

Proyecto

Estudio de las condiciones que inducen la proliferación de algas en los ríos Chimehuin y Malleo: un marco para la gestión y el pronóstico



Informe Final
Junio 2024

Dirigido a *The Nature Conservancy* Argentina

Coordinadores del proyecto:
Miguel Pascual (IPEEC-CONICET-CENPAT) & Pablo Hualde (CEAN)
Grupo de trabajo en Anexo 1

TABLA DE CONTENIDOS

<i>Introducción</i>	3
<i>Enfoque general del proyecto</i>	4
<i>Actividad 1. Estudio de la dinámica espacial y estacional de las floraciones algales y de las variables ambientales que las promueven.</i>	5
Características generales de los ríos considerados	7
Patrones espaciales de la concentración de nutrientes y de las floraciones de algas en los ríos Malleo y Chimehuin	9
Valores de referencia de la concentración de nutrientes.....	14
Nutrientes y floraciones algales en el río Chimehuin	16
Análisis del ensamble de macroinvertebrados en los ríos Malleo y Chimehuin	20
<i>Actividad 2. Análisis a nivel de cuenca para identificar las principales fuentes y contribuciones de nitrógeno y fósforo desde la cuenca hacia el río.</i>	21
Tarea 2.1. Mapa de uso y cobertura del suelo del Río Chimehuin.....	21
Tarea 2.2. Identificación química de fuentes de nutrientes en río.....	21
Tarea 2.3. Identificación estadística de fuentes de nutrientes en el río Chimehuin.....	24
<i>Actividad 3. Participación ciudadana y apoyo a la gestión ambiental.</i>	25
Tarea 3.1. Ciencia ciudadana	25
Tarea 3.2. Talleres participativos.	27
<i>Actividad 4. Identificación de medidas de manejo y definición de próximos pasos.</i>	29
<i>Actividad 5. Informes.</i>	33
<i>Bibliografía</i>	34
<i>Anexo 1. Grupo de Trabajo y responsabilidades.</i>	36
<i>Anexo 2. Actividades, Tareas y entregables.</i>	37
<i>Anexo 3. Metodología de la Actividad 1: Estudio de la dinámica espacial y estacional de las floraciones algales y las variables ambientales que las promueven.</i>	41
<i>Anexo 4. Capas SIG disponibles de los ambientes analizados.</i>	44
<i>Anexo 5. Cobertura temporal y espacial de los muestreos estacionales periódicos y detalle de las actividades y muestras en cada sitio.</i>	46
<i>Anexo 6. Data loggers para registro de temperatura y luz en ríos.</i>	48
<i>Anexo 7. Análisis de macroinvertebrados bentónicos.</i>	50
<i>Anexo 8. Construcción de un mapa de uso y cobertura del suelo de la cuenca del río Chimehuin.</i>	60
<i>Anexo 9. Resultados del análisis de isótopos estables en biofilm del río Chimehuin.</i>	62
<i>Anexo 10. Ajuste de modelos estadísticos de la relación entre cobertura del suelo y aportes de nutrientes.</i>	63
<i>Anexo 11. Aplicación “Alerta Algas”.</i>	78
<i>Anexo 12. Participantes del primer taller participativo del proyecto.</i>	80
<i>Anexo 13. Participantes del taller final de presentación de resultados.</i>	82
<i>Anexo 14. Murales confeccionados por los tres grupos de trabajo en el taller del día 30 de mayo de 2023.</i>	84
<i>Anexo 15. Reseña de acciones y recomendaciones con relación al efluente cloacal y descargas al río Chimehuin.</i>	85

INTRODUCCIÓN

Este documento reporta los resultados de las actividades del “*Estudio de las condiciones que inducen la proliferación de algas en los ríos Chimehuin y Malleo: un marco para la gestión y el pronóstico*”, realizado con el apoyo de *The Nature Conservancy (TNC) Argentina*. El equipo de trabajo está constituido por investigadores del IPEEC-CONICET, junto a investigadores y otro personal del Centro de Ecología Aplicada del Neuquén (CEAN), Junín de los Andes (Anexo 1).

El equipo del CEAN ha estado monitoreando las floraciones de algas en el río Chimehuin desde el año 2011, cuando el alga introducida *Didymo* (*Didymosphenia geminata*) empieza a ser conspicua en éste y otros ríos de la región. En el año 2018, diferentes usuarios del río y propietarios de estancias de la sección inferior del río comienzan a notar fuertes floraciones del alga nativa *Cladophora sp.* (Figura 1). En febrero de 2018 se realiza la primera campaña dirigida a evaluar la extensión y condiciones de estas floraciones, seguido de muestreos semi-regulares en los dos años siguientes. El apoyo de TNC a partir de fines de 2021 permitió enriquecer los monitoreos históricos en busca de las causas de las floraciones, aumentando el número de ambientes analizados y la frecuencia de muestreos, sumando además nuevas técnicas de evaluación. El estudio se enmarcó además dentro de una perspectiva ecosistémica, que permitió indagar sobre el origen de los aportes de nutrientes a los ríos a escala de cuenca, fortaleciendo además la interacción con las comunidades de la cuenca.

Las floraciones de algas nativas son una manifestación primaria de las transformaciones sufridas por los ríos de Patagonia como resultado del cambio climático (mayor temperatura y menores caudales), el desarrollo no planificado de actividades humanas (mayor contribución de sedimentos y nutrientes a los cursos de agua) y la introducción de especies (cambios en la composición faunística y florística). Presentan, por lo tanto, una oportunidad para empezar a identificar y caracterizar los impactos antrópicos sobre la salud ambiental de las cuencas fluviales, como paso fundamental para la gestión de estas.



Figura 1: Floración de *Cladophora sp.* en el río Chimehuin inferior y detalle.

Las actividades reportadas en este informe comienzan en noviembre de 2021 con el aporte de equipamiento para el registro automático de condiciones físicas de los ríos (registradores automáticos de temperatura del agua y luz en ríos) por parte del Sr. James Kelley, donante de este proyecto, seguido de la primera liberación de fondos por parte de *The Nature Conservancy* en marzo de 2022. En el primer informe presentado en septiembre de 2022 se reportaron las actividades realizadas **desde diciembre de 2021 hasta el 31 de agosto de 2022**. En el segundo informe presentado en junio de 2023 se agregaron las actividades realizadas **hasta el 31 de mayo de 2023**. En este informe final, se reportan todas las actividades desarrolladas, incluyendo la realización del Taller de Cierre del día **30 de mayo de 2024**.

ENFOQUE GENERAL DEL PROYECTO

Este proyecto enfocó en monitorear la ocurrencia de floraciones algales en ríos de la cuenca alta del Limay en función de las condiciones biofísicas de los ríos y sus cuencas, a fin de producir un modelo para la aparición de floraciones de algas en función de los niveles de nutrientes y otras condiciones ambientales. En términos prácticos-normativos se pretendió determinar los niveles de nutrientes, tanto nitrógeno (N) como fósforo (P), que son críticos para el desarrollo de las algas, ya que el aporte de nutrientes es una variable que podría controlarse a partir de regulaciones y cambios de prácticas en las actividades humanas. Por la misma razón, se propuso indagar acerca de las fuentes de nutrientes a nivel de cuenca a

fin de generar recomendaciones de manejo relacionadas a las condiciones y actividades que afectan a la calidad del agua. La aproximación metodológica incluyó:

- a. Una colección de ríos que brindan contraste interno y entre ríos en cuanto a las condiciones ambientales y el desarrollo de las floraciones.
- b. Una combinación de muestreos extensivos en el río, análisis de información hidroclimática y ciencia ciudadana para identificar las condiciones de luz, temperatura, N y P, y características estructurales del río que habilitan el desarrollo de floraciones de algas en el espacio y en el tiempo.
- c. Un análisis a nivel de paisaje de la cuenca del río Chimehuin, con la ayuda de análisis de isótopos estables, para identificar las principales contribuciones estacionales de N y P desde la cuenca y hacia el río.
- d. Talleres con diferentes grupos de personas en la cuenca en el transcurso del proyecto para recolectar información, compartir avances y resultados del programa de investigación, y analizar acciones de mitigación.

El Anexo 2 muestra en forma esquemática la estructura del proyecto. El informe a continuación está estructurado siguiendo la secuencia de actividades en esta estructura.

ACTIVIDAD 1. ESTUDIO DE LA DINÁMICA ESPACIAL Y ESTACIONAL DE LAS FLORACIONES ALGALES Y DE LAS VARIABLES AMBIENTALES QUE LAS PROMUEVEN.

Esta actividad hace foco principal en los ríos Malleo y Chimehuin, ríos de cabecera de la Cuenca del Río Limay, donde se verifican floraciones algales recurrentes. En estos dos ríos se establecieron varios sitios a largo de los cursos principales (Figura 2), a los cuales se agregaron dos estaciones en el río Collon Cura, colector de ambos ríos y tributario mayor del río Limay, y una estación en la parte inferior del río Caleufu, otro tributario del Collon Cura donde aún no se registran floraciones algales de la magnitud observada en los otros ríos.

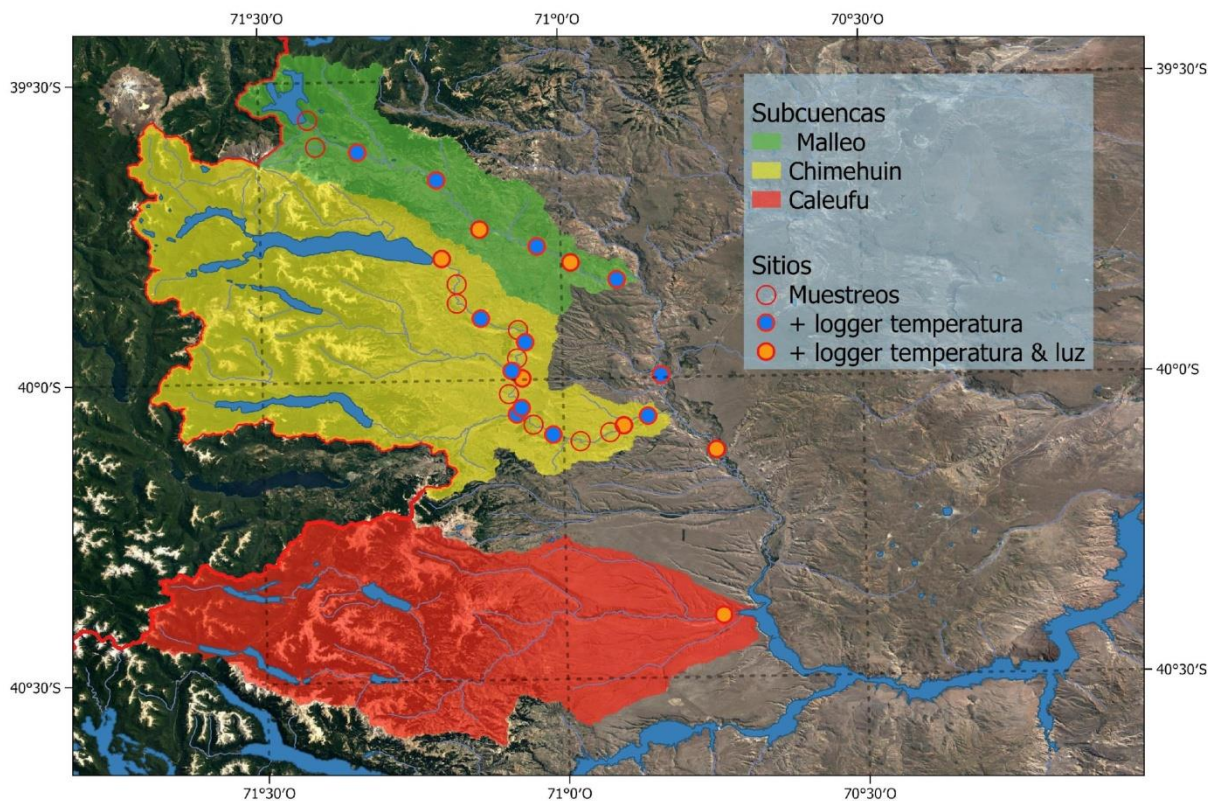


Figura 2: Las tres subcuencas estudiadas, la ubicación de sitios de muestreo y de los data loggers. Existen tres tipos de sitios: aquellos en los que se realizan sólo muestreos, aquellos en los que además de los muestreos se instalaron data loggers que registran temperatura del agua y aquellos en donde además de los muestreos se instalaron data loggers que registran temperatura del agua e intensidad de luz.

Esta es la actividad vertebral del proyecto, apuntada a relevar integralmente la condición de los ríos y de las floraciones algales, a lo largo del año y en distintas secciones de los ambientes para los ríos Malleo y Chimehuin y en forma extensiva en los otros dos ríos (Anexo 3). Los muestreos en los ríos se realizaron cuatro veces al año (febrero, abril-mayo, octubre-noviembre y diciembre), en un máximo de 29 sitios, 18 en el río Chimehuin, 8 en Malleo, 1 en Caleufu y 2 en Collon Cura (Figura 2). Además, a principios de diciembre de 2021 se instalaron 18 data loggers, 9 en el río Chimehuin, 6 en el río Malleo, 2 en el río Collon Cura y 1 en el río Caleufu (Figura 2). Todos los data loggers registraron temperatura y 7 de ellos registraron además intensidad de luz. Los Anexos 3, 4, 5 y 6 describen toda la metodología utilizada para la Actividad 1.

A fin de lidiar con la multidimensionalidad intrínseca de analizar las características ambientales a lo largo de múltiples ríos, sitios dentro de ríos, distintos años y momentos dentro del año, se analizan secuencialmente los patrones generales a distintas escalas de análisis, desde datos agregados a nivel de río, pasando a datos agregados a lo largo de los

dos ríos focales (Malleo y Chimehuin), hasta llegar al análisis de datos a nivel de sitio y muestreos específicos para los mismos dos ríos, para terminar focalizando los análisis en el río Chimehuin, donde se verifican los mayores impactos antrópicos y es más urgente, por lo tanto, fortalecer la gestión ambiental.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS RÍOS CONSIDERADOS

Los cuatro ríos estudiados muestran algunos contrastes importantes en cuanto a sus características generales y temperatura del agua (Figura 3) y acerca de la concentración de nutrientes en sus aguas y la cobertura del fondo por algas (Figura 4).

