde a la determinación realizada en octubre en el sitio Lejano al vertido (Figura 135).

Valores de sulfuro.

Sitio	Resultado (mg/Kg)	
	abr-19	oct-19
Aguas arriba	156	94
Cercano al vertido	163	113
Lejano al vertido	114	49

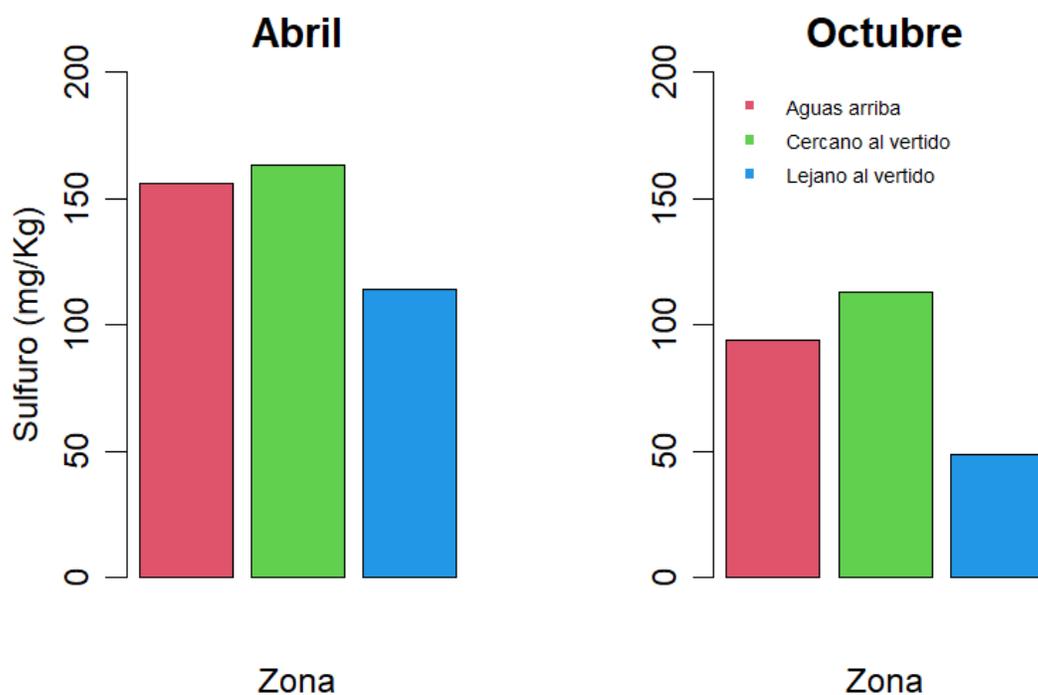


Figura 135: Valores de sulfuro.

Sustancias fenólicas totales

Durante el periodo reportado sólo hubo una determinación por encima del límite de detección para las sustancias fenólicas totales. Esta determinación corresponde al sitio Cercano al vertido en el mes de abril, donde se observaron 0,019 $\mu\text{g/g}$ de sustancias fenólicas. La corrección según la fracción más fina del sedimento resulta en una concentración de 0,033 $\mu\text{g/g}$ (Figura 136).

Valores sustancias fenólicas totales.

Sitio	Resultado ($\mu\text{g/g}$)		Corrección fracción fina ($\mu\text{g/g}$)	
	abr-19	oct-19	abr-19	oct-19
Aguas arriba	<0,007	<0,008	<0,05	<0,048
Cercano al vertido	0,019	<0,008	0,033	<0,013
Lejano al vertido	<0,018	<0,008	<0,060	<0,094

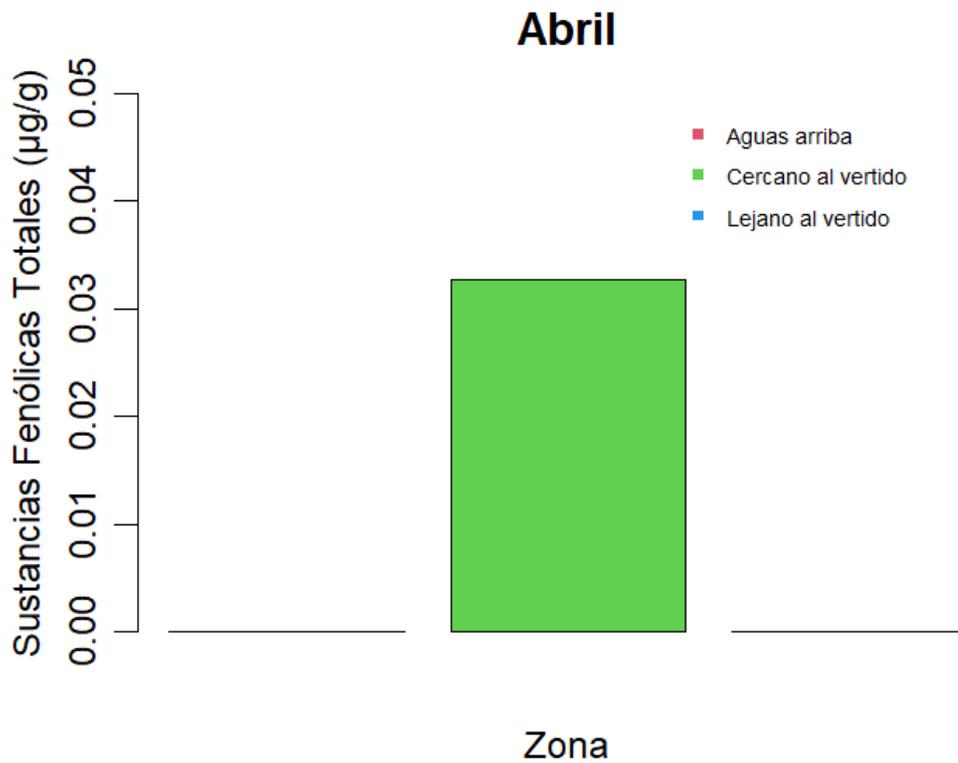


Figura 136: Valores de sustancias fenólicas totales corregidos por granulometría. Nota: En esta figura los valores por debajo del límite de detección se grafican como 0.

4.2.2. Parámetros no detectados

Durante el periodo reportado los únicos compuestos analizados que no resultaron detectados fueron las sustancias halogenadas extraíbles (EOX).

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

En todas las instancias de monitoreo de la matriz sedimento en la zona de influencia de UPM se observa que, para todos los parámetros analizados en esta actividad, el sitio Cercano al vertido resultó en la mayor concentración relativa a los sitios Aguas arriba y Lejano al vertido. Esta ocurrencia podría explicarse por la presencia de fracciones más finas del sedimento en las muestras extraídas en el sitio Cercano al vertido (como lo muestra también que en el caso de los valores corregidos por granulometría las concentraciones para los compuestos de materia orgánica en bases seca y húmeda y carbono orgánico total resultan menores en ese sitio). No obstante, y según el diseño metodológico de la actividad, los resultados parciales para esta matriz no son suficientes para profundizar la interpretación estadística de los efectos ambientales.

A partir de la interpretación de la granulometría observada en cada uno de los sitios de monitoreo se observa que los sitios Aguas arriba y Lejano al vertido de la industria poseen una composición con fracciones del sedimento más gruesas que el sitio Cercano al vertido, sitio donde se observaron fracciones mayores de arenas más finas y limo, lo que implica que esa zona es más propicia para acumular en sedimento mayores concentraciones de aquellos compuestos que ingresen al río como consecuencia de la actividad industrial.

Siendo que al momento de la realización de la actividad no se contaba con normativa propia de CARU respecto a las concentraciones máximas de los compuestos analizados en sedimento, no es posible determinar cumplimientos normativos para esos parámetros.

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 descarga de los efluentes de la planta Orion de UPM. 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, 58° 22' 53" O; un sitio localizado en un área no afectada por las descargas 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 tejidos 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 tejidos colectado se agrupó por peso hasta obtener una muestra compuesta suficiente según fuera el análisis solicitado (20 g de tejido para análisis de dioxinas y furanos, EOX y fenoles 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 (el sitio aguas arriba del vertido UBA1, el sitio cercano aguas abajo al vertido UBA2 y el sitio aguas abajo más lejano al vertido UBA3) 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 durante noventa días, luego de lo cual fueron retiradas y transportadas al laboratorio del Comité Científico.

Para el caso de la zona de potencial influencia de la planta UPM se fondearon 4 cajas conteniendo almejas en un sitio de referencia aguas arriba de los vertidos de UPM (sitio UBA1), cuatro en un sitio cercano al vertido de efluentes (sitio UBA2) y las restantes cuatro en un sitio lejano al vertido de efluentes (sitio UBA3) como lo muestra la Figura 1. Las coordenadas (sistema UTM 21) de cada uno de estos sitios han sido:

Ubicación de los sitios de monitoreo de almejas.

Sitio	Coordenadas	
UBA1	385738.8 E	6335808.4 S
UBA2	380485.9 E	6334989.9 S
UBA3	379327.7 E	6335695.0 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: Monitoreo de almejas.

Desafortunadamente a la finalización del plazo de exposición de este bioensayo no se hallaron las cajas con almejas fondeadas en el sitio de referencia UBA1 (Aguas arriba del vertido), perdiendo la información relacionada al crecimiento y la acumulación de contaminantes en esta zona. Solo se encontraron restos de las cajas en la zona, por lo cual se presume que hayan sido objeto de actos de vandalismo. Asimismo, al menos una de las cajas del sitio Lejano al vertido UBA3 se encontró dañada y con la parte superior volcada hacia abajo, de modo que de esa caja solo una almeja permanecía viva al momento de la recuperación y por ello no se pudo colectar muestra suficiente para el análisis de bioacumulación. En resumen, al final del periodo de bioacumulación se recuperaron almejas vivas en cuatro cajas del sitio Cercano al vertido UBA2 y con tres del sitio Lejano al vertido UBA3, por lo cual a ellas se limita el presente análisis no pudiendo establecer las condiciones previas al vertido para este ensayo.

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°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.

Laboratorio	Parámetro	LD
Pacific Rim	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
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

Econotech	EOX (mg/kg)	50
Pacific Rim	Dioxinas y Furanos (ng/kg)	0,22

Element		
	Cromo ($\mu\text{g/g}$)	0,04
	Níquel ($\mu\text{g/g}$)	0,1
	Manganeso ($\mu\text{g/g}$)	0,3
	Zinc ($\mu\text{g/g}$)	0,1
	Aluminio ($\mu\text{g/g}$)	1
	Hierro ($\mu\text{g/g}$)	1
	Berilio ($\mu\text{g/g}$)	0,05
	Estaño ($\mu\text{g/g}$)	0,05

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 el sitio de referencia localizado aguas arriba del vertido de efluentes y un sitio cercano y uno sitio lejano al vertido de efluentes luego de un periodo de exposición de 90 días.

Corresponde hacer notar nuevamente que, durante el monitoreo del año 2019 debido a acciones de vandalismo no se pudo recuperar las muestras correspondientes al sitio de Control UBA1, por lo cual no se pudo realizar en esta instancia la comparación estadística con la situación de referencia no afectada por el efluente. Además, por problemas logísticos, se carece de réplicas para la muestra blanco, por lo que únicamente se reportan 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.

Los resultados presentados constan, en primera instancia de una comparación entre el crecimiento ocurrido en las zonas 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 y en las cuatro muestras del sitio Cercano al vertido (UBA2) y en tres muestras del sitio Lejano al vertido de los efluentes de UPM (UBA3), realizando una

comparación estadística de las concentraciones de los diferentes compuestos analizados que fueron detectados entre los sitios UBA2 y UBA3 (siendo que solo en estos sitios se poseen réplicas para realizar un test estadístico) .

Para la comparación del crecimiento entre los sitios donde se recuperaron las almejas 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 cercano a la desembocadura vs sitio lejano a la desembocadura) y de la interacción entre estos dos factores, sobre los parámetros largo, alto y masa de cada una de las almejas de una caja. 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 la comparación de la bioacumulación entre los sitios Cercano al vertido UBA2 y Lejano al vertido UBA3 se usó un test de ANOVA para comparar las concentraciones de 5-6 diclorovailina, cromo total, níquel, manganeso, zinc, aluminio, hierro y estaño, siendo que son éstos los compuestos detectados en ambos sitios y para los cuales poseemos valores a usar en la comparación. En los casos de los dos valores no detectados de 5-6- diclorovanilina (uno en UBA2 y otro en UBA3) se les asignó el valor del límite de detección para poder realizar la comparación, siendo conscientes que dichas concentraciones podrían en realidad poseer cualquier valor entre 0 y $0,0009$ mg/kg. 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 halló diferencias significativas en el crecimiento entre los distintos sitios de monitoreo analizados en este caso. 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, 1985¹). Por ello, dado que en cada caja se colocaron inicialmente 35 almejas mayores a 2,0 cm de largo, no es esperable registrar crecimiento apreciable en un lapso de 90 días (aunque esto podría enmascarar el crecimiento que sí pudieran registrar las almejas de menores tallas).

En efecto, al considerar 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 Cercano al vertido del efluente de la planta UPM (UBA2) como de las colocadas en el sitio Lejano al vertido del efluente (UBA3). Cabe destacar que ese crecimiento se ha dado de forma diferencial entre los sitios Cercano y Lejano al vertido, denotado esto por el hallazgo de una interacción significativa entre los factores “tiempo” y “sitio” producto del análisis realizado, aunque desafortunadamente se desconoce la situación de referencia aguas arriba de los vertidos al carecer de muestras en el sitio de Control (UBA1). En este sentido, ha existido mayor crecimiento de las almejas en el sitio más cercano al vertido (UBA2) en comparación con el sitio más lejano al vertido (UBA3), como se puede observar en la Figura 137. El * en la figura indica la existencia de diferencias significativas entre los valores graficados.

¹ Ituarte, Cristián F. (1985). *Growth dynamics in a natural population of <i>Corbicula fluminea</i> (Bivalvia Sphaeriacea) at Punta Atalaya, Rio de La Plata, Argentina*. Studies on Neotropical Fauna and Environment, 20(4), 217–225. doi:10.1080/01650528509360693.

Valores en almejas de talla inferior a 2 cm de largo

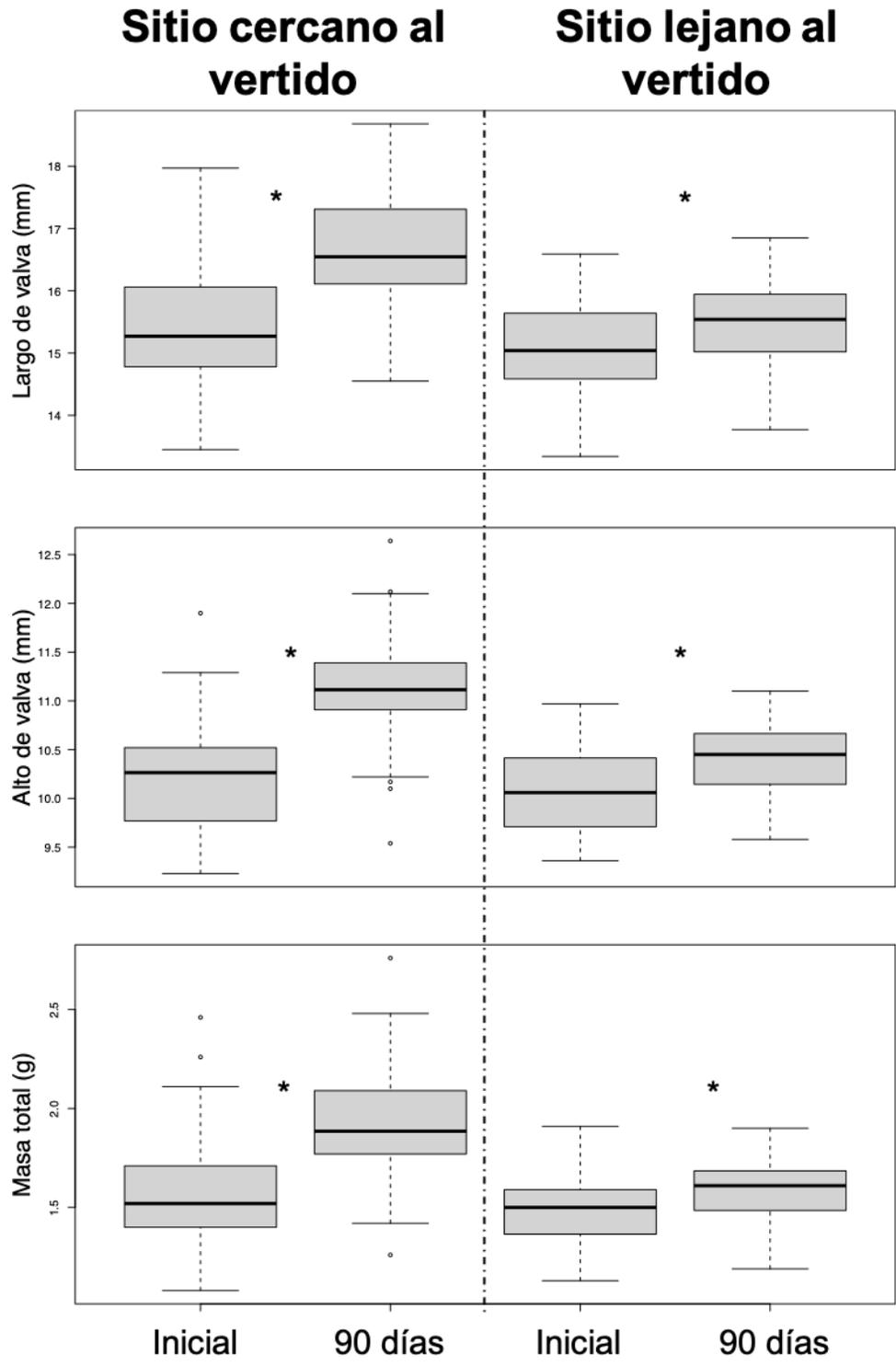


Figura 137: Tasa de crecimiento de almejas.

Bioacumulación en tejidos de almejas

De los 38 parámetros analizados, en un total de 7 muestras compuestas de tejido de almejas recuperadas en los sitios Cercano al vertido (UBA2, 4 muestras) y Lejano al vertido (UBA3, 3 muestras) más la muestra “Blanco”, se ha detectado presencia de once compuestos. Estos son los compuestos fenólicos 2-6 Diclorofenol y 5-6 Diclorovanilina, los metales aluminio, berilio, cromo, estaño, hierro, manganeso, níquel y zinc, y también niveles detectables de dioxinas y furanos para el compuesto 1,2,3,7,8-PeCDF. No se han detectado en ninguna de las muestras analizadas compuestos órgano-halogenados (EOX).

En cuanto al cumplimiento de la normativa de aplicación para los parámetros aquí analizados en la matriz biota, si bien no existe normativa vigente para el río Uruguay, al relevar normativas internacionales y cotejar valores obtenidos con lo allí dispuesto, destacamos que solo el parámetro dioxinas y furanos (WHO-TEQ) posee valores normativos de referencia (Directiva 2013/39 EU). En este sentido, dado que el valor hallado en una muestra obtenida en el sitio Cercano al vertido UBA2 fue 0,03 ng/kg, siendo que el valor normativo estipulado por la Unión Europea es 65.000 ng/kg, la concentración de dioxinas y furanos bioacumulada en almejas no representaría un incumplimiento normativo.

En la tabla a continuación se muestran los resultados correspondientes a la única muestra Blanco, a las cuatro muestras del sitio Cercano al vertido UByS2 y a las tres muestras del sitio Lejano al vertido UByS3 que fueron recuperadas en el muestreo de noviembre de 2019.

Bioacumulación en almejas.