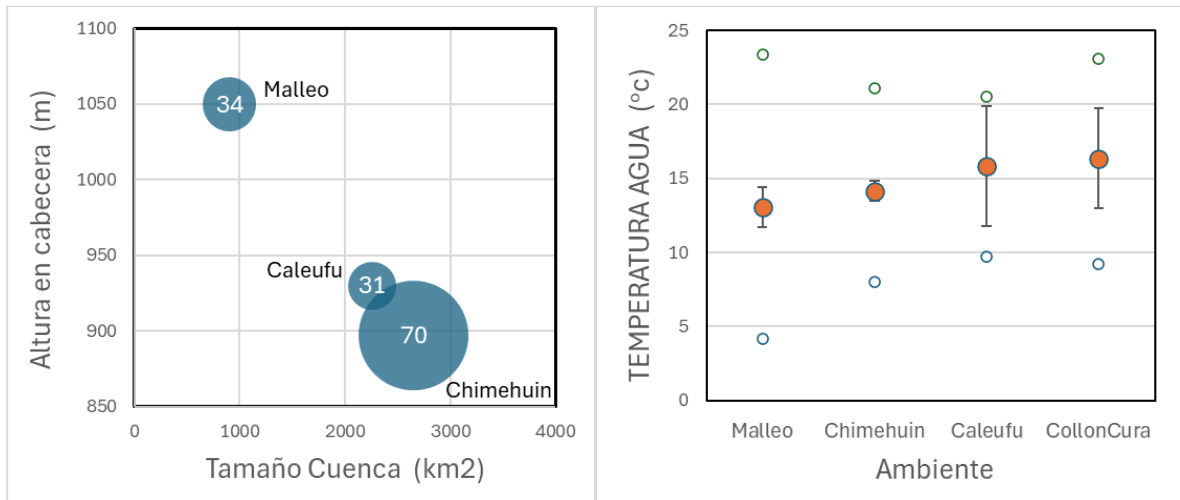


Figura 3: características generales de los ríos estudiados. Panel izquierdo: tamaño total de las tres cuencas analizadas aportantes al Collón Cura versus altura del lago de cabecera. Radio de burbujas proporcional a caudal medio anual. Panel derecha: temperaturas medias registradas en cada ambiente (círculos rojos), intervalos de confianza de la media (bigotes) y valores extremos (círculos abiertos).

Las cuencas de los ríos Chimehuin y Malleo son las dos más extensas dentro de los tributarios del Aluminé-Collon Cura (>2000km²), con más del doble de superficie que la cuenca del río Malleo (Figura 2 y Figura 3). El Malleo, por otra parte, tiene el lago de cabecera más elevado (Tromen, 1050 msnm) y, con relación a esto, las temperaturas medias del agua más bajas en el período estudiado (Figura 3). La mayor dispersión en las temperaturas de los ríos Malleo y Chimehuin con respecto a las de Caleufu y Collon Cura se debe a que los dos primeros fueron muestreados a lo largo de todo el curso, mientras que los otros dos, solo en lugares puntuales.

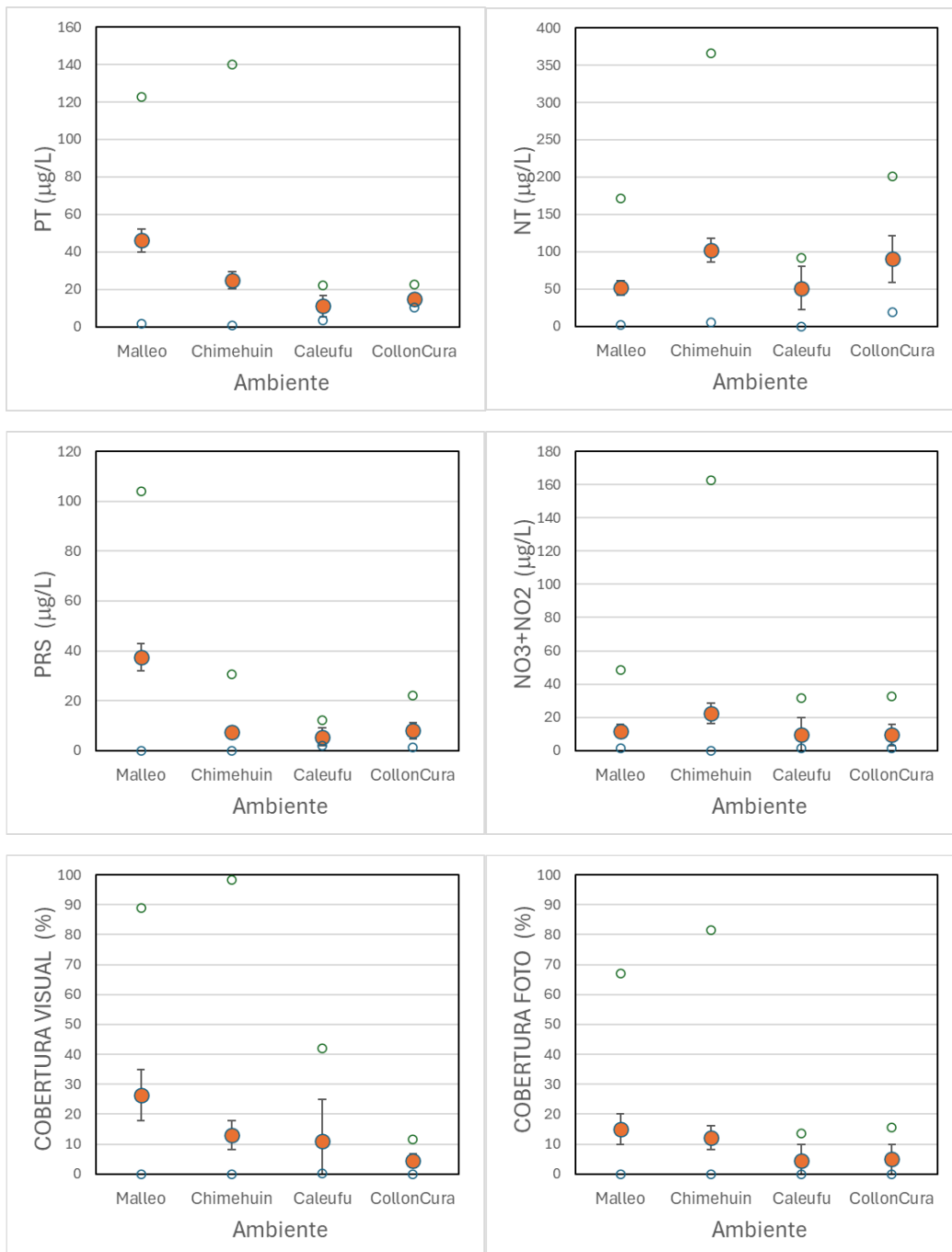


Figura 4: Parámetros generales de los ríos registrados a lo largo de este estudio. Valores medios para cada ambiente (círculos rojos), intervalos de confianza de la media (bigotes) y valores extremos (círculos abiertos). Panel superior izquierdo: concentración de fósforo total (PT); panel superior izquierdo; concentración de nitrógeno total (NT); panel intermedio izquierdo: fósforo reactivo soluble (PRS); panel intermedio derecho: fósforo total (PT). Panel inferior izquierdo cobertura de algas por medio de inspección visual en sitios; panel inferior derecho: cobertura de algas filamentosas por medio de fotografías subacuáticas analizadas en gabinete.

Con respecto a la concentración de nutrientes determinada en el agua (Figura 4), el río Malleo está claramente enriquecido en fósforo con respecto a los otros ríos, tanto fósforo total (PT) como fósforo reactivo soluble (PRS), mientras que el río Chimehuin está enriquecido en nitrógeno con respecto a los otros ríos, tanto nitrógeno total (NT) como nitratos más nitritos ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$) (Figura 4). El río Chimehuin también es más rico en PT en promedio que los ríos Caleufu y Collon Cura. El enriquecimiento del Malleo en fósforo y del Chimehuin en nitrógeno se manifiesta, además, a través de valores extremos altos muy superiores a los de los otros ríos en los indicadores correspondientes (Figura 4).

Los valores de cobertura media de algas y, particularmente, los valores extremos altos en Malleo y Chimehuin se destacan con respecto a los otros dos ríos, evidenciando episodios de floraciones algales frecuentes (Figura 4). Mientras que en Malleo y Chimehuin se registraron eventos con $>70\%$ de cobertura del fondo por parte de algas filamentosas, en los otros dos ríos nunca se registraron coberturas superiores al 15%. Como nota metodológica, en este estudio se utilizaron dos métodos para estimar la cobertura de algas (Anexo 5). La cobertura visual se estimó a campo en forma directa, como el promedio de las apreciaciones de 2/3 individuos. La cobertura por fotos se estimó a partir del promedio de tres fotos cenitales subacuáticas tomadas en el sitio de muestreo y medición posterior en laboratorio de la cobertura a partir del análisis de la foto con asistencia de software. El primer método es más rápido y económico; el segundo método se espera que sea más preciso y además permite identificar cobertura específica de algas filamentosas, separándola de otros organismos “verdes” que pueden incluirse en el primer método. Un análisis de correlación mostró que el segundo método es más preciso y específico, por lo que en el resto de este informe se reportan solo resultados del segundo método, el cual se recomienda para futuro estudios.

PATRONES ESPACIALES DE LA CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES Y DE LAS FLORACIONES DE ALGAS EN LOS RÍOS MALLEO Y CHIMEHUIN

Esta sección se enfoca en los dos ríos más enriquecidos de nutrientes, Chimehuin y Malleo, donde se registraron floraciones intensas y sistemáticas (sección anterior). En el río Malleo, se estudiaron los perfiles de nutrientes y floraciones algales en siete estaciones a lo largo del río y en dos afluentes, arroyos Correntoso y Turbio (Figuras 5), entre diciembre 2021 y abril 2023. En el río Chimehuin, se estudiaron los perfiles de nutrientes y floraciones algales en siete estaciones a lo largo del río y en dos afluentes, arroyos Correntoso y Turbio (Figuras 5) en el mismo período.

En ambos ríos identificamos fuentes puntuales de nutrientes, las cuales elevan las concentraciones de nutrientes. Estas fuentes son el Arroyo Correntoso en Malleo y el efluente de la planta de tratamiento cloacal de Junín de los Andes en el Chimehuin (Figura 5). Cuando se analizan las aguas de estos ríos en forma longitudinal, corriente abajo, vemos

que estas fuentes puntuales elevan en forma significativa el fósforo en ambos ríos y el nitrógeno en el Chimehuin (Figuras 6 y 7).

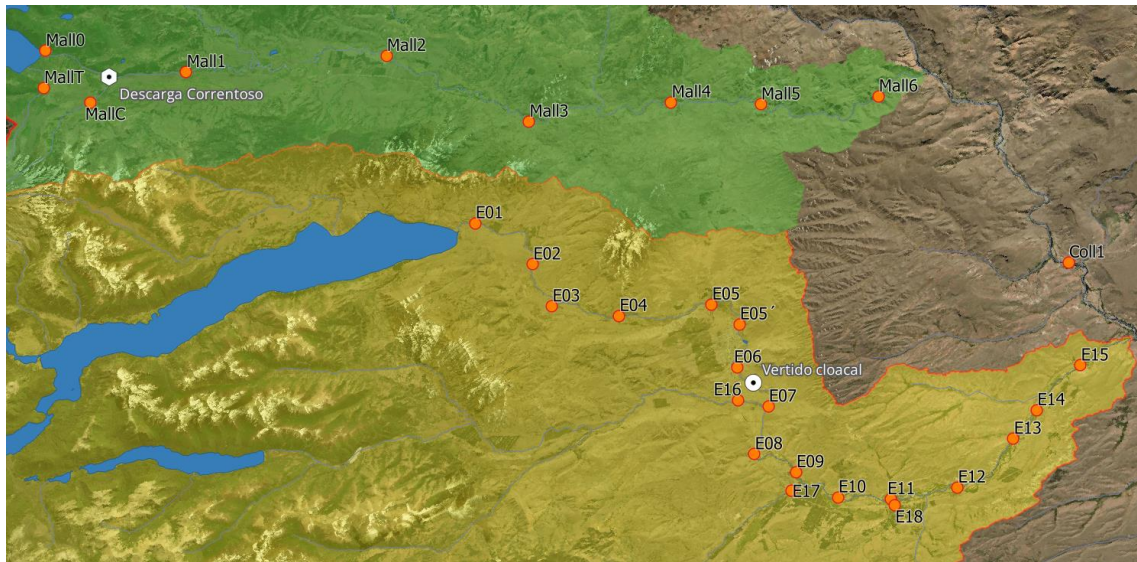


Figura 5: Recorte de las cuencas de los ríos Malleo (verde) y Chimehuin (amarillo) con los sitios de muestreo y sus códigos, y los vertidos puntuales del Arroyo Correntoso (hexágono) y planta de tratamiento de efluentes cloacales de Junín de los Andes (círculo).

En el río Malleo se produce una notable elevación de las concentraciones de fósforo, tanto en forma de PT como de PRS, a partir de la desembocadura del arroyo Correntoso, el cual en sí mismo tiene concentraciones notables de fósforo (Figura 6). La cercanía en los valores de concentración de PT y de PRS indica que prácticamente todo el fósforo en este río está en forma de PRS, el cual está directamente disponible para su absorción y uso por parte de los organismos autótrofos acuáticos, particularmente las algas. También indica una dominancia de fósforo de naturaleza inorgánica, seguramente de origen geológico. El arroyo Correntoso, que tiene sus nacientes en las laderas del volcán Lanín, es la principal fuente de este PRS, seguramente a través del lavado de rocas volcánicas superficiales o profundas ricas en fósforo en la ladera del Lanín. Este es una ocurrencia singular, ya que sólo ciertas rocas volcánicas son ricas en fósforo (Andrés Bilmes y José Cuitiño, CONICET-IPGP, Puerto Madryn, com. pers.). La determinación de la fuente exacta del fósforo demandará una investigación específica de la cuenca del Arroyo Correntoso, su geología y el agua en sus vertientes y tributarios.