Parámetros de bioacumulación	Muestra Blanco	Sitio cercano al vertido				Sitio lejano al vertido		
	BBA	UBA2-1	UBA2-2	UBA2-3	UBA2-4	UBA3-1	UBA3-2	UBA3-4
2-Cloro Siringaldeido (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2,3,4,6-Tetraclorofenol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2,4-Diclorofenol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2,4,5-Triclorofenol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2,4,6-Triclorofenol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2,6-Diclorofenol (mg/kg)	0,001	ND	0,002	ND	ND	ND	ND	ND
3,4-Diclorocatecol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3,4-Dicloroguaiacol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3,4,5-Triclorocatecol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3,4,5-Tricloroguaiacol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3,4,6-Triclorocatecol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3,4,6-Tricloroguaiacol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3,6-Diclorocatecol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4-Clorocatecol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4-Clorofenol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4-Cloroguaiacol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4,5 Dicloroguaiacol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4,5-Diclorocatecol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4,5,6-Tricloroguaiacol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4,6-Dicloroguaiacol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
5-Clorovanillina (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
5,6-Dicloro Siringaldeido (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
5,6-Diclorovanillina (mg/kg)	ND	0,014	ND	0,014	0,022	0,012	ND	0,027
6-Clorovanillina (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Pentaclorofenol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tetraclorocatecol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tetracloroguaiacol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Triclorosiringol (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
EOX (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Dioxinas y Furanos (PCDD/PCDF) (WHO-TEQs) (ng/kg)	0	0	0	0	0,03	0	0	0
Cromo total (µg/g)	0,332	0,372	0,444	0,647	0,437	0,438	0,399	0,285
Niquel (µg/g)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,07
Manganeso (µg/g)	2,1	8,84	8,37	11	8,95	6,39	8,06	4,5
Zinc (µg/g)	22,1	39,1	33	20,2	21,9	16,9	15	14,7
Aluminio (µg/g)	14	22	35,7	136	25	91,9	70,8	47,5
Hierro (µg/g)	34,8	62,2	83,1	214	76,5	147	131	78,6
Berilio (µg/g)	ND	ND	0,02	ND	ND	ND	ND	ND
Estaño (µg/g)	0,5	0,45	0,45	0,51	0,47	0,75	0,75	0,56

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), se resaltan en negrita los casos en los que se hallaron diferencias estadísticamente significativas en la concentración de compuestos entre los sitios Cercano al vertido UBA2 y Lejano al vertido UBA3.

Resumen de valores obtenidos.

Compuestos detectados	Muestra blanco			Muestras de UBA2			Muestras de UBA3			Comparación UBA2 vs. UBA3
	Concentración mínima-máxima	Número de detecciones	Frecuencia de detección	Concentración mínima-máxima	Número de detecciones	Frecuencia de detección	Concentración mínima-máxima	Número de detecciones	Frecuencia de detección	Test ANOVA, p<0,05
2,6-Diclorofenol (µg/g)	0,001	1	100	<0,001-0,002	1	25		0	0	No analizado por baja frecuencia de detección
5,6-Diclorovanilina (µg/g)		0	0	<0,010-0,022	3	75	<0,010-0,027	2	66,6	No existen diferencias significativas (p>0,05)
Dioxinas y Furanos (PCDD/PCDF) (WHO-TEQs)(ng/kg)*	0	0	0	0-0,03	1	25	0	0	0	No analizado por baja frecuencia de detección
Aluminio (µg/g)	14	1	100	22-136	4	100	47,5-91,9	3	100	No existen diferencias significativas (p>0,05)
Berilio (µg/g)		0	0	<0,02-0,02	1	25		0	0	No analizado por baja frecuencia de detección
Cromo total (µg/g)	0,332	1	100	0,37-0,647	4	100	0,28-0,438	3	100	No existen diferencias significativas (p>0,05)
Estaño (µg/g)	0,5	1	100	0,45-0,51	4	100	0,56-0,75	3	100	Hay diferencias significativas (p<0,05, UBA3>UBA2)
Hierro (µg/g)	34,8	1	100	62,8-214	4	100	78,6-147	3	100	No existen diferencias significativas (p>0,05)
Manganeso (µg/g)	2,1	1	100	8,37-11	4	100	4,5-8,06	3	100	Hay diferencias significativas (p<0,05, UBA2>UBA3)
Niquel (µg/g)	0,2	1	100	0,1-0,2	4	100	0,07-0,2	3	100	No existen diferencias significativas (p>0,05)
Zinc (µg/g)	22,1	1	100	20,2-39,1	4	100	14,7-16,9	3	100	No existen diferencias significativas (p>0,05)

Normativa internacional plantea un valor guía de 65000 (ng/kg en directiva 2013/39/EU)

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 relación con los actos de vandalismo de los que fueron objeto aquellos dispositivos que se encontraban más visibles.

Este problema se intentará solucionar para futuras instancias, ubicando los dispositivos conteniendo las cajas de almejas en zonas más profundas próximas a cada sitio y sin boyas

que delaten su posición, para evitar que los mismos sean detectados y vandalizados con facilidad.

Crecimiento

Se halló una mayor tasa de crecimiento en el sitio Cercano al vertido UBA2 con respecto al sitio Lejano al vertido UBA3 lo cual podría responder a una mayor disponibilidad de alimento en el primero de los sitios.

Adicionalmente, dada la carencia de datos de referencia (falta de almejas colectadas en el sitio aguas arriba del vertido de UPM), no es posible sacar conclusiones sobre posibles efectos locales relacionados a los efluentes descargados desde la planta UPM a partir de esta única acción de monitoreo.

Bioacumulación

De un total de 38 contaminantes analizados en tejido de almejas han sido detectados once, entre los cuales se encuentran dos compuestos clorofenólicos, ocho metales diferentes y un furano (el dibenzopentaclorofurano 1,2,3,7,8-PeCDF). Entre los parámetros no detectados se encuentran los compuestos organohalógenos extraíbles (EOX), sin embargo, cabe resaltar que durante esta instancia de monitoreo el límite de detección ha sido más elevado de lo usual debido a la escasez de tejido para los análisis (en instancias de análisis posteriores el límite de detección pasó de 50 mg/kg a 7 mg/kg, lo que permite mayor resolución para estos resultados).

Se detectaron dos compuestos clorofenólicos, el 2,6-diclorofenol detectado en los tejidos de los individuos pertenecientes a la muestra Blanco y en una de las cuatro muestras correspondientes al sitio Cercano al vertido (UBA2); mientras que el clorofenol 5,6-diclorovanillina, no fue detectado en la muestra Blanco y se detectó en tres de las cuatro muestras obtenidas en el sitio Cercano al vertido (UBA2) y en dos de las tres muestras obtenidas en el sitio Lejano al vertido (UBA3). Cabe destacar que, más allá de no poder comparar estas concentraciones con una situación de referencia por falta de réplicas, no se hallaron diferencias significativas entre las concentraciones de UBA2 y de UBA3 para este compuesto (ANOVA, $p > 0,05$).

Finalmente en cuanto a los metales, estos elementos han sido detectados en tejido en concentraciones variables, sin embargo al no contar con réplicas de la muestra "Blanco" ni muestras del sitio Control (UBA1) en este caso no se ha podido analizar estadísticamente esa variabilidad más que entre los sitios Cercano y Lejano al vertido (UBA2 y UBA3

respectivamente), en donde se observa una mayor concentración de manganeso bioacumulada en los tejidos de almejas en el sitio Cercano al vertido UBA2 con respecto a lo hallado en UBA3 y una mayor concentración de estaño en el sitio Lejano al vertido UBA3 con respecto a UBA2. Sin embargo, la concentración del resto de los metales analizados no difiere entre el sitio UBA2 y UBA3. Sólo se detectó berilio en una instancia en el sitio Cercano al vertido UBA2.

Utilizando como referencia una normativa internacional se observa que los valores de furanos detectados no implicarían un incumplimiento normativo, mientras que el resto de los parámetros aquí analizados en biota no son contemplados en normativas internacionales, por lo cual no se cuenta con referencia de comparación para los mismos. A partir del desarrollo de los subsiguientes muestreos en el marco de este programa, se prevé una ejecución con menor incidencia de las externalidades reportadas en el presente informe, lo que permitirá profundizar el análisis de los resultados.

5.2. PECES

5.2.1. METODOLOGÍA ESPECÍFICA

Las especies que han sido seleccionadas como centinela son *Iheringichthys labrosus* (bagre trompudo) y *Hoplias argentinensis* (tararira), ya que la primera cumple aparece con mayor frecuencia en los diferentes sitios de muestreo y la segunda cumple el rol de depredador tope en el ecosistema de hábito local, además de contar 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 mismas 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 matriz ha comenzado en el mes de octubre del 2019 y tiene previsto desarrollarse con periodicidad semestral. El día 28 de octubre se calaron redes en el sitio control (BBP1) y el día 29 de octubre en los sitios aguas abajo del vertido (UBP2 y UBP3).

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 de control (BBP1) ha sido seleccionado el entorno de la isla Bonfiglio (Arg.), localizado 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 los vertidos 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 al vertido han sido los definidos para los análisis en la matriz biota como UBP2 y UBP3 respectivamente. UBP2 es una zona cercana a la salida del efluente localizada aproximadamente a 2 km. del mismo, mientras que UBP3 se encuentra más alejada a una distancia aproximada de 3,5 km del vertido del efluente.

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 al vertido (UBP2)	0380257	6335161
Lejano al vertido (UBP3)	0379230	6335691

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 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>Iheringichthys labrosus</i>	UBP2-1	1	21,7
	UBP2-2	1	18,1
	UBP2-3	2	13,0 - 19,6
	UBP2-4	3	12,6 - 16,5
	UBP2-5	3	15,2 - 16,1
	UBP2-6	2	16,6 - 18,4
<i>Iheringichthys labrosus</i>	UBP3-1	3	14,9-18,4
	UBP3-2	5	12,0 - 13,7
	UBP3-3	6	11,4 - 12,3
	UBP3-4	2	14,0 - 19,8
	UBP3-5	4	11,7 - 12,9
	UBP3-6	13	9,0 - 11,0

En las muestras de músculo se han analizado los siguientes compuestos: compuestos órgano-halógenos 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 incluyendo 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 ⁻⁶
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 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

En el presente programa de bio-monitoreo se ha aplicado un diseño BACI (ver sección 2.3.) con modificaciones. En el caso del monitoreo de bioacumulación en peces no se cuenta con datos de línea de base previo al inicio de la descarga de la planta de UPM, por lo que se realizó una comparación simple (sin tener en cuenta el efecto temporal) de la zona Control (BBP1) con dos zonas receptoras: una cercana al vertido (UBP2) y una más alejada al vertido (UBP3). 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 los sitios de estudio como variable dependiente. Estas comparaciones estadísticas se realizan siempre que la cantidad de detecciones así lo permitieran, 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 realizaron 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 realizó mediante un análisis de la covarianza, ANCOVA, analizando un potencial efecto del sitio de estudio en la relación largo-peso de las poblaciones relevadas. Las comparaciones entre los índices de condición se realizaron 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 tres individuos de la especie *H. argentinensis*, los análisis de índices de condición se han limitado a la especie bagre trompudo, *I. labrosus*.

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 se han realizado 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, en el caso de los parámetros de bio-acumulación 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 zona, la comparación entre sitios se realiza con fin de evaluar las diferencias en las concentraciones de esos contaminantes entre cada una de las zonas contempladas.

5.2.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Índices de estado fisiológico en especies de peces centinela

En la Figura 138 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.