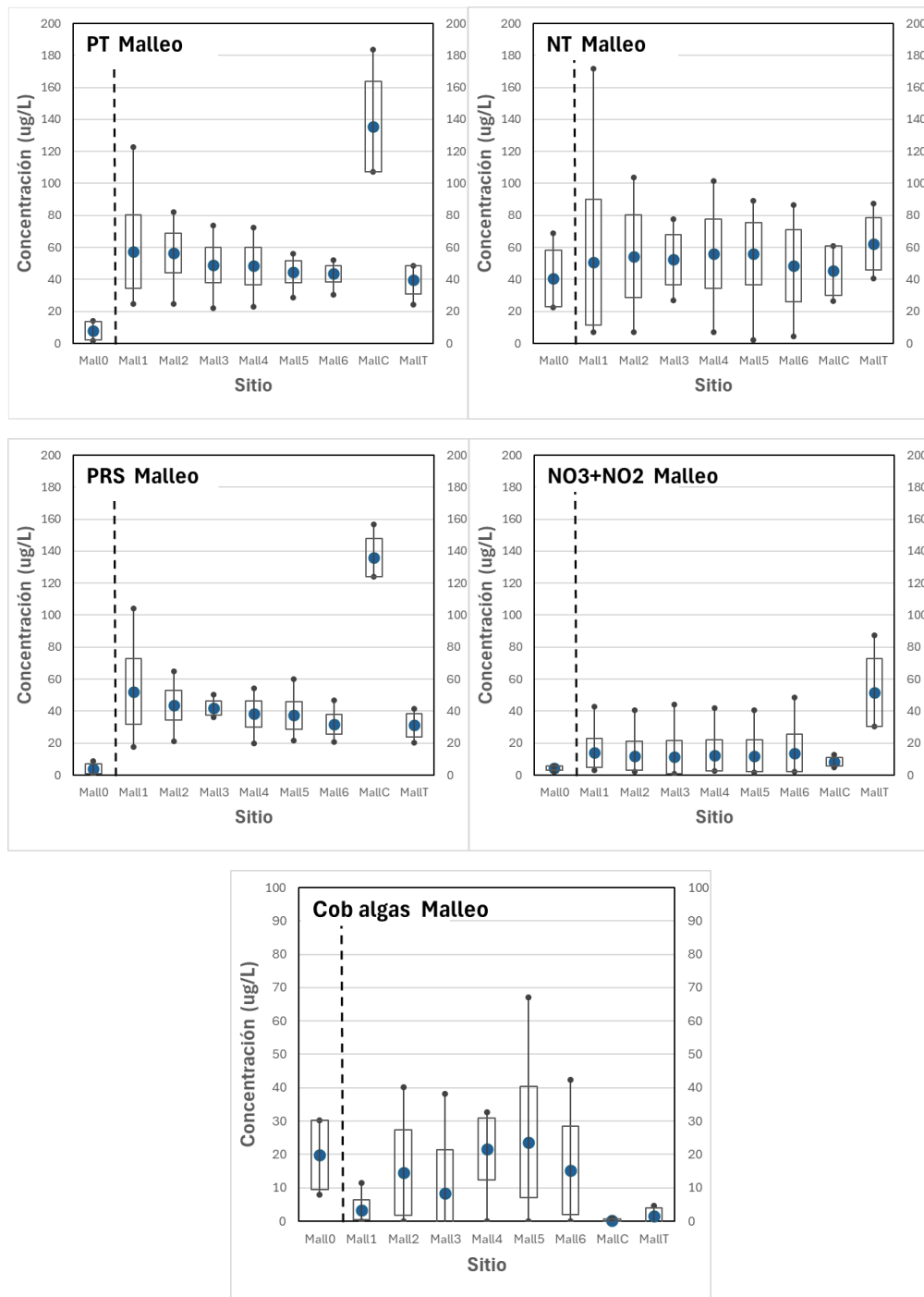


Figura 6: Perfiles de nutrientes y de cobertura de algas a lo largo del río Malleo (Mall0 a Mall6) y en dos afluentes, Correntoso (MallC) y Turbio (MallT). La línea punteada indica el lugar de aporte del Correntoso. El Turbio desemboca en el lago de cabecera, Tromen, cerca de la boca del Malleo. Valores medios (círculos azules), intervalos de confianza de la media (cajas) y valores extremos (bigotes con círculos pequeños negros) registrados en distintos sitios en toda la colección de muestreos. Paneles superiores: fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT); paneles medios: fósforo reactivo soluble (PRS) y nitrógeno disuelto inorgánico (en NO_3+NO_2); panel inferior: cobertura de algas filamentosas.

Por otra parte, los afluentes del Malleo parecieran tener además algún aporte significativo de nitrógeno. Por ejemplo, el Turbio muestra valores elevados de NO_3+NO_2 con respecto a sitios a lo largo del río, aunque sin un efecto muy marcado sobre las aguas del río Malleo (Figura 6).

Las coberturas de algas filamentosas en el río Malleo fueron elevadas entre las estaciones Mall2 y Mall6 (medias entre 10 y 25%; máximas entre 30 y 70%; Figura 6). Se registra un valor de cobertura relativamente alto en la boca del Malleo (Mall0) que no estuvo acompañado de concentraciones elevadas de ninguno de los nutrientes evaluados.

En el río Chimehuin, los perfiles de nutrientes y de floraciones a lo largo del río muestran una división en dos dominios claramente diferenciados (Figura 7), uno en la sección aguas arriba del aporte de la planta de tratamiento de efluentes cloacales (PTEC) de la localidad de Junín de los Andes y otro aguas abajo de la misma (entre las estaciones E06 y E07). A partir de este punto, se producen aumentos muy marcados en las concentraciones de nitrógeno total (NT), nitrógeno inorgánico en forma de nitratos y nitritos (NO_3+NO_2) y fósforo reactivo soluble (PRS). La elevación en estos tres nutrientes se manifiesta tanto en las medias y sus intervalos de confianza, como en los valores extremos, máximos y mínimos, lo cual refleja que se trata de un patrón consistente y persistente a lo largo de los años (2021 a 2023) y meses (febrero, abril, mayo octubre, diciembre) en los que se recogieron las muestras que aquí se grafican.

Más allá de la clara elevación de nutrientes asociada a la PTEC, en el Chimehuin se registran variaciones marcadas dentro y entre sitios a la escala de pocos kilómetros, lo que no ocurre en Malleo, indicando que no se deberían completamente a variabilidad en los métodos analíticos, sino que se trataría, al menos en parte, a variación real. Un factor que produce variación longitudinal en la concentración de nutrientes a lo largo del río es el consumo gradual de los mismos por parte de las comunidades biológicas, notablemente los productores primarios como las algas. Tal consumo se manifestaría a través de una declinación media, como se verifica con el NT a partir del aporte de la PTEC y a lo largo de la parte inferior del río (Figura 7). Esta mayor variabilidad inter-sitios observada en el Chimehuin con respecto al Malleo también podría estar indicando la existencia de aportes adicionales de nutrientes, distintos al aporte cloacal, los cuales combinados con los patrones de consumo aguas abajo del aporte, podrían producir el patrón complejo observado. Esto se analiza más adelante cuando se profundiza en el análisis específico del origen de los nutrientes a escala de cuenca.

La cobertura de algas filamentosas fue baja en todas las estaciones aguas arriba de la contribución de la PTEC (medias todas menores a 10% y máximos menores a 30%), mientras que todas las coberturas altas se registraron aguas abajo del aporte de la PTEC (medias entre 15 y 35% y máximos entre 60 y 80%; Figura 7).

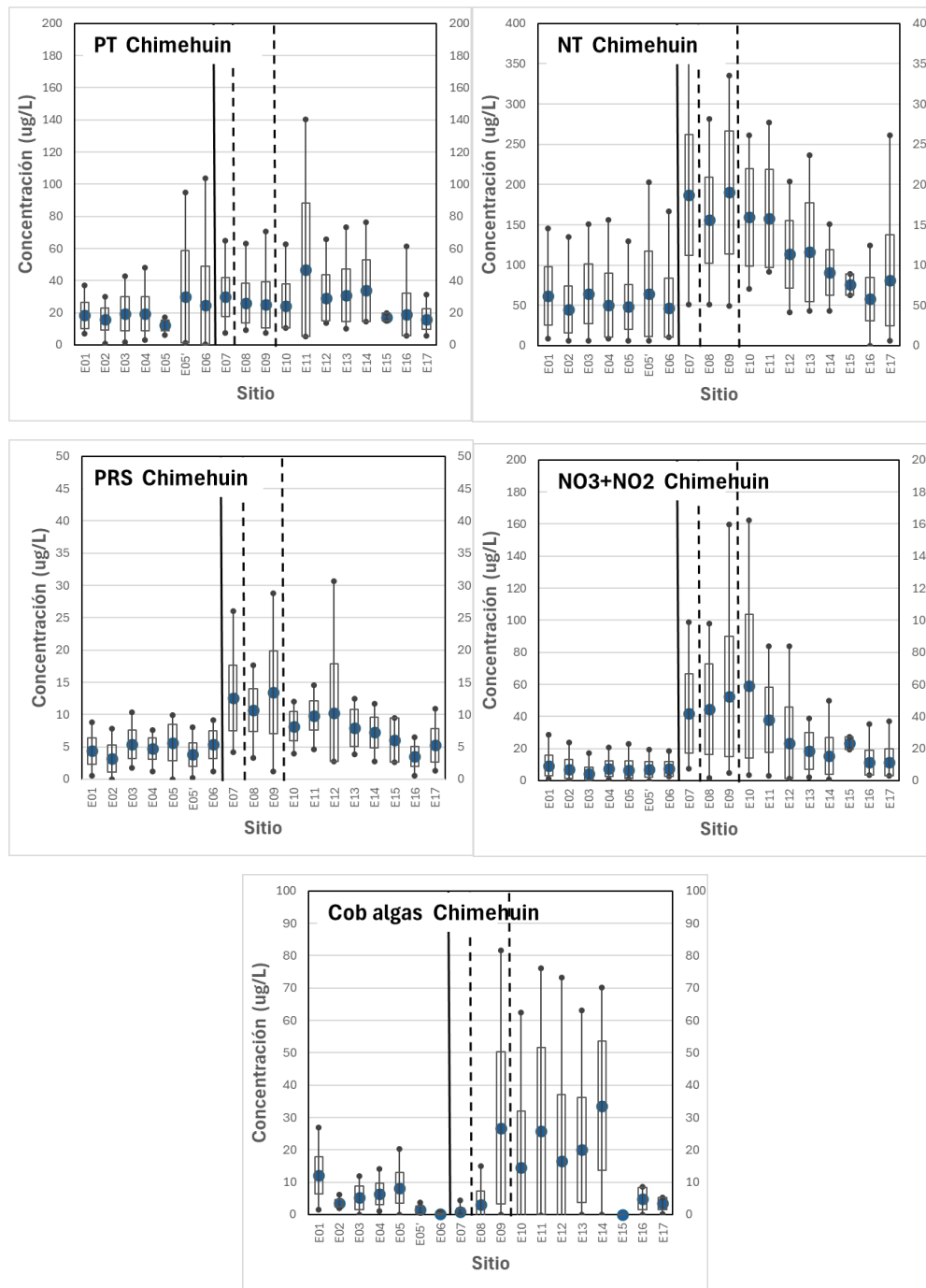


Figura 7: Perfiles de nutrientes y de cobertura de algas a lo largo del río Chimehuin (E01 a E15) y en dos afluentes, Curruhue (E16) y Quilquihue (E17). La línea entera muestra el lugar de aporte de la planta de efluentes cloacales de Junín de los Andes, la punteada de la izquierda el aporte del Curruhue y la punteada a la derecha el aporte del Quilquihue. Valores medios (círculos azules), intervalos de confianza de la media (cajas) y valores extremos (bigotes con círculos pequeños negros) registrados en distintos sitios en toda la colección de muestreos. Paneles superiores: fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT); paneles medios: fósforo reactivo soluble (PRS) y nitrógeno disuelto inorgánico (en NO_3+NO_2); panel inferior: cobertura de algas filamentosas.

Se registra una inconsistencia geográfica en cuanto a la ocurrencia espacial de las floraciones en el río Chimehuin respecto a la elevación de nutrientes, ya que no se han registrado floraciones algales significativas en las estaciones inmediatamente debajo de la PTEC (E7 y E8), a pesar del claro aumento en nutrientes (Figura 7). Este patrón vuelve a analizarse más detalladamente más adelante, donde además se ensayan posibles explicaciones para esta aparente incongruencia.

VALORES DE REFERENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES

En resumen, el río Malleo está naturalmente enriquecido en fósforo, en sus dos versiones (PT y PRS), gracias al aporte mayormente inorgánico de origen volcánico a través del arroyo Correntoso. El río Chimehuin está artificialmente enriquecido en su parte inferior en términos de nitrógeno, en sus dos versiones (NT y NO₃+NO₂), y de fósforo reactivo soluble (PRS), principalmente por la descarga de la planta de tratamiento de efluentes cloacales de Junín de los Andes. En esta sección se propone valorar el nivel de enriquecimiento de estos ríos a partir de la comparación de las concentraciones de nutrientes determinadas en este estudio con datos históricos de estos mismos ambientes y datos de otros ambientes de la cuenca del río Limay.

Los ríos Chimehuin, sus afluentes, y el río Malleo son emisarios de lagos andinos de origen glaciario: lagos Huechulafquen, Curruhé Chico y Lolog en la cabecera de la cuenca del río Chimehuín y el lago Tromen en la cabecera del río Malleo. Los lagos andinos se caracterizan por tener pH neutro, muy baja conductividad eléctrica (bajo contenido de sales disueltas) y baja carga de nutrientes (Diaz et al., 2007). Según estos autores, los contenidos de fósforo reactivo soluble (PRS) y nitrógeno inorgánico disuelto (NID, incluye los nitratos y nitritos que nosotros determinamos, más amonio) de los lagos andinos son sorprendentemente bajos. Los niveles de fósforo biodisponible son <10 µg P/L y, en muchos casos, <3 µg P/L, lo cual es típico de lagos oligotróficos y no contaminados en todo el mundo (Meybeck, 1982). Los bajos niveles de NID en estos lagos son todavía más notables. Las concentraciones son comúnmente <15 µg N/L y, en varios casos, <3 µg N/L. Estos valores son casi diez menos que el promedio de las aguas dulces de todo mundo.

En la colección de datos generada para este proyecto se registran notables aumentos respecto a los valores de referencia, tanto en P como en N, en diferentes ambientes (Tabla 1). En Malleo y tributarios, las concentraciones de fósforo en sus dos versiones son extremadamente elevadas, estando muy por encima de los valores conocidos para la cuenca o la región. Mientras tanto, los valores de nitrógeno en estos ambientes son comparables a los de ambientes de referencia patagónicos, con la excepción de NID en el arroyo Turbio, que sugiere la existencia de alguna fuente inorgánica de nitrógeno, posiblemente asociada a materiales volcánicos en la ladera del Lanín (Tabla 1).