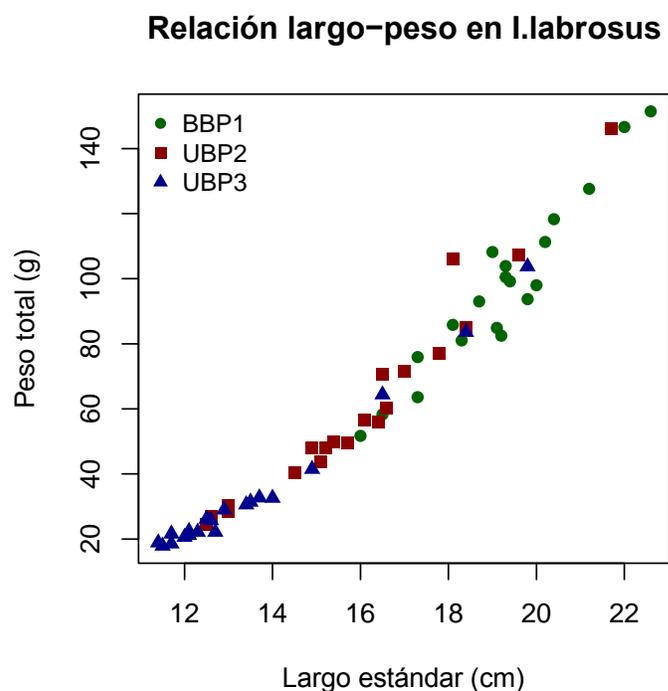


Figura 138: Relación largo-peso en *I. Labrosus*.

En esta Figura 138 se observa que en la relación-largo peso para los individuos de la especie *I. labrosus* analizados existe un sesgo de mayores tallas en la zona Control (BBP1) con respecto a los colectados en las zonas Cercana al vertido y Lejana al vertido (UBP2 y UBP3 respectivamente). 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 control (BBP1) en comparación con los otros dos sitios. Eligiendo individuos de similar rango de talla (usando individuos de entre 16 y 21cm 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 (ANOVA, $p > 0,05$).

La tabla a continuación muestra el valor promedio y el desvío estándar de cada uno de los índices de estado fisiológicos registrados para la especie *I. labrosus* en cada uno de los sitios de monitoreo, indicando las diferencias estadísticamente significativas entre sitios.

Índices de estado fisiológico para I. Labrosus.

Índices de estado fisiológico para la especie centinela <i>Iheringichthys labrosus</i>			
	Factor de condición	Índice gonadosomático	Índice hepatosomático
BBP1	0,81 ± 0,06	2,28 ± 1,99*	0,82 ± 0,23
UBP2	0,86 ± 0,07*	0,4 ± 0,19	0,73 ± 0,15
UBP3	0,81 ± 0,05	0,32 ± 0,2	0,75 ± 0,14

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

El factor de condición en el sitio Cercano al vertido (UBP2) es mayor que en los otros sitios de monitoreo, indicando que la masa corporal para individuos de igual talla es mayor en ese sitio que en el resto.

El índice gonadosomático es el mayor en el sitio 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 21 muestras de músculo de peces para las que se analizaron 31 compuestos, sólo cuatro compuestos -todos ellos compuestos fenólicos- se han detectado en alguna de las muestras (ver tabla a continuación): pentaclorofenol; 2, 6-diclorofenol; 5-6 diclorovanilina; y 2, 3, 4, 6- tetraclorofenol. No se han hallado niveles detectables de compuestos órgano halógenos ni tampoco de ninguno de los congéneres de dioxinas o furanos.

En cuanto al cumplimiento de la normativa de aplicación para los parámetros aquí analizados en la matriz biota, si bien no existe normativa vigente para el río Uruguay, al relevar normativas internacionales y cotejar valores obtenidos con lo allí dispuesto, destacamos que solo el parámetro Dioxinas y Furanos (WHO-TEQ) posee valores normativos de referencia (Directiva 2013/39 EU). En este sentido, dado que los valores hallados aquí son de 0 ng/kg (no detectando estos compuestos), y siendo el valor normativo estipulado por la Unión Europea de 65000 ng/kg, la concentración de Dioxinas y Furanos bioacumulada en peces no representaría un incumplimiento normativo.

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

Compuestos detectados en músculo de peces.

Parámetros detectados en músculo de peces	Control (BBP1)				Cercano al vertido (UBP2)		Lejano al vertido (UBP3)	
	<i>Hoplias argentinensis</i> (n=3)		<i>Iheringichthys labrosus</i> (n=6)		<i>Iheringichthys labrosus</i> (n=6)		<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)
Pentaclorofenol	67	0,002	17	0,002	ND	ND	ND	ND
2,6-Diclorofenol	ND	ND	ND	ND	ND	ND	33	0,004
5,6-Diclorovanilina	ND	ND	ND	ND	17	0.011	ND	ND

2,3,4,6- Tetraclorofenol	<i>ND</i>	<i>ND</i>	<i>ND</i>	<i>ND</i>	17	0,002	<i>ND</i>	<i>ND</i>
-------------------------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	--------------	-----------	-----------

Estructura de las comunidades de peces

Respecto a la riqueza específica de los distintos sitios relevados, se colectaron en total 54 especies de peces, 42 estando presentes la zona Control de Nuevo Berlín (BBP1), 35 en la zona Cercana al vertido (UBP2) y 31 en la zona Lejana al vertido (UBP3).

En cuanto a las abundancias totales se colectaron 741 individuos en la zona Control (BBP1), 378 en la zona Cercana al vertido (UBP2) y 622 en la zona Lejana al vertido (UBP3), habiéndose colectado biomásas de 28,6 kilogramos en BBP1, 12,4 Kg en UBP2 y 16,7 Kg en UBP3.

Cabe destacar que solo 20 de las especies registradas son comunes a los tres sitios de estudio. En la tabla a continuación se detallan las especies encontradas, así como la abundancia y biomasa total colectada por cada sitio.

Orden	Familia	Especie	BBP1		UBP2		UBP3		Totales	
			Biomasa (g)	Abundancia (N° de individuos)						
Redes agalleras 105-120 mm distancia entre nudos										
Characiformes	Anostomidae	<i>Megaleporinus obtusidens</i>				2	2997,6	3	2997,6	5
	Bryconidae	<i>Salminus brasiliensis</i>				1			-	1
	Prochilodontidae	<i>Prochilodus lineatus</i>	639,6	7		2			639,6	9
Siluriformes	Loricariidae	<i>Hypostomus aspilogaster</i>					627,2	1	627,2	1
		<i>Hypostomus commersoni</i>	565	1			368,2	1	933,2	2
		<i>Paraloricaria vetula</i>	268,5	1			450,8	2	719,3	3
	Pimelodidae	<i>Luciopimelodus pati</i>	537,3	1		1			537,3	2
		<i>Parapimelodus valenciennis</i>					22,7	1	22,7	1
Redes nórdicas multimalla 5-55 mm distancia de entre nudos										
Atheriniformes	Atherinopsidae	<i>Odonthestes humensis</i>	42,7	1		1	97,3	1	140	3
Characiformes	Acestrorhynchidae	<i>Acestrorhynchus pantaneiro</i>	895	16	240,9	2			1135,9	18
	Anostomidae	<i>Leporinus striatus</i>			305,5	35	70,7	6	376,2	41
		<i>Megaleporinus obtusidens</i>	2076,9	19	3547,9	32	3581,6	39	9206,4	90
		<i>Schizodon platae</i>	125,8	1					125,8	1
	Bryconidae	<i>Salminus brasiliensis</i>	1172,3	5			156,9	1	1329,2	6
	Characidae	<i>Astyanax lacustris</i>	103	6					103	6
		<i>Astyanax lacustris</i>			70,5	2	123	4	193,5	6
		<i>Astyanax sp</i>	897	138	123,3	19	931,7	133	1952	290
		<i>Bryconamericus iheringii</i>			9,7	3			9,7	3
		<i>Bryconamericus stramineus</i>	17,8	5	8,9	4	7	5	33,7	14
		<i>Cheirodon interruptus</i>	2	3					2	3
		<i>Cynopotamus argenteus</i>	444,4	18	337	7	601	13	1382,4	38
		<i>Galeocharax humeralis</i>	200,1	3	71,3	2	80,1	2	351,5	7
		<i>Odontostilbe pequirá</i>	9	17	0,6	1			9,6	18
		<i>Oligosarcus jenynsii</i>	199,4	7			79	4	278,4	11
	Curimatidae	<i>Cyphocharax platanus</i>	3445,9	136	452	20	1683,6	63	5581,5	219
		<i>Cyphocharax spilotos</i>	17,3	2			338,2	4	355,5	6
		<i>Steindachnerina brevipinna</i>	208,9	15					208,9	15
	Erythrinidae	<i>Hoplias argentinensis</i>	1844,3	3					1844,3	3
	Parodontidae	<i>Apareiodon affinis</i>	103,5	13	392,6	43	849,7	75	1345,8	131
Prochilodontidae	<i>Prochilodus lineatus</i>	1261,5	4	335	3	163,2	1	1759,7	8	
Serrasalminidae	<i>Pygocentrus natereri</i>	255,9	1					255,9	1	
	<i>Serrasalmus maculatus</i>			56,9	1	33,7	1	90,6	2	