Tabla 1. Variables fisicoquímicas de ríos y lagos de la cuenca del río Limay. En negro se muestran datos de referencia de otros estudio y en azul itálica se muestran los datos generados en este estudio. “Chimehuin alto” incluye estaciones por arriba de la PTEC y “Chimehuin bajo” las estaciones río debajo de la PTEC”. Subrayados y en negrita se marcan valores que se destacan en la comparación con valores de referencia. *Nitrógeno inorgánico disuelto (NID), incluye NO₃, NO₂ y amonio. Nuestras mediciones en este estudio no incluyen amonio, por lo que subestiman el valor total de NID.

AMBIENTE	pH	CE	PT (µg/L)	PRS (µg/L)	NT (µg/L)	NID* (µg/L)	NT:PT
Lagos andinos Limay¹	7.0	44	8.6	3.4	82	9	9.5
Río Aluminé²	6.6	41	5.2	0.8	67	<1	12.9
Lago Lolog¹	7	36	3.8	3.7	36	13	9.5
Río Malleo³	7.4	82.5	<u>46.2</u>	<u>37.5</u>	52.0	11.8	1.1
<i>A. Correntoso</i>	7.0	88.4	<u>101.3</u>	<u>102.0</u>	56.5	13.8	0.6
<i>A. Turbio</i>	7.0	88.4	<u>73.9</u>	<u>65.3</u>	54.1	<u>46.5</u>	0.7
Lago Huechulafquen⁴	7	-	4.1	4.5	59	20	14.4
Río Chimehuin⁵	7.1	-	6.1	-	53	-	8.7
R. Chimehuin alto	7.1	-	4.5	-	52	-	11.6
R. Chimehuin bajo	7.2	-	8.3	-	54	-	6.5
R. Chimehuin⁴	7.4	68.4	<u>24.9</u>	7.5	<u>102.1</u>	<u>22.6</u>	4.1
<i>R. Chimehuin alto</i>	7.4	62.8	<u>19.7</u>	4.7	54.2	7.0	2.8
<i>R. Chimehuin bajo</i>	7.5	74.4	<u>29.5</u>	<u>9.6</u>	<u>139.2</u>	<u>35.9</u>	4.7
<i>R. Curruhue</i>	7.5	98.3	<u>18.9</u>	3.5	57.8	11.4	3.1
<i>R. Quilquihue</i>	7.3	74.0	<u>16.1</u>	5.2	80.8	11.2	5.0
Río Caleufu⁶	7	70	20	5	74	8	3.7
Río Caleufu⁴	7.4	88.8	11.1	5.6	51.4	9.8	4.6
Río Collon Cura⁴	7.6	85.6	15.0	8.0	90.5	9.4	6.0
Río Limay Medio⁷	7.1	67	18.2	5.7	67	-	3.7

En la cuenca del río Chimehuin se aprecia que la concentración de N es notoriamente elevada (Tabla 1), particularmente en estaciones aguas abajo del aporte de la PTEC, ya que las concentraciones aguas arriba de la misma se mantuvieron en el rango normal para la cuenca, incluido el estudio previo de Shimizu et al (1995). Vale destacar que dicho estudio detectó una elevación de NT apenas marginal aguas abajo del efluente cloacal, que en esa época estaba localizado más cerca del centro de la localidad, 3km aguas arriba de la

¹ Díaz et al. (2007)

² Muestras CEAN, año 2019

³ Este estudio

⁴ Shimizu et al. (1996)

⁵ Shimizu et al. (1995)

⁶ Muestras CEAN, año 2016

⁷ Muestras CEAN, año 2017

ubicación actual del vertido, mientras que en la actualidad detectamos una gran elevación de la concentración de NT por efecto del efluente cloacal. Los afluentes del Chimehuin, Curruhue y Quilquihue, mientras tanto, no muestran elevaciones significativas respecto al N con relación a otros ambientes de la cuenca o los valores históricos del Chimehuin (Tabla 1).

El Chimehuin y sus afluentes, por otra parte, muestran elevaciones significativas respecto al fósforo. No sólo se evidencia la elevación en PRS para la sección aguas abajo de la PTEC identificada en la sección anterior, sino también en PT a lo largo de todo el río cuando se compara con otros ambientes de la cuenca y con los valores históricos del mismo río Chimehuin. Esta elevación se verifica desde la primera estación cercana a la boca del río, por lo que se infiere que se debería a un cambio a nivel del lago de cabecera, el Lago Huechulafquen, y no un enriquecimiento in situ por aportes en el mismo Chimehuin superior. Los datos históricos de niveles de NT en el lago son muy inferiores a los actuales en el Chimehuin superior (Tabla 1). Desafortunadamente, no contamos con un registro actualizado del agua del Lago Huechulafquen.

Dado que los productores primarios dependen tanto del N como del P para desarrollarse, en general ocurre que el nutriente que está en deficiencia con respecto a la demanda de las algas es el que limita. Como regla general, las algas necesitan una proporción N:P de alrededor 7:1 en $\mu\text{g/L}$ (Parra Pardi, 1979) o 16:1 en molar (Rhee y Gotham, 1980). Por esta razón, para entender cuál es el nutriente que está limitando al desarrollo algal se inspeccionan las proporciones moleculares de N:P. El nitrógeno ha sido señalado como el nutriente que más típicamente limita la producción primaria en las aguas patagónicas (Depetris et al., 2005; Soto et al., 1994, citado por Díaz et al., 2007). Díaz et al., (2007) atribuyen esta pobreza de nitrógeno en los lagos andinos a la composición de las rocas volcánicas (ígneas, volcánicas y plutónicas) que dominan las cabeceras de cuenca y a la extensa cobertura forestal de los Andes en estas latitudes que es efectiva en la interceptación de gran parte del N disponible, dejando poco N para derramarse en el drenaje. Si bien detectamos enriquecimiento significativo de N en la cuenca del Chimehuin, el enriquecimiento concomitante en fósforo en Chimehuin y Malleo reduce aún más la proporción N:P, haciendo más probable una limitación de la producción primaria por parte del nitrógeno en los dos ríos.

NUTRIENTES, TEMPERATURAS Y FLORACIONES ALGALES EN EL RÍO CHIMEHUIN

La magnitud y desarrollo espacial de las floraciones en Chimehuin se evidencian claramente en los muestreos de febrero, donde las mismas se dan sistemáticamente en las secciones por debajo de las fuentes puntuales de nutrientes en el río (Figura 7). En esta sección analizamos más detalladamente el desarrollo de las floraciones algales a lo largo del río Chimehuin en febrero 2022 y febrero 2023, en función de la concentración de los cuatro

indicadores de nutrientes estimados y los aportes potenciales por parte de la PTEC y los dos tributarios, Curruhue y Quilquihue.

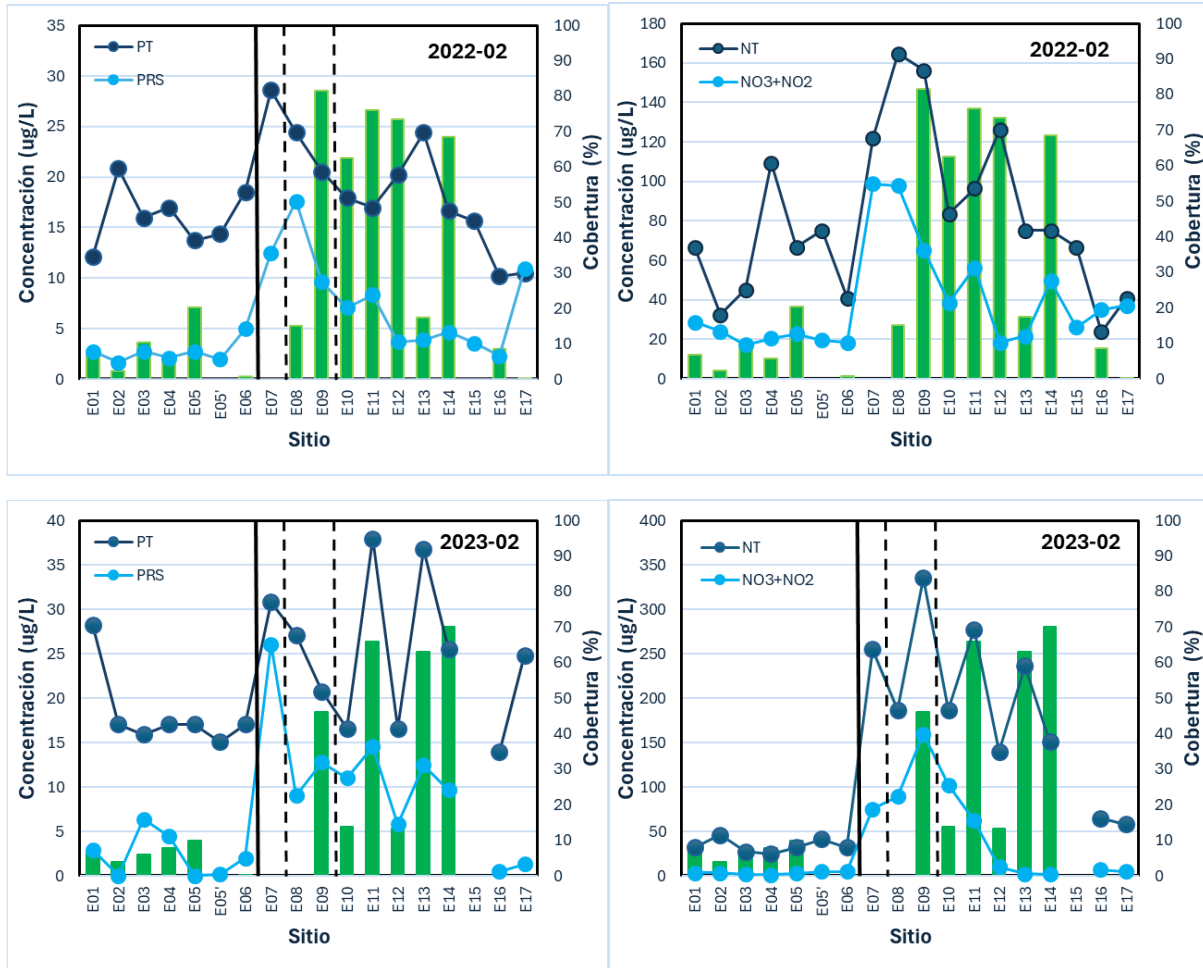


Figura 8: Concentración de nutrientes a lo largo del río Chimehuin en los meses de febrero 2022 y 2023 (líneas y puntos) y cobertura de algas (barras verdes). La línea entera muestra el lugar de aporte de la planta de efluentes cloacales de Junin de los Andes, la punteada de la izquierda el aporte del río Curruhue y la punteada a la derecha el aporte del río Quilquihue. Panel superior izquierdo: PT, PRS, y cobertura de algas filamentosas en febrero 2022; panel superior derecho: NT, NO3+NO2, y cobertura de algas filamentosas en febrero 2022; panel inferior izquierdo: PT, PRS, y cobertura de algas filamentosas en febrero 2023; panel inferior derecho: NT, NO3+NO2, y cobertura de algas filamentosas en febrero 2023.

Las floraciones son favorecidas en la sección del río donde se evidencia el mayor enriquecimiento en nutrientes (Figura 8), lo cual también se evidencia en el caso del río Malleo (Figura 6). Como se demostró en las secciones anteriores, el Chimehuin está enriquecido en N y P aguas debajo del efluente cloacal, donde se registraron coberturas máximas de algas filamentosas de más del 80% en febrero de 2022 y de casi 70% en febrero 2023.

Mientras tanto, el nitrógeno, que funcionaría como nutriente limitante en este sistema, tiene valores bajos y comparables a ríos no disturbados aguas arriba del efluente (sección anterior). La cobertura de algas filamentosas en esta sección fue en ambos años menor al 20%, más típicamente alrededor del 10% (Figura 8).

Por otra parte, en el río Chimehuin se observa un desfase entre la entrada de nutrientes y la ocurrencia de floraciones. Si bien se registró un aumento de nutrientes significativo a partir del E07 y aguas abajo, no se registran floraciones significativas sino a partir del sitio E09 y aguas abajo (Figura 8). Es decir, que en este río hay una distancia de unos 5km de río entre la fuente de nutrientes y el frente de la floración. No se ha encontrado una explicación definitiva para este patrón. El mismo podría deberse a alguna barrera química, física o biológica para la disponibilidad de los nutrientes para las algas en estos sitios inmediatamente por debajo de la fuente puntual. Podría, por ejemplo, deberse a una mayor concentración de nutrientes con mayor toxicidad para las algas, como por ejemplo amonio, cercana al vertido cloacal. Esta hipótesis recibe apoyo parcial en los datos de Mezzina (2019) quien encontró que la PTEC de Junín de los Andes tiene baja eficiencia en la eliminación de N (<25%), liberando niveles de amonio que superan muy ampliamente los valores máximos permisibles para el vuelco en cuerpos sensible. Mezzina (2019) también encontró que, producto del vertido, el río alcanzaría concentraciones de amonio que superarían los niveles guía para potabilización con métodos convencionales (0.05 mg N-NH₄/L). La falta de floraciones en este tramo con nutrientes elevadas podría también deberse a temperaturas del agua inferiores a aquellas requeridas para que se produzcan floraciones (ver debajo).

Alternativamente, la falta de floraciones en las estaciones E07 y E08 podría deberse a que éstas no fueron aún colonizadas por densidades de propágulos suficientemente altas como para producir floraciones. Esta hipótesis recibe algún respaldo en el hecho que en el primer muestreo realizado por este grupo de trabajo en marzo de 2018 se detectaron importantes floraciones sólo aguas abajo de la estación E09, inclusive. Es decir, la estación E08 que hoy muestra importantes floraciones (Figuras 7 y 8) no experimentó floraciones inicialmente. Sería esperable que un proceso de colonización como el que aquí se plantea ocurriera más lentamente en dirección aguas arriba.