Cichliformes	Cichlidae	<i>Crenicichla missioneira</i>			158	8	13,9	1	171,9	9	
		<i>Crenicichla minuano</i>			7,8	1			7,8	1	
Clupeiformes	Clupeidae	<i>Ramnogaster melanostoma</i>	56,6	9	38,6	8	483,7	98	578,9	115	
	Engraulidae	<i>Lycengraulis grossidens</i>	829,6	21	273,6	7	496,2	15	1599,4	43	
	Pristigasteridae	<i>Pellona flavipinnis</i>	895,8	5					895,8	5	
Gymnotiformes	Sternopygidae	<i>Eigenmannia trilineata</i>	35,1	2					35,1	2	
		<i>Eigenmania virescens</i>	68,9	3					68,9	3	
Perciformes	Scianidae	<i>Pachyurus bonariensis</i>	464,3	22	394,1	13	112,6	7	971	42	
Pleuronectiformes	Achiridae	<i>Catathyridum jenynsii</i>	36,5	1					36,5	1	
Siluriformes	Auchenipteridae	<i>Ageneiosus militaris</i>	437,3	3	55,4	1	96,9	2	589,6	6	
		<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>			2,5	1			2,5	1	
	Loricariidae	<i>Brochiloricaria chauliodon</i>			408,1	1				408,1	1
		<i>Hypostomus luteomaculatus</i>			485,5	1				485,5	1
		<i>Hypostomus uruguayensis</i>			464,2	1				464,2	1
		<i>Loricariichthys melanocheilus</i>	229,8	5	120,8	1	93,4	1		444	7
		<i>Loricariichthys platymetopon</i>	135,6	1						135,6	1
		<i>Otocinclus arnoldi</i>	5,5	11			0,3	1		5,8	12
		<i>Paraloricaria vetula</i>	2734,1	9	812,8	8	73,3	3		3620,2	20
	<i>Ricola macrops</i>	39,1	4	108,6	6	89,7	2		237,4	12	
	Pimelodidae	<i>Iheringichthys labrosus</i>	4791,2	151	2082,6	88	1218,3	73		8092,1	312
		<i>Parapimelodus valenciennis</i>	943,8	37	415,5	5	19,3	1		1378,6	43
		<i>Pimelodella gracilis</i>	76,8	20	122,9	31	201,7	53		401,4	104
		<i>Pimelodus absconditus</i>			20,9	2	60,6	2		81,5	4
<i>Pimelodus maculatus</i>		546,2	5	440,1	14	497,2	3		1483,5	22	
Trichomycteridae	<i>Pseudostegophilus maculatus</i>	1	1						1	1	
Biomasa y abundancias totales			28564,1	741	12364,1	378	16720,3	622	57648,5	1741	
Riqueza específica total				42		35		31		54	

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

5.2.4. CONCLUSIONES DE LA MATRIZ BIOTA-PECES

Índices de estado fisiológico

En cuanto a los índices de estado fisiológico, como se ha explicitado únicamente se determinaron para la especie *I. labrosus*. Estos índices han revelado una mayor condición corporal de los peces colectados en la zona Cercana al vertido (UBP2) y un mayor desarrollo gonadal en los individuos hembra de bagre trompudo obtenidos en la zona de Control (BBP1).

Los mayores factores de condición observados en la zona Cercana al vertido (UBP2) 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 las poblaciones que habitan en dicha zona. 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., 2019²).

Los ejemplares de *I. labrosus* tuvieron un mayor índice gonadosomático en la zona Control (BBP1), lo que podría estar relacionado con el hecho de que durante esta campaña se colectaron mayor número de individuos de grandes tallas (> 20cm) en la zona Control con respecto a las zonas aguas abajo del vertido (6 hembras con talla mayor a 20 cm contra sólo una colectada en UBP2).

En el contexto del monitoreo de posibles efectos del vertido de efluentes de UPM cabe cuestionarse si el menor desarrollo gonadal en los sitios ubicados aguas abajo del vertido podría relacionarse con un potencial efecto de la planta, 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, se requiere de datos durante periodos más extensos para comprobar posibles tendencias de cambios en desarrollos reproductivos sitio- específicos en el tiempo. Por ello, el 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 los resultados con normativa internacional de referencia no se advierten apartamientos normativos en el presente monitoreo. Cabe aclarar al respecto que únicamente el parámetro dioxinas y furanos posee normativa internacional de referencia en este caso, estableciendo que los valores acumulados en biota no deben superar los 65000 ng/kg (en el presente estudio no se detectó en ninguna de las

² 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>.

muestras concentraciones para estos compuestos por encima de un límite de detección de 0,22 ng/Kg).

Durante los análisis de bioacumulación no se han detectado compuestos organohalogenados (EOX) bioacumulados en los tejidos de peces colectados en la zona Control y en las zonas expuestas a los vertidos de UPM. Cabe resaltar en este sentido que, debido a la baja cantidad de tejido colectado, el laboratorio utilizó un límite de detección de 50 mg/kg, el cual está por encima de lo normal, pudiéndose mejorar este nivel de precisión en futuras instancias a valores entorno a los 7 mg/kg y permitiendo una mejor resolución de este análisis.

Se hallaron concentraciones de algunos compuestos clorofenólicos no normados en concentraciones bajas de acuerdo con valores basales de otras regiones (ver especificaciones más abajo), sin existir diferencias significativas detectables entre los tres sitios de monitoreo. Sin embargo, es de resaltar que en cada sitio de estudio se han hallado en esta ocasión compuestos clorofenólicos diferentes (pentaclorofenol en la zona Control BBP1, diclorovanilina y un tetraclorofenol en la zona Cercana al vertido UBP2 y un diclorofenol en la zona Lejana al vertido UBP3), pudiendo indicar asimilación de compuestos diferentes entre las tres zonas. A continuación, se detalla respecto a la posible significancia que puede tener 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 2022). Su uso más frecuente es como tratamiento en todas las maderas de uso en construcción, caminería e infraestructura agrícola (e.g. columnas, alambrados). En caso de que las plantaciones forestales que proveen los insumos de madera del proceso industrial se traten con este tipo de plaguicidas podría ser esperable detectar estos compuestos bioacumulándose en los peces de las zonas receptoras del efluente. Si bien este compuesto es rápidamente asimilado y excretado por los organismos, siendo poco acumulable, puede ser letal para los peces por encima de las concentraciones de 170 ug/l y ocasionar efectos desde concentraciones de 1 µg/L (Eisler, 1989³; Singh & Chandra, 2019⁴) en agua, 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, expone niveles de entre 0,003 a 0,260 mg/Kg (Eisler, 1989; Owens et al., 1994⁵). Si bien no se conoce en esa situación 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* en

³ Eisler, R., 1989. Pentachlorophenol hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. Contam. Hazard Rev. Rep. (17).

⁴ Singh, A.K., Chandra, R., 2019. Pollutants released from the pulp paper industry: Aquatic toxicity and their health hazards. Aquatic toxicology, 211, 202-216.

⁵ 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. M.

el sitio Control BBP1 son muy inferiores a los niveles asociados a los eventos de mortandad, estando en el entorno de los 0,002 mg/Kg, y también que no se ha detectado este compuesto en los sitios ubicados aguas abajo del vertido de UPM durante estas instancias de monitoreo. Dado esto, es posible concluir que las concentraciones de pentaclorofenol detectadas en este monitoreo no supondrían un riesgo para la biota.

Respecto al resto de los compuestos clorofenólicos detectados, si bien existen pocos antecedentes de análisis en músculo de peces, los mismos están estrechamente relacionados con los efluentes industriales de las plantas de pulpa de celulosa y han sido detectados bioacumulados en la biota (en líquido biliar y músculos de peces) en sitios localizados aguas abajo de papeleras, siendo potencialmente buenos indicadores de la exposición a este tipo de efluentes (e.g. Owens et al., 1994⁶). Uno de los pocos trabajos publicados al respecto refiere a un monitoreo realizado en Canadá durante el comienzo de los 90', en el marco del estudio de impacto ambiental de una de las primeras plantas de celulosa que incorporó tratamiento secundario y usó de dióxido de cloro como agente blanqueador, donde se detectaron (en músculo de peces de la especie mountain whitefish (*Prosopium williamsoni*)) concentraciones de entre 1 y 9 mg/kg de los diferentes compuestos clorofenólicos (Owens et al., 1994). Ante ese relevamiento los autores consideraron tales valores como bajos y sugirieron monitorear estos compuestos en la matriz líquido biliar además de en tejido muscular de peces ya que los clorofenoles son rápidamente concentrados en el hígado y excretados por lo cual la mayor bioacumulación ocurre en la bilis. A modo comparativo nótese que los valores hallados en el presente monitoreo de bioacumulación en peces de la zona de influencia de los vertidos de UPM están en el rango de entre 0,004 y 0,011 mg/kg, es decir, siendo de casi 1000 veces inferiores a los reportados en dicho caso de estudio.

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.

Especies centinela

Más allá de su poder descriptivo y de permitir 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

⁶ 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.

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, en abundancia y biomasa tal que permite la extracción del número de muestras estipulado (al menos 6 individuos y 500 gramos por sitio).

En referencia la elección de la especie *H. argentinensis*, en el presente monitoreo no se colectaron individuos en los sitios Aguas abajo del vertido UBP2 y UBP3, obteniéndose únicamente tres muestras en el sitio Control BBP1. 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 que en futuras instancias de monitoreo tampoco se colecten suficientes individuos de *H. argentinensis*, y a partir de los resultados comunitarios analizados, podrán incorporarse otras especies complementarias al análisis como, por ejemplo, las especies de vieja del agua *Paraloricaria vetula* o *Loricariichthys melanocheilus* (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.

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 del vertido de efluentes de la planta UPM se colectaron tres muestras de sedimento durante cada campaña de monitoreo: una de un sitio aguas arriba del vertido de efluentes (UByS1), una de un sitio cercano al vertido aguas debajo de éste (UByS2) y otra de un sitio más alejado aguas abajo del vertido (UByS3). 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 cm² 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 de INALI 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 REALIZADAS

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

Taxa y abundancia de bentos en sedimento.

Clase	Orden	Familia	Especie/taxa	UByS1		UByS2		UByS3	
				Abril	Octubre	Abril	Octubre	Abril	Octubre
Clitellata	Haplotaxida	Naididae	<i>Pristina americana</i>	-	-	-	-	4	-
			<i>Pristina breviseta</i>	-	-	-	-	1	-
			<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	-	-	-	-	-	4
			<i>Limnodrilus neotropicus</i>	-	-	-	-	-	1
			<i>Branchiura sowerbyi</i>	-	-	-	-	-	1
			<i>Slavina appendiculata</i>	-	-	-	4	-	-
			<i>Aulodrilus pigueti</i>	-	10	-	-	-	-
			<i>Bothrioneurum sp.</i>	-	6	-	-	-	-
Gastropoda	Gastropoda	Cochliopidae	<i>Heleobia sp.</i>	-	2	-	-	-	-
Insecta	Diptera	Chironomidae	<i>Aedokritus sp.</i>	-	6	-	-	-	1
			<i>Coelotanypus sp.</i>	-	2	-	6	-	-
			<i>Criptochironomus sp.</i>	-	4	-	-	1	-
			<i>Polypedium sp.</i>	-	-	1	-	2	-
			<i>Fissimentum sp.</i>	1	-	-	-	-	-
Abundancia total				1	30	1	10	8	7
Riqueza de taxa total				1	6	1	2	4	4

Se ha registrado en total la presencia de 14 taxa de macroinvertebrados en los sedimentos finos de la zona de influencia del vertido de efluentes de la planta UPM; siete de estos taxa han sido registrados en el sitio aguas arriba del vertido, tres en el sitio cercano y ocho en el sitio más lejano al vertido de efluentes.