Cuando se analizan las floraciones algales en función de las condiciones de temperatura y nutrientes en los muestreos realizados en el río Chimehuin, se encuentran algunos patrones importantes (Figura 9). Todas las floraciones ocurrieron en sitios y momentos donde la temperatura promedio del agua fue superior a los 18°C y para situaciones donde las concentraciones de PT y de NT estuvieron significativamente elevadas y por encima de los valores reportados para este río por Shimizu et al. (1995) (Figura 9, gráficos superiores).

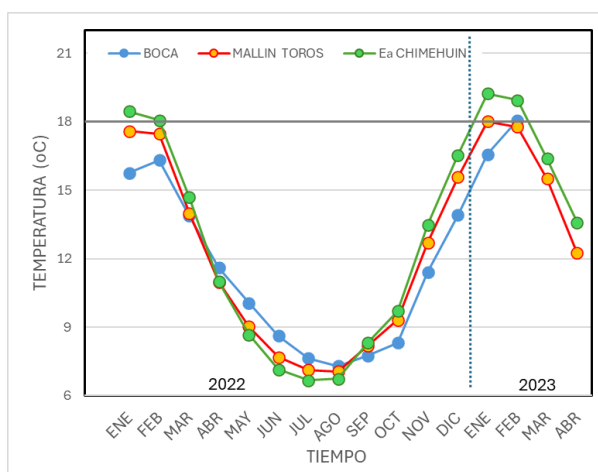
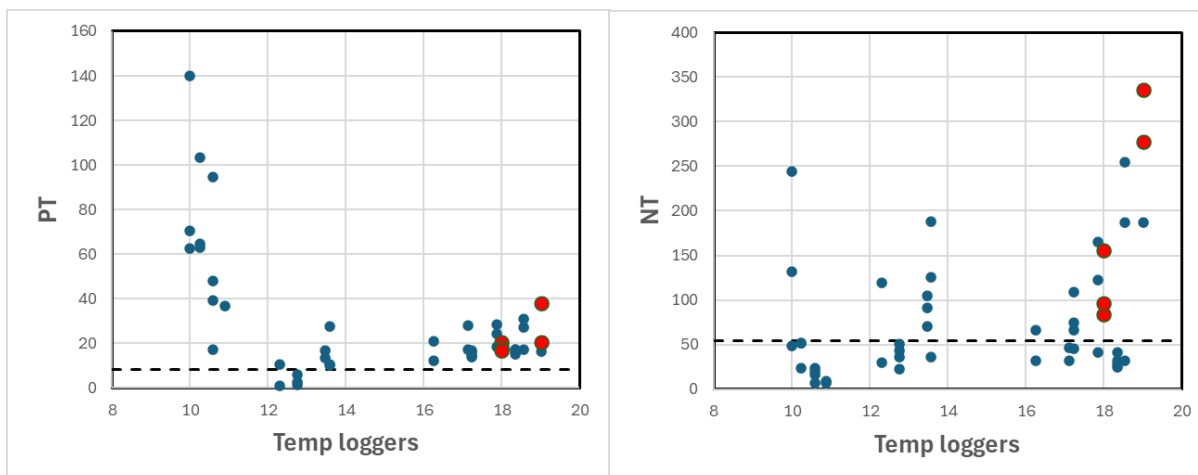


Figura 9: Datos de nutrientes, temperaturas y floraciones en el río Chimehuin. Gráfico superior izquierdo: valores en muestreos de concentraciones de PT y temperaturas. Línea punteada corresponde al valor histórico de PT según Shimizu et al. (1995). Gráfico superior derecho: valores en los muestreos de concentraciones de NT y temperaturas. Línea punteada corresponde al valor histórico de NT según Shimizu et al. (1995). Se incluyen todas las muestras realizadas entre febrero de 2022 y febrero de 2023 (inclusive) en sitios E1 a E11. Los registros de temperatura corresponden al promedio de registros del data logger más cercano al sitio específico en los 30 días previos a la fecha de muestreo. Puntos azules corresponden a muestras en sitios sin floraciones y puntos rojos a muestras con floraciones (más del 45% del fondo cubierto por algas filamentosas). Gráfico inferior: temperaturas medias mensuales registradas por data loggers en parte alta (boca del Chimehuin), media (Mallín de los Toros) y baja (Ea Chimehuin). Línea gris marca temperatura límite de 18°C.

Los valores de NT y PT que corresponden a sitios con floraciones son además elevados respecto a valores típicos de ambientes de la región (Tabla 1; 5,2-20 $\mu\text{g/L}$ para PT, exceptuando Malleo; 36-90 $\mu\text{g/L}$ para NT). Por otra parte, las temperaturas del agua medias mensuales en la parte alta y media del río Chimehuin se encontraron mayormente debajo de los 18°C, presentando condiciones menos conducentes a las floraciones que la sección inferior, donde las temperaturas medias para febrero y marzo en los dos años

analizados superó los 18°C (Figura 9, gráfico inferior). Esta diferencia térmica entre la parte media y baja podría explicar, al menos en parte, la falta de floraciones en las estaciones cercanas a la descargas de la PTEC.

En términos generales, toda la información recolectada sugiere que valores de NT por arriba de aquellos asociados a floraciones en el Chimehuin ($NT > 84 \mu\text{g/L}$; $PT > 17 \mu\text{g/L}$) y temperaturas promedio de las aguas por encima de los 18°C serían conducentes al desarrollo de floraciones algales. Cómo se planteó en la sección “Valores de referencia...”, las demandas relativas de N y P por parte de los productores primarios plantean un valor de quiebre de 7 en la relación N:P (en $\mu\text{g/L}$), por debajo del cual es el N el que limita la producción y por encima del cual es el P el que limita la producción. La relación promedio N:P en las estaciones por debajo de la PTEC, cuyas aguas se encuentran enriquecidas tanto en N como en P, se encuentran todas debajo de 5 (cociente entre los límites de NT y PT planteados arriba y valores de referencia en Tabla 1), indicando que el N operaría como el nutriente limitante. ***Esto plantea que cualquier eventual aumento futuro en N tendría efectos más profundos sobre la producción primaria que aumentos de P y que, por lo tanto, la remediación del Chimehuin debería privilegiar la reducción en las concentraciones de N.***

ANÁLISIS DEL ENSAMBLE DE MACROINVERTEBRADOS EN LOS RÍOS MALLEO Y CHIMEHUIN

Se colectaron muestras de organismos acuáticos que viven asociados al lecho de los ríos, los cuales se espera que sean afectados por el aumento de nutrientes y la productividad primaria asociada a la proliferación de algas. Junto a los otros muestreos, se tomaron muestras, desde la primavera del 2021 hasta el otoño 2023, en tres sitios del río Chimehuin (E1, E8 y E14, Figura 2) y en dos sitios en el río Malleo (E1 y E6, Figura 2). Las estaciones muestreadas incluyen puntos por arriba y por debajo de las principales zonas de aporte de nutrientes y contrastantes respecto a la intensidad de las floraciones algales. También se incluyeron datos históricos en los mismos sitios realizados en los años 1999 y 2000, previo a las floraciones de algas filamentosas y a concentraciones menores de nutrientes en el río Chimehuin.

Los detalles del análisis se reportan en el Anexo 7. Se trata de un análisis preliminar que, como resultado primario, no identifica cambios concretos en distintos parámetros de la comunidad de invertebrados en respuesta al aporte de nutrientes y a las floraciones algales. Estos datos, por otra parte, proveen una línea de base importante de la comunidad acuática, en perspectiva histórica de más de dos décadas, y permiten caracterizar el ensamble de invertebrados para futuros estudios de relaciones tróficas y ciclado de nutrientes.

ACTIVIDAD 2. ANÁLISIS A NIVEL DE CUENCA PARA IDENTIFICAR LAS PRINCIPALES FUENTES Y CONTRIBUCIONES DE NITRÓGENO Y FÓSFORO DESDE LA CUENCA HACIA EL RÍO.

TAREA 2.1. MAPA DE USO Y COBERTURA DEL SUELO DEL RÍO CHIMEHUIN.

Esta actividad consistió en confeccionar un mapa de uso y cobertura del suelo de la cuenca del río Chimehuin. La metodología utilizada en la construcción del mapa y las características del producto generado se describen en el Anexo 8. Este producto provee un elemento importante para promover los análisis de escala de cuenca y de flujo de servicios ecosistémicos en el río Chimehuin y, en el caso particular de este trabajo, constituye un insumo central para identificar fuentes potenciales de nutrientes al río a través del modelado espacialmente explícito (Tarea 2.3).

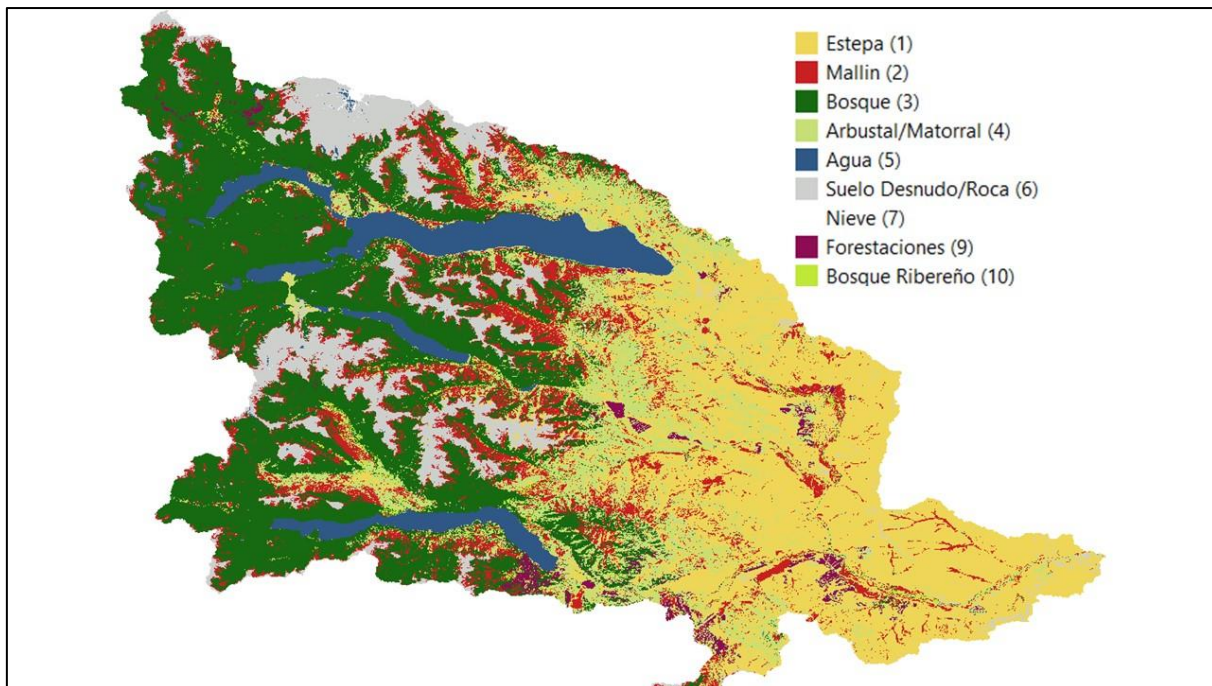


Figura 10: Mapa preliminar de usos y cobertura del suelo de la cuenca del río Chimehuin.

TAREA 2.2. IDENTIFICACIÓN QUÍMICA DE FUENTES DE NUTRIENTES EN RÍO.

La información aquí utilizada (Anexo 9) fue recibida desde el laboratorio que realizó las determinaciones el día 25 de mayo 2024, por lo cual se reporta aquí un análisis primario de la misma. Si bien se presentan algunos patrones concluyentes, también se plantean algunos interrogantes que es necesario responder a través de la profundización de los análisis y del cruzamiento de resultados con toda la otra información disponible.

Durante la campaña de muestreo de febrero 2022, se incluyó la toma de muestras de perifiton o biofilm (la comunidad que habita las superficies de distintos sustratos en los lechos de ríos y lagos) para el análisis de su composición isotópica. Se tomó una muestra en cada estación de muestreo del río Chimehuin y sus ríos tributarios, así como en las estaciones del río Malleo. Concretamente se trata de cuantificar la proporción isotópica en carbono (C) y en nitrógeno (N). El N es uno de los principales desencadenantes de floraciones en ecosistemas acuáticos y se conoce que la proporción de isótopos estables de N difiere dependiendo del origen de la fuente de ese N, lo cual se proyecta al N constitutivo de los productores primarios que lo consumen. Por lo tanto, sirve como indicador del origen de los nutrientes utilizados por esa comunidad y, particularmente, las algas. Las diferencias en proporciones isotópicas en los diferentes puntos de muestreo a lo largo de los ríos estudiados pueden señalar la existencia de diferentes fuentes de N (orgánico vs inorgánico). Por otra parte, la proporción isotópica del carbono puede señalar la contribución de aportes terrestres en sitios a lo largo del río.

En total, 27 muestras, 18 del río Chimehuin, 6 del río Malleo, 2 del río Collon Cura y 1 del río Caleufu), fueron tomadas para cuantificación de isótopos estables. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de “Biogeoquímica de isótopos estables” del Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (Granada, España) y los resultados de laboratorio se presentan en el Anexo 9.

El perifiton en las cuencas del Malleo y el Chimehuin muestra rangos de $d^{13}C$ que son en general similares en ambas cuencas (Figura 11). Por otra parte, la cuenca del Chimehuin presenta perifiton claramente enriquecido en $\delta^{15}N$. Las causas de este enriquecimiento se relacionan con el aporte de nutrientes de origen orgánico urbano, particularmente de origen cloacal, y para las cuales el $\delta^{15}N$ provee un marcador muy sensible, las cuales ya se encuentran incorporadas a la red trófica a través de los productores primarios. La señal de nitrógeno en el perifiton se mantiene constante durante los primeros kilómetros del río Chimehuin hasta la cercanía a la ciudad (Figura 11). A medida que el río recorre la zona urbana, el perifiton muestra un enriquecimiento muy importante en $d^{15}N$. A partir del vertido se detecta el mayor enriquecimiento. La señal de nitrógeno luego decrece, sin retornar a los valores originales, mostrando que el impacto del aporte de los nutrientes de la zona urbana persiste en toda la cuenca aguas abajo. El perfil isotópico del nitrógeno muestra un patrón de enriquecimiento de $d^{15}N$ muy similar al de las concentraciones de NT (Figura 11 vs Figura 7), lo cual provee una evidencia inequívoca del origen orgánico del enriquecimiento del nitrógeno utilizados por el perifiton en el río Chimehuin.