Entre los grupos taxonómicos que dominan los ensambles se destacan los oligoquetos (Clitellata) de la familia Naididae (con ocho especies registradas) y las larvas de dípteros (insectos) de la familia Chironomidae (con cinco géneros registradas).

5.3.3. CONCLUSIONES SOBRE LA MATRIZ BENTOS EN SEDIMENTO

Los ensambles de macroinvertebrados asociados a sedimentos finos han resultado altamente variables entre los dos muestreos realizados en cada sitio, colectando una composición diferente en cada instancia.

En términos generales en los muestreos de abril se han colectado menores valores de abundancia y riqueza (con un máximo de 8 individuos y 4 taxa en total, en el sitio Lejano al vertido (UByS3); siendo el muestreo de primavera (octubre) aquel en el cual se registran los valores máximos (30 individuos de abundancia y 6 taxa en el sitio Aguas arriba del vertido (UByS1); mientras que en el sitio Lejano al vertido (UByS3) el comportamiento es levemente diferente, en tanto la riqueza se ha mantenido en el mismo valor en los dos monitoreos (4 taxa) y la abundancia ha resultado levemente superior (8 vs 7 individuos) en el muestreo del mes de abril. Para el sitio cercano al vertido (UByS2) se cumple la mínima riqueza y abundancia en el mes de abril (con 1 individuo perteneciente a 1 taxa), mientras que en el mes de octubre se registra la máxima riqueza y abundancia (10 individuos pertenecientes a 2 taxa).

Las especies o taxa presentes halladas pertenecen mayoritariamente a grupos como los Oligoquetos y los Quironómidos, que son conocidas por habitar ambientes dominados por sedimentos finos y con bajo nivel de oxígeno, por lo cual muchas de ellas poseen adaptaciones en su modo de vida 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 pueda analizar posibles patrones en la composición de los ensambles de macroinvertebrados asociados a sedimentos finos en cada uno de estos sitios.

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 zona de vertido directo, inmediatamente aguas abajo de la misma, denominado Tox (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). 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 del segundo muestreo del año 2019, 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 basada 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 por alteraciones en el metabolismo o a daños en la estructura celular). Este ensayo fue encargado 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 Tox	Abril 2019	Julio 2019	Octubre 2019
Resultado (%)	s/d	s/d	> 100%
Observaciones	-*	-*	No tóxico

*Los resultados para estos meses de abril y julio (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 Tox	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, para el período informado.

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 sitios de muestreo: un sitio blanco Aguas arriba del vertido, un sitio de muestreo Cercano al vertido y un tercer sitio Lejano al vertido, a unos tres kilómetros aproximadamente. Estos sitios son coincidentes con las zonas 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 (*Hyaella 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 el 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 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 *Hyaella 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 se analizó únicamente la muestra extraída en el sitio Tox, que se encuentra cercano a la zona de vertido de la empresa UPM. Para el mes de octubre se realizaron análisis de toxicidad en los sitios U1 y U2 (zona Aguas arriba del vertido), U3 y U4 (zona Cercana al vertido) y U5 y U6 (zona Lejana al vertido, ver Figura 1).

6.2.2. RESULTADOS

Toxicidad en *Pimephales promelas*

Abril 2019

En el mes de abril se realizó el análisis de toxicidad aguda con *Pimephales promelas* en el sitio Tox, reportándose 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 las muestras extraídas en el mes de octubre no se registraron efectos sobre la mortalidad de larvas del pez *Pimephales promelas* a las 96 hs (toxicidad aguda) ni a los 7 días (toxicidad crónica).

Para ninguno de los sitios relevados (U1, U2, U3, U4, U5 y U6) se ha detectado cambios significativos en la biomasa de las larvas con respecto a su grupo control ($p > 0,05$), cuando los individuos han sido expuestos durante 96 hrs a la muestra de agua directamente extraída del río (concentración 100%).

No obstante, el laboratorio ha informado también acerca de la detección de cambios significativos para individuos expuestos a distintas fracciones de la muestra 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 un aumento significativo en la biomasa con respecto al Control para una concentración del 25% de agua de río en los sitios U2 (Aguas arriba), U5 y U6 (ambos Lejanos al vertido, $p < 0,05$). En el sitio U2 también se detectaron aumentos en la biomasa de los organismos para las concentraciones de muestra al 12,5% y 6,25%. Para los restantes sitios y diluciones no se observaron diferencias significativas en la biomasa respecto a sus respectivos grupos Control ($p > 0,05$).

Se presenta a continuación la tabla con los resultados de toxicidad correspondientes al mes de octubre de 2019:

Sitio	Parámetro	Resultado	Unidad
U1	Toxicidad aguda LC50 (96hs)	>100	%
	Toxicidad crónica LC50 (7d)	>100	%
	Efectos de biomasa	Sin efecto	%
U2	Toxicidad aguda LC50 (96hs)	>100	%
	Toxicidad crónica LC50 (7d)	>100	%
	Efectos de biomasa	Las concentraciones al 25%, 12,5% y 6,25% produjeron un aumento en la biomasa de los organismos.	%
U3	Toxicidad aguda LC50 (96hs)	>100	%
	Toxicidad crónica LC50 (7d)	>100	%
	Efectos de biomasa	Sin efecto	%
U4	Toxicidad aguda LC50 (96hs)	>100	%
	Toxicidad crónica LC50 (7d)	>100	%
	Efectos de biomasa	Sin efecto	%
U5	Toxicidad aguda LC50 (96hs)	>100	%
	Toxicidad crónica LC50 (7d)	>100	%
	Efectos de biomasa	La concentración al 25% produjo un aumento en la biomasa de los organismos	%
U6	Toxicidad aguda LC50 (96hs)	>100	%
	Toxicidad crónica LC50 (7d)	>100	%
	Efectos de biomasa	La concentración al 25% produjo un aumento en la biomasa de los organismos	%

Toxicidad crónica en *Hyalella curvispina*

Abril 2019

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

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

Supervivencia (%)		
Hora	Muestra	
	C0	Tox
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 Tox 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 Tox ($p>0,05$ 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
C0	100	90	90	90	90
Tox	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 15% en la muestra correspondiente al sitio U2 (Aguas arriba del vertido).

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

Supervivencia (%)							
Hora	Muestra						
	C0	U1	U2	U3	U4	U5	U6
0	100	100	100	100	100	100	100
24	100	100	85	100	100	100	100
48	100	100	85	100	100	100	100
72	100	100	85	100	100	100	100
96	100	100	85	100	100	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 U4 (zona Cercana al vertido) con respecto al grupo Control.

Los estudios de reproducción (apareamiento) indican que la exposición a las muestras de los distintos sitios 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					
Tratamiento	Hora				
	1	2	3	4	24
C0	100	90	80	70	60
U1	100	100	100	100	70
U2	100	90	100	100	70
U3	100	100	100	90	70
U4	100	100	100	100	50
U5	100	100	100	100	80
U6	100	100	100	100	80

No se observaron efectos en los amplexos precopulatorios *Hyalella curvispina* ni en el número promedio de neonatos producidos por hembra. Sin embargo, las muestras de los sitios U4 (Cercano al vertido) y U6 (Lejano al vertido) produjeron menos neonatos en total que el grupo Control.

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

Neonatos por tratamiento	
Tratamiento	Neonatos
C0	17
U1	23
U2	19
U3	17
U4	2
U5	21
U6	3

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 100%) no se han detectado cambios significativos en la supervivencia ni en el crecimiento de los peces. No obstante, se ha registrado un aumento significativo en el crecimiento de *Pimephales promelas* en los sitios U2, U5 y U6 al ser expuestos los organismos a condiciones experimentales con agua del río diluida al 25 % y también a niveles de dilución inferiores en el sitio U2.

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 U2 (ubicado aguas arriba del vertido) en la campaña del mes de octubre de 2019 para la cual se reportó un efecto letal del 15% aunque sin la posibilidad de asignar significación estadística a este resultado visto la cantidad de réplica utilizadas en este bioensayo. En cuanto a efectos sobre el crecimiento y sobre la reproducción, no se observaron diferencias significativas 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 U4 (Cercano al vertido) y U6 (Lejano al vertido) 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 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 el realizado en el mes de abril de 2019 y completando el segundo muestreo del año en el mes de octubre de 2019. En la zona de potencial influencia de la Planta Orión (UPM-ex Botnia) se ubicaron tres sitios de muestreo para este estudio: uno aguas arriba de la salida del efluente de la planta (zona aguas Arriba, UByS1), otro aguas abajo de la mencionada salida (denominado zona Cercana al vertido, UByS2) y el tercero más alejado aguas abajo (zona Lejana al vertido UByS3). 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 arena muy fina o de granulometría 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 *Hyaella 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 *Hyaella curvispina*" que está basada en 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), de la Universidad Nacional de Luján (UNLU).

6.3.2. RESULTADOS

Toxicidad crónica en sedimentos con *Hyaella 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 mayores al 90% en todos los casos, mientras que la supervivencia del grupo control fue en promedio del 80% (lo que cumple con los criterios aceptados por 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
UByS1	90 (+/-)7
UByS2	96 (+/-)5
UByS3	97 (+/-)5

En referencia a los parámetros de crecimiento determinados para las muestras del mes de abril (longitud y peso), no se observaron diferencias significativas de los anfípodos expuestos a las muestras evaluadas en relación con el grupo Control (Figura 136, $p > 0,05$).

Otro resultado de los ensayos reportados para el mes de abril indicó un crecimiento de los individuos, con un aumento significativo en relación con el grupo inicial, en el peso de los animales expuestos al sedimento Control y a la muestra UByS3 (Lejano al vertido), en tanto los organismos expuestos a las muestras UByS1 (Aguas arriba) y UByS2 (Cercano al vertido) no incrementaron su peso significativamente en relación con el tiempo inicial del ensayo (Figura 136). A su vez, los anfípodos expuestos a las muestras UByS1 y UByS2 se diferenciaron significativamente de los expuestos a la muestra UByS3, siendo esta última en la que se observó un mayor incremento del peso promedio de los individuos (Figura 136).

Estudio de crecimiento de Hyalella curvispina, abril de 2019.

TRATAMIENTO	LONGITUD (mm/ind)		PESO (mg/ind)	
	MEDIA	DESVIO ESTANDAR	MEDIA	DESVIO ESTANDAR
TIEMPO INICIAL	4,16	0,73	0,45	0,22
CONTROL	4,85	0,83	0,87	0,32
UByS1	4,69	0,78	0,65	0,26
UByS2	4,49	0,81	0,61	0,24
UByS3	5,07	0,58	0,96	0,25

En la Figura 139, 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 *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.