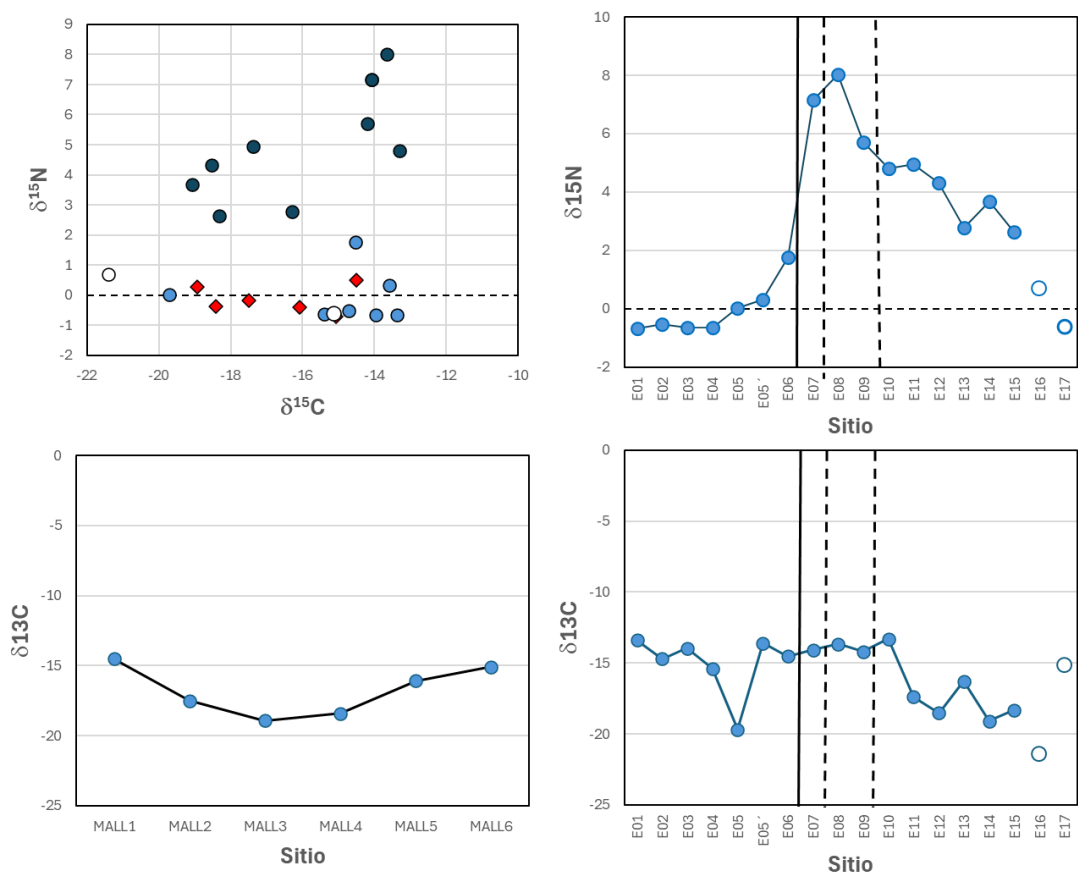


Figura 11: Niveles isotópicos de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ para los ríos Malleo y Chimehuin. Panel superior izquierdo muestra la composición isotópica del perifiton en sitios del Chimehuin (círculos) y Malleo (diamantes); los círculos con relleno celeste corresponden a sitios aguas arriba del efluente cloacal, los rellenos en azul corresponden a sitios aguas abajo del efluente cloacal y los abiertos a los dos afluentes, Curruhue a la izquierda y Quilquihue a la derecha. Gráfico superior derecho: composición isotópica del N a lo largo del río y afluentes (E16 y E17). La línea vertical entera muestra el lugar de aporte de la planta de efluentes cloacales de Junín de los Andes en el Chimehuin, la punteada de la izquierda el aporte del río Curruhue y la punteada a la derecha el aporte del río Quilquihue. Gráfico inferior derecho: perfil longitudinal de composición isotópica del C para el Chimehuin. Gráfico inferior izquierdo: perfil de composición isotópica del C para el Malleo.

Es importante notar que este aporte comienza en la estación E05 (comienzo de la zona urbana de Junín de los Andes), que integra las contribuciones desde el Valle de San Cabao y zona del ejército, elevándose gradualmente incluso antes del vertido de la planta de tratamiento, indicando la existencia de aportes de nitrógeno asociado a lo urbano, previo e independiente del aporte de la planta de tratamiento propiamente dicho. Este aporte estaría relacionado a aportes desconectados de la red cloacal en forma puntual (e.g. vertidos ilegales) o difusa (e.g. filtración de pozos ciegos). **Vale destacar que la señal del aporte urbano aguas arriba del vertido de la PTEC es muy significativo (2,5 unidades entre E04 y E06 vs. 5 unidades entre E06 y E07), indicando que se trata de un aporte**

importante y que requiere consideración especial en planes de gestión de efluentes y aporte de nutrientes.

Los valores de los isótopos del carbono pueden indicar aportes de tipo terrestre asimilados por los organismos del perifiton, como por ejemplo aportes por erosión de la costa, ganaderos, cultivos bajo riego. El perfil isotópico del carbono a lo largo del Malleo es relativamente uniforme, con un patrón en forma de U, con mayores proporciones de $d^{15}C$ en cabecera y parte inferior, indicando un cambio gradual de los aportes terrestres de origen incierto en este momento (Figura 11).

El perfil isotópico del carbono a lo largo del Chimehuin, por otra parte, indica la existencia de cambios abruptos en las fuentes de carbono en sitios determinados, como en E05 (puente de la RN 40) o en el Chimehuin inferior aguas debajo de E11. Queda por determinarse estos potenciales orígenes terrestres, cuya verosimilitud se ve reforzada por el contraste con el perfil correspondiente en el río Malleo.

TAREA 2.3. IDENTIFICACIÓN ESTADÍSTICA DE FUENTES DE NUTRIENTES EN EL RÍO CHIMEHUIN.

Este análisis se basa en el ajuste de modelos estadísticos que relacionan indicadores fisicoquímicos en los ríos (nutrientes y caudales) con coberturas en la cuenca, una técnica que ha sido desarrollada y probada por una integrante de este proyecto (Liberoff et al. 2019). El modelo estructural asume que la biomasa de un determinado nutriente encontrada en un sitio determinado del río es función del aporte de todos los pixeles que componen el mosaico de coberturas en la cuenca de aporte a ese punto. Cada cobertura tiene una contribución específica de ese nutriente (un intercepto) y cada nutriente tiene una tasa específica que regula la caída en su concentración en función de la distancia (factor W), desde el punto de origen en la cuenca hasta el sitio de muestreo, debida a la dilución y/o al metabolismo de ese nutriente por parte del ambiente.

Los parámetros del modelo entonces son la tasa específica de caída del nutriente y las contribuciones específicas de ese nutriente por parte de cada clase de cobertura considerada en el mapa de uso y cobertura del suelo. La estimación de parámetros se realiza mediante un modelo de tipo GLS (*Generalized Least Squares*) con autocorrelación para tener en cuenta la falta de independencia de medidas tomadas a lo largo del río y, por lo tanto, espacialmente correlacionadas.

El modelo se ajustó por separado a fósforo reactivo soluble (PRS) y a nitratos+nitritos (NO_3+NO_2) y a los datos de cuatro muestreos diferentes en el río Chimehuin: diciembre 2021, febrero 2022, diciembre 2022 y febrero 2023. Se consideraron 12 variables independientes, consistentes en 8 clases de cobertura (según el mapa de cobertura generado en este proyecto): est="Estepa", mal="Mallin", bos="Bosque", arb="Arbustal-

Matorral", suelo="Suelo desnudo", fores="Forestaciones de pino", bosrib="Bosque de Ribera", urb="Urbano", a las que se le agregaron 4 aportes puntuales: efl="Efluente de PTEC", cab="Cabecera", cur="Curruhue", y quil="Quilquihue". La estrategia general de ajuste parte de ajustar el modelo más complejo posible y a partir de allí probar todos los modelos posibles usando distintos valores de factor W. Usando el W del "mejor" modelo de acuerdo con el criterio de Akaike (AIC), se procede a una nueva selección de modelos basada en el mismo criterio. También se analiza el coeficiente de correlación de los distintos modelos.

Todos los ajustes con sus detalles, modelos seleccionados, gráficos de ajuste, etc. se encuentran en el Anexo 10. Se trata de un gran número de modelos, donde en algunos casos se identifican varios modelos igualmente verosímiles. Aquí se describen los resultados generales en cuanto a la indicación de los modelos respecto a cuáles serían las principales coberturas en cuanto al aporte de cada uno de los dos nutrientes.

Para los ajustes de NO₃+NO₂, todos los modelos seleccionados incluyen el factor "efluente cloacal", dando apoyatura estadística a lo que sugirieron los análisis previos. Algunos modelos seleccionados incluyeron la variable "urbano", pero la misma está fuertemente correlacionada con "efluente" y aparecieron en forma excluyente en los ajustes. El análisis estadístico no fue capaz de mostrar el efecto incremental de lo urbano y el efluente que claramente indica el análisis de isótopos estables (sección anterior). Otro factor que apareció en forma significativa fue la influencia del factor Curruhue, algo que no apareció en otros análisis y que merece análisis adicionales.

Los ajustes del modelo a los datos de PRS incluyeron al efluente en tres de los cuatro muestreos, siendo otro factor prevalente el aporte del río Quilquihue que apareció en los cuatro muestreos. Otros factores aparecieron en algunos modelos seleccionados, como "mallines", "bosque de ribera" y "forestaciones", aunque los resultados no fueron muy concluyentes. Este análisis sugiere explorar más profundamente el aporte del Quilquihue, complementando con otros métodos complementarios como isótopos estables. El río Quilquihue es un afluente importantes, con marcado progreso en el desarrollo de urbanizaciones.

ACTIVIDAD 3. PARTICIPACIÓN CIUDADANA Y APOYO A LA GESTIÓN AMBIENTAL.

TAREA 3.1. CIENCIA CIUDADANA

Durante el año 2021 desarrollamos una App para celular, denominada AlertaAlgas, para que pescadores, guías de pesca, kayakistas y otros usuarios frecuentes de los ríos reporten voluntariamente la presencia/ausencia de algas y las condiciones asociadas. La aplicación (detalles en Anexo 11) permite al usuario tomar una fotografía georeferenciada del río,

agregando comentarios, la cual es enviada automáticamente a nuestra base de datos cuando el usuario tiene señal de internet (Figura A7.1). Una vez recibida, la información nos permite evaluar la cobertura algal a partir de la fotografía para alimentar una base de datos de la ocurrencia de floraciones en tiempo y espacio (Figura A7.2).

Durante fines de 2021 y principios de 2022 probamos y evaluamos la App, mediante la obtención de 569 registros aportados por miembros del proyecto, colegas y algunos guías de pesca que operaron como voluntarios (Figura 12).

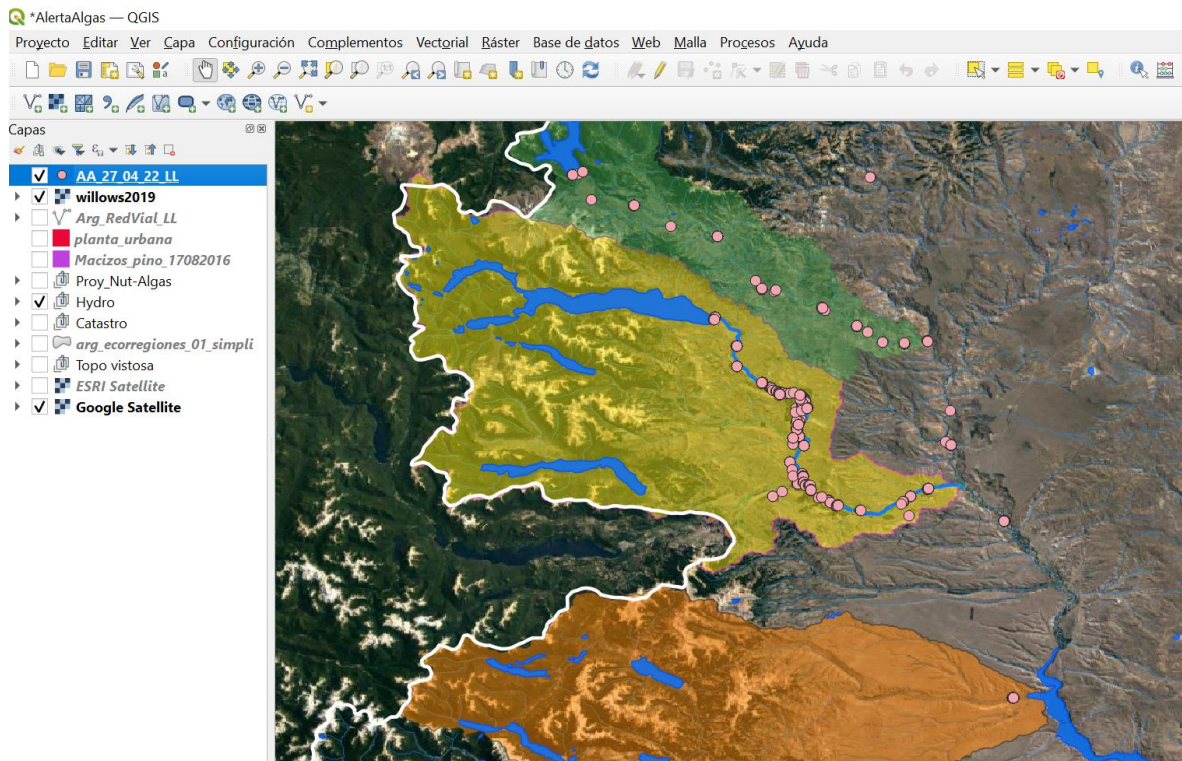


Figura 12. Registros en nuestra base de datos recabados a través de la App AlertaAlgas.

Lamentablemente los registros voluntarios fueron muy escasos e irregulares y no terminamos utilizando esta información en nuestros análisis. Nuestra conclusión es que esta metodología puede ser buena para tener pinturas extensivas del desarrollo de las floraciones a lo largo del tiempo, pero no nos fue útil para obtener la pintura detallada de la floración en tiempo y espacio que pretendíamos; a su vez, fomentar el aporte de los guías nos demandó un esfuerzo demasiado grande, injustificado para la calidad de la información recibida. En una próxima etapa evaluaremos la posibilidad de transformarla en una app de uso abierto para cualquier voluntario que quiera sumarse con el fin de aumentar la participación y la densidad de información recibida.