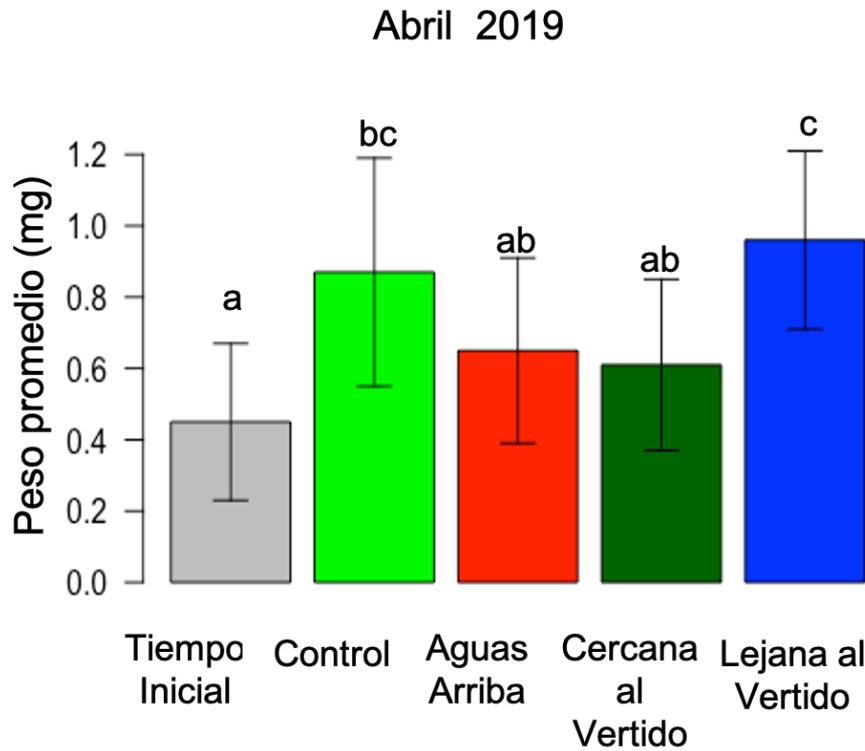


Figura 139: Estudio de crecimiento en *Hyalella curvispina*, abril de 2019.

Octubre 2019

En referencia a los estudios de supervivencia, en ninguna de las muestras analizadas hubo mortalidad significativa de los individuos respecto al Control ($p > 0,05$). El porcentaje de supervivencia de los anfípodos expuestos al sedimento Control fue 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 95%.

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

Tratamiento	Supervivencia
Control	98 (+/-)5

UByS1	100 (+/-)0
UByS2	98 (+/-)5
UByS3	96 (+/-)9

Con respecto a los posibles efectos sobre el crecimiento, los individuos expuestos a las muestras de los sitios UByS2 y UByS3 presentaron un largo significativamente mayor al registrado en el grupo Control hacia el fin del experimento. De forma similar, para el sitio UByS3, los individuos expuestos presentaron un peso final significativamente superior que el peso de los individuos del grupo Control. Por otro lado, el crecimiento en largo y en peso de los individuos para las muestras de UByS1, UByS2, y UByS3 no difirió significativamente entre estos sitios ($p > 0,05$). Cabe resaltar además que, en este ensayo, tanto en los individuos del grupo Control como en los de los sitios UByS1, UByS2 y UByS3, se observó un crecimiento estadísticamente significativo en largo y en peso con respecto a la situación inicial (Fig. 140).

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
UByS1	3,86	0,84	0,51	0,28
UByS2	4,13	0,77	0,53	0,25
UByS3	4,04	0,78	0,66	0,26

En la Figura 140, 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.

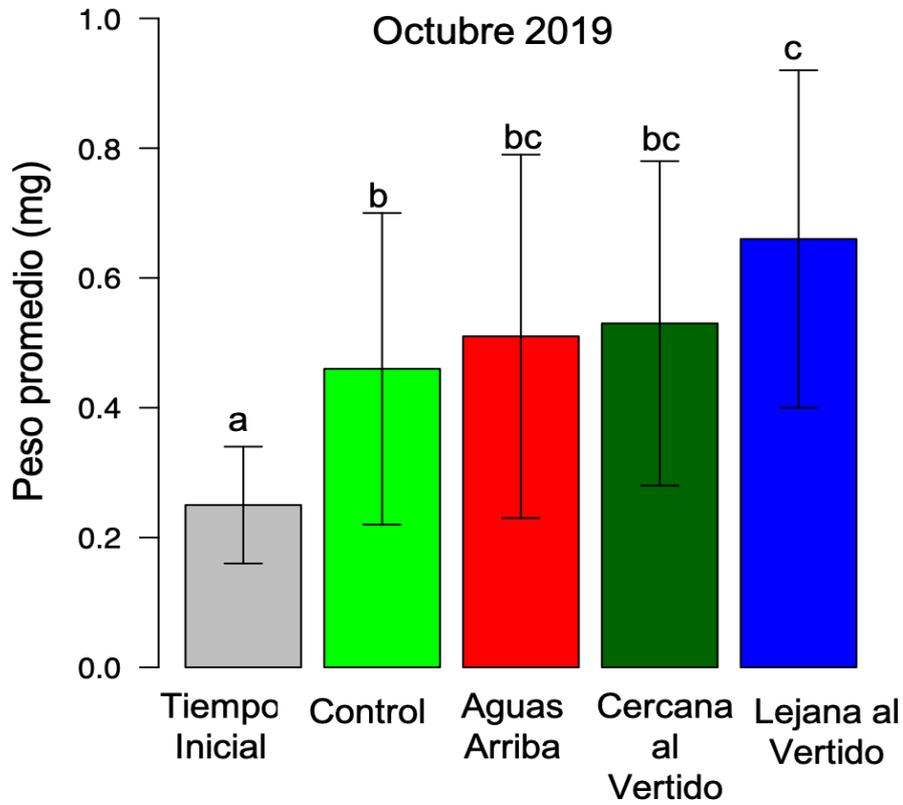


Figura 140: Estudio de crecimiento de *Hyalella curvispina*, octubre de 2019.

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 80 y 100 %.

En cuanto a los efectos sobre el crecimiento a tiempo final del ensayo, si bien en el mes de abril no se han detectado diferencias en el crecimiento de los individuos expuestos al sedimento de UByS1 (Aguas arriba del vertido), UByS2 (Cercano a vertido), y UByS3 (Lejano a vertido) con respecto a un grupo Control, para el mes de octubre se registró un crecimiento significativamente mayor de los individuos expuestos al sedimento de los sitios Cercano al Vertido y Lejano al vertido con respecto al correspondiente grupo Control. Complementariamente, se ha detectado un mayor crecimiento de los organismos en el caso de UByS3 con respecto a UByS2 y UByS1 para el bioensayo desarrollado en abril, aunque este patrón no se ha repetido en los ensayos llevados a cabo en octubre, no hallando crecimiento diferencial entre los sitios.

En cuanto al crecimiento registrado con respecto al tiempo inicial luego de exponer a *Hyalella* al sedimento de cada sitio por 10 días, los patrones son levemente similares entre los dos bioensayos realizados, siendo que en el bioensayo de abril los individuos analizados para UByS3 fueron los únicos que efectivamente crecieron luego de la exposición a los sedimentos, mientras que para el bioensayo de octubre todos los tratamientos con individuos expuestos a los sedimentos de cada sitio mostraron un crecimiento significativo.

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 *Hyalella curvispina* y el pez *Pimephales promelas*) al ser expuestos al agua (y también al sedimento en caso de *Hyalella curvispina*) correspondiente a zonas cercana y lejana al vertido. De hecho, no se han registrado efectos en la supervivencia en ninguno de los sitios analizados, excepto por una mortandad del 15 % en las *H. curvispina* expuestas al agua del sitio U2, aguas arriba del vertido, 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 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 *Hyalella* y en *Pimephales*, al exponer los organismos al agua del río no se han detectado cambios significativos en el crecimiento de los peces, ni tampoco cambios en la actividad copulatoria de los anfípodos. En los bioensayos desarrollados en octubre con el anfípodo *Hyalella* se registró un efecto de menor crecimiento de los organismos en el sitio U4, localizado cercano al vertido, y se observó que tanto los individuos de ese sitio como los de U2 (Aguas arriba del vertido) producen menos neonatos que el tratamiento control durante su reproducción.

En relación a los posibles efectos de toxicidad crónica en sedimento se puede resaltar que no han existido diferencias en el crecimiento final de los individuos expuestos a sedimentos de un sitio Aguas arriba, uno Cercano al vertido y otro Lejano al vertido con respecto al crecimiento de un tratamiento Control. Por otro lado, si bien los patrones de diferencias en crecimiento entre los sitios de estudio no han sido completamente coincidentes entre los muestreos de abril y de octubre, siempre se ha registrado consistentemente un crecimiento estadísticamente significativo (con respecto al tiempo inicial) de los organismos expuestos al sedimento del sitio Lejano al vertido (UByS3). No se ha registrado crecimiento estadísticamente significativo con respecto al tiempo inicial para los sitios aguas arriba y cercano al vertido en el muestreo de abril de 2019 pero sí el muestreo de octubre de 2019. A modo general, estos resultados pueden indicar que las condiciones del sedimento en el sitio Lejano al vertido promueven un mayor crecimiento de los individuos. Esto podría 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 esto ser profundizado en la medida de que con la prosecución de la actividad de monitoreo se cuente con una mayor disponibilidad de datos para ello.

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 los efluentes de UPM 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, 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 una zona aguas arriba de la descarga (que se presume no afectada por el vertido industrial), en una zona aguas abajo de la descarga cercana al vertido del efluente, y en otra zona aguas abajo más lejana al vertido.

En líneas generales, aguas abajo del vertido de UPM se observaron cambios estadísticamente significativos con respecto a la condición del río aguas arriba y atribuibles a las descargas de la empresa respecto a conductividad, sodio, sulfatos, cloruros, azufre, arsénico y potasio. Estos parámetros representarían los principales aportes en los vertidos al río por parte de UPM, puesto que muchos de ellos son, además, iones mayoritarios en los efluentes de industrias de ese tipo y en concentraciones muy superiores a las que se encuentran normalmente en el río Uruguay.