TAREA 3.2. TALLERES PARTICIPATIVOS.

El proyecto contemplaba el desarrollo de 3 talleres presenciales con personas clave en la cuenca (comunidad, usuarios, profesionales y autoridades) para comunicar objetivos y resultados a lo largo del proyecto, recabar información local del uso y prácticas relevantes para la salud del río e identificar acciones de manejo. Durante el transcurso del proyecto ocurrió en la Provincia de Neuquén y en la Localidad de Junín de los Andes un cambio de gestión, con cambio de signo político, por lo cual hubo un período en el cual no se identificaban claramente quiénes serían los destinatarios de nuestros resultados dentro de la administración pública. Finalmente, se realizaron dos talleres, uno inicial de presentación del proyecto y uno al final con presentación y discusión de resultados con participación de representantes de la actual administración provincial y municipal. El primer taller se desarrolló el 2 de agosto de 2022 en la Cámara de Comercio de Junín de los Andes. Durante el mismo, Ana Beccar Varela, representante de The Nature Conservancy, junto a los integrantes del equipo de trabajo presentaron el proyecto a la comunidad.

Contamos con la participación presencial de 43 personas, incluyendo técnicos en organismos municipales, provinciales y nacionales, guardafaunas, pescadores y guías de pesca, representantes del sector privado y de organizaciones no gubernamentales, y del organismo del servicio público del agua en la localidad. La nómina completa de participantes se encuentra en el Anexo 12. Tuvimos una buena convocatoria, aunque sesgada hacia representantes de organismos técnicos y públicos, con menor participación de pescadores y guías de pesca. Si bien se habilitó una vía de participación a través del canal de YouTube del CEAN, algunos problemas técnicos en la emisión limitaron su alcance.

El taller final del proyecto se desarrolló en día 30 de mayo de 2024 en el SUM del Hospital de Junín de los Andes. Contamos con la participación de 57 personas, incluyendo técnicos en organismos municipales, provinciales y nacionales, guardafaunas, pescadores y guías de pesca, representantes del sector privado, de la Sociedad Rural del Neuquén y de organizaciones no gubernamentales, del sector de salud y del organismo del servicio público del agua en la localidad (Anexo 13, Figura 14). Durante el mismo se hizo una presentación de los resultados contenidos en este informe, seguido de un trabajo en grupos. Se conformaron 3 grupos, cada uno de los cuales trató con una de las siguientes preguntas/temas:

Grupo 1. Identificación y análisis de fortalezas y debilidades encontradas en este trabajo de investigación.

Grupo 2. Identificación y análisis de acciones y gestiones para la remediación de aportes de nutrientes al río Chimehuin.

Grupo 3. Análisis de opciones para dar continuidad a los estudios y monitoreos en la temática del proyecto.



Figura 13. Fotos del primer taller del proyecto, Cámara de Comercio de Junín de los Andes, 2 agosto de 2022.



Figura 14. Fotos del taller final del proyecto, SUM del Hospital de Junín de los Andes, 30 de mayo de 2024.

Representantes de cada uno de los grupos expusieron sus resultados al final del taller, como cierre de actividades (Afiches completados por cada grupo en Anexo 14). Los resultados de este trabajo en grupos se tuvieron en cuenta como un insumo para la elaboración de la próxima sección (Actividad 4).

ACTIVIDAD 4. IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MANEJO Y DEFINICIÓN DE PRÓXIMOS PASOS.

El río Malleo propone una serie de interrogantes respecto al análisis de nutrientes de origen inorgánico y podría guardar claves importantes para entender una ruta importante del fósforo en ríos cordilleranos patagónicos. Un primer paso para entender este sistema sería identificar la fuente exacta del fósforo transportado por el Arroyo Correntoso para poder tipificarla. Sería además interesante examinar la composición de nutrientes de las aguas de todos los arroyos que nacen en las laderas del Volcán Lanín, que incluyen no sólo a los

tributarios del Tromen-Malleo que se describen este informe, sino también a varios arroyos que drenan hacia el sur hacia el Lago Huechulafquen (e.g. Blanco, Raquithue, Paimun). Esto permitiría resolver si estos ríos son fuentes naturales distinguidas de nutrientes a estas dos grandes cuencas o si el fósforo elevado del Arroyo Correntoso representa una singularidad.

Por otra parte, el hecho de no haber registrado aportes significativos de nutrientes que pudieran ser asignados a actividades humanas en el Malleo plantea el interrogante de cuáles serían los factores subyacentes a las floraciones observadas en este río. Lamentablemente, no contamos con información referida a condiciones ambientales históricas en Malleo, pero la información regional sugiere que el cambio climático habría afectado a los ríos de la región hacia caudales menores y temperaturas mayores, produciendo condiciones más conducentes a las floraciones algales a través de menor dilución de nutrientes, con mayor concentración, y mayor radiación/temperatura. Una línea de investigación que consideramos relevante, tanto para Malleo como para Chimehuin, es la modelación de la temperatura del agua en función de variables climáticas y caudales. Ese tipo de modelo permitiría no sólo reconstruir el proceso de calentamiento del agua en función del cambio climático experimentado, sino que además permitiría hacer proyecciones de temperatura del agua en función de escenarios de cambio climático futuro.

Para el río Chimehuin, por otra parte, encontramos señales concretas de nutrientes aumentadas, con fuertes contrastes verificados a lo largo del río y en relación con valores históricos. La señal dominante es la incorporación de fósforo y particularmente nitrógeno, tanto total como en sus variantes solubles y directamente disponibles para los organismos acuáticos, desde la descarga de la planta de tratamiento de efluentes cloacales de Junín de los Andes (PTEC-JA). Esta es una fuente reconocida de nutrientes, que ha sido objeto de distintos análisis y gestiones a lo largo del tiempo (Anexo 15). Nuestros resultados miden por primera vez en forma sistemática e intensiva la magnitud del aporte de nutrientes de ese efluente al ambiente y su impacto a lo largo del río.

La PTEC-JA consiste en una serie de piletas/lagunas facultativas construidas en 1995, concebidas para tratar el agua a través de aireación, sedimentación y maduración, con una capacidad muy limitada para retener nutrientes. Además, el sistema cloacal tiene hasta el presente problemas funcionales importantes relacionados con elevaciones importantes del caudal por aporte pluvial y por filtraciones de agua freática a la red cloacal (Mezzina, 2019). En 2008 las piletas fueron rediseñadas para adaptarse a las demandas del crecimiento poblacional. Hacia 2016, según datos del propio EPAS analizados por Mezzina (2019), el efluente de la planta era saneado en términos de los máximos permisibles a nivel provincial⁸ sólo en cuanto a la demanda química y biológica de oxígeno (parámetros que miden el grado de contaminación a través de la cantidad de materia orgánica en el

⁸ Ley 899/75. Código de Aguas. Decreto Reglamentario 790/99. Provincia de Neuquén.

efluente), mientras que contenía concentraciones de nitrógeno total que se encontraban en promedio 4 veces por encima del máximo permisible provincial (47,57 mg/L vs. 10 mg/L), concentraciones de amonio 10 veces por encima del máximo permisible provincial (29,58 mg/L vs. 3 mg/L), concentraciones de fósforo total 3 veces por encima del máximo permisible provincial (3,3 mg/L vs. 1 mg/L) y concentraciones de coliformes totales y de *E.coli* órdenes de magnitud por encima del límite que admite la ley provincial (medias de 226685 Coliformes totales NMP/100ml y 42831 E.COLI NMP/100ml vs. 5000 Coliformes totales NMP/100ml). El modelado del efecto del efluente con estos parámetros sobre la calidad ambiental del río Chimehuin en el tramo aguas abajo de la descarga de la PTEC JA realizado por Mezzina (2019) plantea un panorama complejo, con valores de nitrógeno total y de amonio por encima de los valores considerados seguros para su uso como agua potable utilizando los métodos de potabilización tradicional. El mismo modelado muestra que si las concentraciones del efluente de la PTEC se ajustaran a los valores guías máximo para efluentes según la reglamentación provincial, entonces las concentraciones de amonio registradas en el río caerían dentro del rango de valores que se consideran seguros para su uso como agua potable.

En 2016 la laguna de aireación fue modificada para mejorar la mezcla y oxigenación del agua, lo cual habría mejorado las demandas de oxígeno con respecto a aquellas reportadas por Mezzina (2019) y, en alguna medida, las variables bacteriológicas; sin embargo, no se espera que este tipo de adaptaciones haya tenido un efecto muy significativo sobre la retención de nutrientes. Más allá de las modificaciones puntuales que se hayan realizado sobre la PTEC JA, encontramos un consenso general entre los expertos que consultamos y en la bibliografía existente (Funes, 2019; Mezzina, 2019) acerca de que el sistema de lagunaje es muy ineficiente para la retención de nutrientes y, en climas templado-fríos, incluso para lograr un saneamiento bacteriológico adecuado.

Más allá de la mirada de la calidad del agua desde el punto sanitario, este estudio muestra claramente que los aportes de nutrientes de la PTEC al río Chimehuin elevan sustancialmente la concentración de nutrientes, con un alcance geográfico de toda la parte inferior del río. Junto con temperaturas del agua elevadas, estos aportes generan condiciones conducentes a la proliferación de algas y a la ocurrencia de floraciones, con impactos aun no dimensionados sobre las comunidades acuáticas sustentadas por los productores primarios.

Todo lo expuesto, plantea que la descarga de la PTEC constituye un problema socioambiental complejo, con ribetes ecológicos y sanitarios, que requieren un abordaje urgente. La solución definitiva a ambos problemas es un cambio en la tecnología de tratamiento utilizada, ya sea como han propuesto Funes (2019) y Mezzina, (2019) a través de soluciones de ingeniería sanitaria convencional o a través de alguna solución basada en infraestructura verde, tal como la construcción de un humedal artificial (Rodríguez-

Domínguez et al., 2020) o el reúso de agua para riego, o alguna combinación de ellas. La problemática del efluente y la identificación de alternativas para su tratamiento fueron debatidas por el Grupo de Discusión 2 durante el Taller Final del 30 de Mayo (Anexo 14).

A través del análisis de isótopos estables, este estudio indica muy fuertemente que además del efluente de la PTEC, existen otros focos de contaminación por materia orgánica en la zona urbana y periurbana, que aportarían desechos cloacales que llegan al río por fuera del sistema cloacal. Este aporte se detecta desde la zona aguas arriba del puente sobre la RN 40 (que integra la zona de San Cabao y parte del Ejército) y sigue incrementándose a lo largo de la zona urbana del río. Es importante señalar que el análisis de isótopos estables se concentró en la composición del biofilm, es decir que los componentes detectados ya habían sido incorporados por parte de la comunidad acuática. Una parte importante de la provisión de agua potable de Junín de los Andes proviene de tomas de agua que se encuentran por dentro de esta zona impactada por este aporte orgánico, planteando otra señal de alarma desde el punto de vista sanitario. Es claramente deseable realizar un análisis específico y detallado en tiempo y espacio de la zona urbana y del Curruhue para identificar las fuentes de esta contaminación y buscar soluciones de remediación.

Este estudio también sugiere que es necesario profundizar el análisis de los aportes en la zona rural, según indican algunas señales de isótopos del carbono. Si bien el enriquecimiento de nutrientes producido en la ruralidad queda eclipsado por la magnitud de los aportes urbanos, es recomendable contemplar el efecto incremental que tienen sobre la calidad del agua los múltiples usos a lo largo del río. En este sentido, sería muy importante hacer un inventario y caracterización de los extensos y variados mallines que existen a lo largo del valle del Chimehuin. Se trata de sistemas de gran valor ambiental y productivo, cuyo rol en la dinámica de nutrientes en los ríos es prácticamente desconocido.

También es recomendable realizar un análisis más detallado de los afluentes del río Chimehuin. El río Curruhue, por ejemplo, también tiene una señal isotópica para el N enriquecida con respecto al Chimehuin Superior, indicando que podría existir alguna fuente significativa de materia orgánica asociada a este río. En el río Quilquihue, donde se verifica un proceso importante de urbanización y de desarrollo ganadero, detectamos niveles elevados de fósforo y, ocasionalmente, de nitrógeno. Este estudio también sugiere que es necesario profundizar el conocimiento existente de los procesos lacustres en el lago Huechulafquen para determinar si está efectivamente experimentando un proceso de enriquecimiento por fósforo, según sugiere la elevación de la concentración de fósforo en el Chimehuin superior con respecto a los valores históricos.

Como fuera remarcado por cada uno de los tres grupos de discusión durante el taller del 30 de mayo, es necesario analizar el papel del sauce en cuanto al ciclo de nutrientes en los ríos de la región. La magnitud de la colonización por el sauce sugiere que podría ser un

importante aportante de nutrientes (hojas y materia orgánica), como consumidor de agua a través del proceso de evapotranspiración, y como reservorio y agente de recirculación de nutrientes a través de la trampa de sedimentos entre sus raíces.

Para las actividades de investigación planteadas arriba, el análisis de isótopos estables se presenta como una herramienta invaluable. En este estudio, esta técnica fue capaz de detectar con muchísima precisión el origen de las nutrientes, permitiendo identificar las señales de las actividades humanas en las cuencas. Potencialmente, puede utilizarse para establecer una línea de base de la calidad de agua en las distintas subcuencas de la gran cuenca del río Limay. También puede utilizarse para trazar el impacto de los aportes de nutrientes de origen antrópico sobre las comunidades de los ríos, a través del análisis en las tramas tróficas de los ríos.

A partir de nuestra presentación en el taller final se generó un interés importante por la aplicación Alertas Algas. Varios asistentes, representando a potenciales contribuyentes a este tipo de aplicación, plantearon que creían importante revitalizar los esfuerzos para realizar el monitoreo de la progresión de las algas y monitoreo ambiental en general a través de este tipo de herramientas participativas. Este interés sugiere que sería recomendable implementar la aplicación, ya no destinada a un grupo reducido de “voluntarios”, lo cual no nos dio los resultados deseados durante nuestro intento, sino como app disponible para el público general de usuarios del río.