Si bien el efecto que la descarga de los efluentes tiene sobre los valores de los parámetros arriba mencionados no se registra de igual forma en todos los casos, los cambios detectados resultan en principio explicables y por tanto atribuibles a la existencia de la descarga de la planta industrial de UPM. En el parámetro conductividad es donde la existencia del vertido resulta más evidente, en tanto en la zona cercana al vertido se puede apreciar una estratificación a lo largo de la columna de agua, donde el estrato sub-superficial resulta en conductividades significativamente menores a las observadas en el fondo de la columna de agua. Cabe recordar que el efluente de UPM presenta una conductividad entre 4000 y 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mientras que en el agua del río Uruguay este parámetro normalmente fluctúa entre 45 y 90 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la zona no afectada por la descarga, aguas arriba del vertido.

Se ha identificado otro conjunto de parámetros para los cuales aguas abajo en la zona más lejana al vertido se observa un aumento significativo de sus valores con respecto a los de la condición del río aguas arriba de la descarga (aunque para estos parámetros no se observaron diferencias significativas respecto a los valores medidos en la zona

cercana al vertido). Tal es el caso de los parámetros boro, calcio, carbono orgánico disuelto, dureza, estroncio y silicio, y un patrón similar, pero con una disminución significativa en la zona lejana al vertido, ocurre para los parámetros oxígeno disuelto y turbidez. Los patrones observados para estos parámetros impiden asignar estos cambios únicamente a las descargas de la industria, siendo que podrían estar asociados a la suma de estos efluentes con otros aportes que recibe el río Uruguay entre las zonas cercana y lejana al vertido.

También en cuanto a la variación espacial en los valores de los parámetros de calidad de aguas analizados, se ha detectado que dos parámetros típicamente asociados a los vertidos de efluentes industriales como los de UPM (DBO₅ y AOX) presentan concentraciones aguas arriba de la zona de vertido que resultan significativamente mayores a las registradas aguas abajo de la descarga, pudiendo ser que el comportamiento identificado responda a la presencia de otros efluentes no estudiados aguas arriba de la zona de vertido de los efluentes de UPM. Por ejemplo, para el sitio U1 (no afectado por el vertido industrial) se registraron ocurrencias de valores elevados de cromo, níquel, estaño, y molibdeno durante el mes de julio de 2019, lo cual podría indicar un aporte complementario probablemente de origen industrial aguas arriba de la descarga de UPM.

Durante el periodo reportado, en la zona de estudio se observaron incumplimientos respecto a los límites normativos aplicables a las aguas del río Uruguay (Digesto de la CARU) únicamente para los parámetros oxígeno disuelto, pH, hierro, cromo y níquel. En el mes de enero de 2019 los incumplimientos ocurrieron para el parámetro oxígeno disuelto únicamente para todos los sitios ubicados aguas abajo del vertido de UPM, y para el parámetro pH en todos los sitios del área de estudio. Cabe destacar que estos registros fueron realizados con una condición de caudal muy elevada (superior a 21.000 m³/s). En el mes de julio se registraron valores de cromo y níquel por sobre el límite normado en el sitio U1 (aguas arriba del vertido de UPM). En el caso del parámetro hierro, sus niveles de concentración resultaron frecuentemente por encima de la normativa de aplicación para todos los sitios de monitoreo, excepción hecha para el sitio U1 donde no se registraron incumplimientos para este parámetro.

Sobre la matriz sedimento

En lo que refiere a la matriz sedimentos, los resultados de las campañas que aquí se informan son los primeros obtenidos para esta matriz hasta la fecha y por ello el número de muestreos disponibles no permite aún en este caso realizar comparaciones estadísticas entre los sitios aguas arriba del vertido, cercano al vertido y lejano al vertido. No obstante ello, 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.

Inicialmente se destaca una diferencia que existe en la granulometría de las muestras extraídas de los distintos sitios, siendo que los sedimentos provenientes del sitio cercano al vertido son en su mayoría compuestos por sedimentos finos (>50%), en el sitio aguas arriba de la descarga y en el sitio lejano al vertido los sedimentos poseen menos de 30% de sedimentos finos. Este aspecto 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.

En el sitio cercano al vertido se observaron las mayores concentraciones para todos los contaminantes detectados tanto para compuestos inorgánicos (sulfuros) como para compuestos orgánicos en su concentración sobre la muestra completa (sin corregir por la fracción más fina del sedimento). Una vez realizada la corrección granulométrica, los parámetros carbono orgánico y materia orgánica resultan más bajos en el sitio cercano al vertido que en los sitios aguas arriba y lejano al vertido. Se detectaron fenoles en una ocasión en el mes de octubre en el sitio cercano al vertido, y no se detectaron EOX en ninguno de los sitios relevados durante el periodo de estudio.

En rasgos generales estos resultados obtenidos en la matriz sedimento parecen coincidir con algunos de los hallazgos de la matriz agua, por ejemplo, en lo referido al azufre en agua que podrían relacionarse con la presencia de sulfuros en sedimento, los que también fueron más elevados en la zona cercana al vertido con respecto a las zonas restantes.

Para los compuestos analizados en sedimento, al momento de la realización de la actividad no se contaba con normativa propia de CARU ni de otra referencia internacional utilizada en este informe. Por ello, no es posible determinar cumplimientos normativos para esos parámetros.

Sobre la matriz biota

En referencia al monitoreo con organismos centinela, el ensayo de crecimiento realizado con almejas de la especie *Corbicula fluminea* muestra dos resultados diferentes según el tamaño de los ejemplares considerados: 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 mayor tasa de crecimiento en el sitio cercano al vertido respecto al sitio lejano al vertido. Ello podría responder a una mayor disponibilidad de alimento en el sitio cercano al vertido, pero no se ha podido profundizar en esa hipótesis dado que, por problemas operativos, presumiblemente robo o vandalismo, no se pudo contar con datos de condición final en el sitio aguas arriba del vertido (sitio de referencia o control).

En cuanto a los análisis realizados para determinar posible bioacumulación en tejido de almejas, los resultados obtenidos detectaron la presencia de 11 de los 38 compuestos

analizados. En referencia a los compuestos clorofenólicos, se detectó 2,6-diclorofenol en la muestra blanco y en el sitio cercano al vertido; mientras que se detectó 5,6-diclorovanilina en los sitios cercano y lejano al vertido. Respecto a las dioxinas y furanos, se detectó el furano 1,2,3,7,8-PeCDF en el sitio cercano al vertido. En el tejido de las muestras de todos los sitios de estudio se detectaron los metales cromo, níquel, manganeso, zinc, aluminio, hierro y estaño; mientras que se detectó berilio en una muestra del sitio cercano al vertido. Para ninguno de los compuestos analizados en biota se detectaron diferencias significativas en las concentraciones entre los sitios relevados, ni tampoco valores que superen los límites normativos internacionales aplicables (por ejemplo, en el caso de las dioxinas y furanos).

En el otro nivel trófico estudiado, el de peces, los individuos de la especie centinela seleccionada *I. labrosus* colectados en la zona aguas abajo de la descarga cercana al vertido del efluente presentaron una condición corporal significativamente mayor que aquellos colectados en la zona de referencia (Aguas arriba del vertido) o en la zona aguas abajo más lejana al vertido (mayor cantidad de grasa corporal acumulada). 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 en los ejemplares hembra colectados en la zona Aguas arriba del vertido (control) respecto de aquellos colectados aguas debajo de la descarga (cercana y lejana al vertido). 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 de efluentes 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 ante la exposición continuada al vertido.

En relación con la potencial bioacumulación en músculo de peces de compuestos asociables a la existencia de la descarga de efluentes, se ha detectado presencia ocasional de cuatro compuestos fenólicos en ejemplares colectados en las zonas Aguas arriba (pentaclorofenol), aguas abajo Cercana al vertido (diclorovanilina y tetraclorofenol) y aguas abajo Lejana al vertido (diclorofenol).

En cuanto a la comparación con niveles normativos corresponde hacer notar que solo los parámetros dioxinas y furanos cuentan con normativa internacional de referencia para músculo de peces. Siendo que no se han detectado estos compuestos acumulados en músculos de peces en ninguna de las zonas relevadas durante el periodo analizado, no se registran incumplimientos a la normativa internacional de referencia.

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 aguas abajo de la traza del emisario de UPM inmediato al vertido (dentro de la zona de mezcla definida por Uruguay para esa descarga).

Tampoco 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 *Hyalella curvispina* y el pez *Pimephales promelas*), al ser expuestos al agua (y también al sedimento en caso de *Hyalella curvispina*). De hecho, no se han registrado efectos en la supervivencia en ninguno de los sitios analizados, excepto por una mortandad del 15 % en las *H. curvispina* expuestas al agua del sitio U2, aguas arriba del vertido, 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 sedimentos del río en la zona de monitoreo no afectan la supervivencia de los organismos acuáticos analizados.

Por otra parte, los ensayos de toxicidad crónica realizados no descartan que individuos de *Hyalella curvispina* expuestos al agua y sedimento de muestras extraídas en sitios ubicados aguas abajo de la descarga del efluente experimenten cambios en sus tasas de crecimiento, en tanto se ha registrado un crecimiento significativamente mayor en la zona lejana al vertido en comparación con la zona cercana al mismo en al menos una de las instancias de monitoreo llevadas a cabo. Ese hallazgo sobre potenciales cambios en los patrones de crecimiento de organismos entre las diferentes zonas del río analizadas aguas abajo de la descarga también aplica al bioensayo con almejas, aunque el sentido de los cambios hallados para estos organismos es el opuesto al caso de los individuos de *H. curvispina*, dado que para las almejas se registró mayor crecimiento en la zona cercana que en la zona lejana al vertido. Estos cambios en las tasas de crecimiento podrían deberse a una disponibilidad diferencial de nutrientes o a la incorporación de sustancias químicas que de alguna manera favorezcan o perjudiquen 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.

Iván González

Eduardo

Ricardo

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 el vertido de efluentes de la planta Orion (UPM-ex Botnia) en 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 a la existencia de la descarga de efluentes en escenarios muy cambiantes del medio receptor. 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, que para el caso va desde los 1.752 m³/s estimados para el mes de abril hasta los 21.380 m³/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. Pero además la generación de bases de datos extendidas en el tiempo permitirá abordar en mayor profundidad los efectos ambientales que genera la descarga industrial, posibilitando también disgregar con mayor precisión los efectos sobre el sistema generados propiamente por el aporte de los vertidos de UPM de aquellas otras ocurrencias independientes de tales aportes.

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 la incidencia de acciones vandálicas y de reducir 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.