La preservación de la calidad ambiental de los ríos de la región y de sus aguas, y de las múltiples actividades que de ella dependen, demandan un nuevo paradigma para el manejo ambiental de las aguas, incluyendo acciones concretas para revertir situaciones de contaminación como la claramente identificada en el río Chimehuin. El desarrollo urbano y agrícola ganadero de la cuenca Limay es acelerado y es importante entender los aportes desde las diferentes actividades y subcuencas, no como casos de contaminación puntual sino como aportes incrementales que comprometen la salud ambiental y la seguridad sanitaria de toda la cuenca.

ACTIVIDAD 5. INFORMES

Se presentaron dos informes parciales (septiembre 2022 y junio 2023) y en esta instancia se cumple con la presentación del informe final, con el análisis completo de toda la información y con recomendaciones.

BIBLIOGRAFÍA

Diaz, M., Pedrozo, F., Reynolds, C. y Temporetti, P. 2007. Chemical composition and the nitrogen-regulated trophic state of Patagonian lakes. *Limnologica* 37: 17–27

Depetris, P.J.; Gaiero, D.M.; Probst J.L.; Hartmann, J., y Kempe, S., 2005. Biogeochemical output and typology of rivers draining Patagonia's Atlantic seaboard. *Journal of Coastal Research*, 21(4), 835–844. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.

Laffitte, L. N. 2000. Disponibilidad de macro-zoobentos en el río Chimehuín y su utilización por las truchas marrón (*Salmo trutta*) y arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Tesina de licenciatura. Universidad CAECE.

Liberoff, A.L., S. Flaherty, M.I. García Asorey, M.L. Fogel y M.A. Pascual. 2019. Assessing land use and land cover influence on surface water quality using a parametric weighted distance function. *Limnologica* 74:28-37.

Mezzina, A. 2019. Evaluación de alternativas de mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales de Junín de los Andes, Neuquén, Argentina. Tesis de Maestría. Univesitat Politècnica de Valencia, España.

Parra Pardi G. 1979. Estudio integral sobre la contaminación del Lago de Maracaibo y sus afluentes. Parte II. Evaluación del proceso de eutroficación. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Caracas. 235 pp.

Pedrozo, F.L., S. Chillrud, P. Temporetti y M.M. Diaz. 1993. Chemical composition and nutrient limitation in rivers and lakes of Northern Patagonian Andes (39.5°–42° S; 71°W). *Verh. Internat- Verein. Limnol.* 25:207-214.

Rhee, G.Y. y I.J. Gotham. 1980. Optimum N:P ratios and coexistence of planktonic algae. *Journal of Phycology* 16.

Rodriguez-Dominguez, M.A., D. Konnerup, H. Brix y C.A. Arias. 2020. Constructed Wetlands in Latin America and the Caribbean: A Review of Experiences during the Last Decade. *Water* 12: 1744. <https://doi.org/10.3390/w12061744>

Shimizu, I., Espinós, A., Gader, G., y Gonzalez, C. 1996. Primary and secondary productivity and nutrients in the Huechulafquen lake system. CEAN. 20pp

Shimizu, I., Espinós, A., Roa, R., Mendoza, J.L., Sakai, M. 1995. Carga de nutrientes de criaderos de peces y el ambiente biológico del río Chimehuín. CEAN. 27pp

Soto, D., Campos, H., Steffen, W., Parra, O., Zuñiga L. 1994. The Torres del Paine lake district (Chilean Patagonia). A case of potentially N-limited lakes and ponds. Archiv für Hydrobiologie (Supplement), 99 (1-2) (1994), pp. 181-197

ANEXO 1. GRUPO DE TRABAJO Y RESPONSABILIDADES.

Tabla A1.1 Integrantes del Equipo de Trabajo del proyecto. Las responsabilidades se definen en función de las Actividades y Tareas específicas del proyecto descriptas en el Anexo 2.

INVESTIGADOR/A	AFILIACIÓN	RESPONSABILIDADES
Miguel Pascual	IPEEC-CONICET-CENPAT, Puerto Madryn	Coordinación general del proyecto
Pablo Hualde	Centro de Ecología Aplicada del Neuquén (CEAN), Junín de los Andes.	Co-Coordinación general del proyecto y coordinación de Actividad 1
Jorge Kuroda	Centro de Ecología Aplicada del Neuquén (CEAN), Junín de los Andes.	Participación en todas las Tareas de la Actividad 1 y en Actividad 3
Mariela Demicheli	Centro de Ecología Aplicada del Neuquén (CEAN), Junín de los Andes.	Participación en todas las Tareas de la Actividad 1 y en Actividad 3
Leandro Castiñeira	Centro de Ecología Aplicada del Neuquén (CEAN), Junín de los Andes.	Participación en todas las Tareas de la Actividad 1 y en Actividad 3
Pamela Novarese	Centro de Ecología Aplicada del Neuquén (CEAN), Junín de los Andes.	Participación en todas las Tareas de la Actividad 1
Katya Albarrán	Centro de Ecología Aplicada del Neuquén (CEAN), Junín de los Andes.	Participación en todas las Tareas de la Actividad 1
Lucila Herber	INIBIOMA-CONICET (CEAN)Junín de los Andes	Participación en Tareas de la Actividad 1
Laura Portuze	Centro de Ecología Aplicada del Neuquén (CEAN), Junín de los Andes.	Participación en Tarea 3.2 y en la comunicación general del proyecto.
Cristina Durán Romero	IPEEC-CONICET-CENPAT, Puerto Madryn	Participación en Actividad 1 y liderazgo Tarea 2.2
Ana Liberoff	IPEEC-CONICET-CENPAT, Puerto Madryn	Responsable de Tarea 2.3
Camilo Bagnato	Administración de Parques Nacionales	Responsable de Tarea 2.2

ANEXO 2. ACTIVIDADES, TAREAS Y ENTREGABLES.

Tabla A2.1 Actividades y Tareas específicas propuestas para el proyecto.

Nº	1. ACTIVIDAD	2. DESCRIPCION	3. ENTREGABLES	4. RESPONSABLE DEL ENTREGABLE
1	<p>Estudio de la dinámica espacial y estacional de las floraciones algales y de las variables ambientales que las promueven. Enfocado en tres ríos de la Cuenca del Río Limay: Malleo, Chimehuin y Caleufu.</p>	<p>Tarea 1.1. Caracterización general de los tres ríos. Trabajo en gabinete en base a información satelital y Sistemas de Información Geográfica (SIG).</p> <p>Tarea 1.2. Muestreos en ríos T 1.2.1. Muestreos estacionales periódicos (4 por año). En ríos Chimehuin (18 sitios), Malleo (8 sitios), y Caleufu (1 sitio). Toma de muestra de agua para determinación de nutrientes, condiciones fisicoquímicas del agua, biofilm y cobertura algal, y macroinvertebrados. T 1.2.2. Medición continua de parámetros ambientales en ríos. Data-loggers de luz y temperatura colocados en Chimehuin (10 sensores), Malleo (3 sensores) y Caleufu (1 sensor). T 1.2.3. Registro visual continuo. Instalar una cámara de tipo “time lapse” en un sitio seleccionado en río Chimehuin inferior para monitorear el desarrollo de la floración.</p> <p>Tarea 1.3. Recopilación y análisis temporal y espacial de información hidroclimática. Análisis de hidrogramas (medio y específico para período del proyecto) y datos climáticos provenientes de estaciones hidroclimáticas en funcionamiento en los tres ríos pertenecientes a la AIC y al Sistema Nacional de</p>	<p>E1. Determinación de niveles críticos de N & P que son problemáticos en cuanto a la probabilidad de generar floraciones algales.</p> <p>E2. Un modelo conceptual y un modelo predictivo del desarrollo y formación de floración de algas en función de las condiciones ambientales (nutrientes, luz, temperatura, etc.)</p>	Miguel Pascual

		Información Hídrica: caudal, temperatura aire, precipitación.		
2	Análisis a nivel de cuenca para identificar las principales fuentes y contribuciones de N y P desde la cuenca y hacia el río. En la cuenca del Río Chimehuin.	<p>Tarea 2.1. Mapa de uso y cobertura del suelo del Río Chimehuin. Confeccionar un mapa de UyCS en base a cartografía, imágenes satelitales y visitas a campo, con soporte SIG.</p> <p>Tarea 2.2. Identificación química de fuentes de nutrientes en río. Utilizar Análisis de Isótopos Estables para identificar las fuentes de nutrientes.</p> <p>Tarea 2.3. Identificación estadística de fuentes de nutrientes en río. Ajuste de modelos relacionando indicadores químicos en río con coberturas en la cuenca (Liberoff et al. 2019. Limnologica 74:28-37)</p>	<p>E3. Mapa de uso y cobertura del suelo de la cuenca del río Chimehuin.</p> <p>E4. Una identificación de las principales fuentes de nutrientes en la cuenca del Chimehuin.</p>	Miguel Pascual
3	Participación ciudadana y apoyo a la gestión ambiental.	<p>Tarea 3.1. Ciencia ciudadana. Desarrollo de una aplicación de teléfono celular para que personas dedicadas a la actividad de pesca y otras utilizando los ríos informen sobre la presencia/ausencia de algas y las condiciones asociadas.</p> <p>Tarea 3.2. Talleres participativos. Desarrollo de al menos 3 talleres presenciales con personas clave en la cuenca (comunidad, usuarios, profesionales y autoridades) para comunicar objetivos y resultados a lo largo del proyecto, recabar información local del uso y prácticas relevantes para la salud del río e identificar acciones de manejo.</p> <p>Tarea 3.3. Identificación de medidas de manejo para regular</p>	<p>E5. Una app para reporte de floraciones algales y una plataforma para el análisis de la información recolectada.</p> <p>E6. Un conjunto de acciones de gestión prioritarias referidas al aporte de nutrientes de distintas actividades en las cuencas estudiadas</p>	Miguel Pascual

		el aporte de nutrientes por parte de distintas actividades y usos del suelo en las cuencas.		
4	Informes	Tarea 4.1. Informe avance I. Tarea 4.2. Informe avance II. Tarea 4.3. Informe final.	E7. Informes de actividades y resultados, incluyendo los entregables E1-E6.	Miguel Pascual

Tabla A2.2 Cronograma de tareas (según Tabla A2.1). Mes 1 del Año 1 se refiere a enero 2022.

Tarea	Año 1: Meses											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.1	X	X	X	X	X	X						
1.2	X	XM ⁹	X	XM	X	X	X	X	X	XM	X	XM
1.3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2.1			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2.2				X	X	X	X	X	X	X	X	X
2.3												
3.1	X	X	X	X	X						X	X
3.2	X					X				X		
3.3												
4.1								X				
4.2												
4.3												

Tarea	Año 2: Meses											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.1												
1.2	X	XM	X	XM	X	X	X	X	X	XM	X	XM
1.3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2.1	X	X										
2.2	X	X										
2.3		X	X	X	X	X	X	X				
3.1	X	X	X	X								
3.2					X							
3.3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
4.1												

⁹ M: muestreos en río, el resto de los meses el registro se realiza con data loggers y ciencia ciudadana

4.2				X								
4.3												X

ANEXO 3. METODOLOGÍA DE LA ACTIVIDAD 1: ESTUDIO DE LA DINÁMICA ESPACIAL Y ESTACIONAL DE LAS FLORACIONES ALGALES Y LAS VARIABLES AMBIENTALES QUE LAS PROMUEVEN.

Tarea 1.1. Caracterización general de los ríos.

Esta tarea consistió en trabajo en gabinete para construir una cartografía básica de las tres subcuencas de estudio en base a información satelital y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para diseñar los trabajos de campo, para relevar variables geomorfológicas y topográficas que determinan la configuración fluvial en los sitios de muestreo en cuanto a su influencia sobre la ocurrencia de floraciones y como soporte de todas las actividades del proyecto. Se ha construido una base de datos geográfica y un sistema de información geográfica (SIG) con capas de información de las cuencas analizadas (Anexo 4).

Tarea 1.2. Muestreos en ríos

1.2.1. Muestreos estacionales periódicos.

Es la actividad vertebral del proyecto, apuntada a relevar integralmente la condición de los ríos y de las floraciones algales, a lo largo del año y en distintas secciones de los ambientes. Se realiza cuatro veces al año (febrero, mayo, octubre y diciembre), en un máximo de 29 sitios, 18 en el río Chimehuin, 8 en Malleo, 1 en Caleufu y 2 en Collon Cura (Figura 2). Se realizaron siete muestreos estacionales propuestos con la configuración geográfica en Figura 2, a los que se suman seis muestreos realizados previamente con menor frecuencia y alcance geográfico (detalles en Anexo 5, Tabla A5.1). Cada muestreo estacional demandó aproximadamente una semana de trabajo de campo, por parte de un equipo de 4 o 5 técnicos (Figura A3.1). Varias actividades son realizadas en forma simultánea a fin de obtener una amplia colección de parámetros y muestras, varias de las cuales demandan análisis posteriores de laboratorio de distinta complejidad y demanda de tiempo (detalles en Anexo 5, Tabla A5.2).

Entre todas las variables relevadas, destacamos la determinación de la concentración de nutrientes (medida a través de 5 variables diferentes en nuestros muestreos, Tabla A5.2) en distintos ríos y sitios dentro de los ríos, ya que es una variable clave para la ocurrencia de las floraciones algales.



Figura A3.1: Actividades de muestreo en río. Mientras dos o tres personas registran datos con instrumentos digitales y toman las muestras de agua y de biofilm sobre rocas, otras dos o tres registran cobertura de algas, datos de los data loggers o realizan muestreo de macroinvertebrados.

1.2.2 Medición continua de parámetros ambientales en ríos.

En diciembre de 2021 se instaló un total de 18 data loggers, 9 en el río Chimehuin, 6 en el río Malleo, 2 en el río Collon Cura y 1 en el río Malleo (Figura 2). Todos los data loggers registran temperatura y 7 de ellos registran además intensidad de luz. El Anexo 6 muestra

imágenes del emplazamiento de los data loggers y una parte de los datos crudos de temperatura obtenidos (registro cada 15 minutos).

Tarea 1.3. Recopilación y análisis temporal y espacial de información hidro-climática.

La información provista por los muestreos y los data loggers es reforzada con el análisis de datos provenientes de estaciones hidro climáticas en funcionamiento en los tres ríos pertenecientes a la AIC¹⁰ y al Sistema Nacional de Información Hídrica (SNIH¹¹). Las estaciones de registro disponibles en las tres cuencas principales de estudio se muestran en la Figura A3.2. La información de AIC es solicitada por pedido formal interinstitucional, mientras la del SNIH se encuentra disponible online.

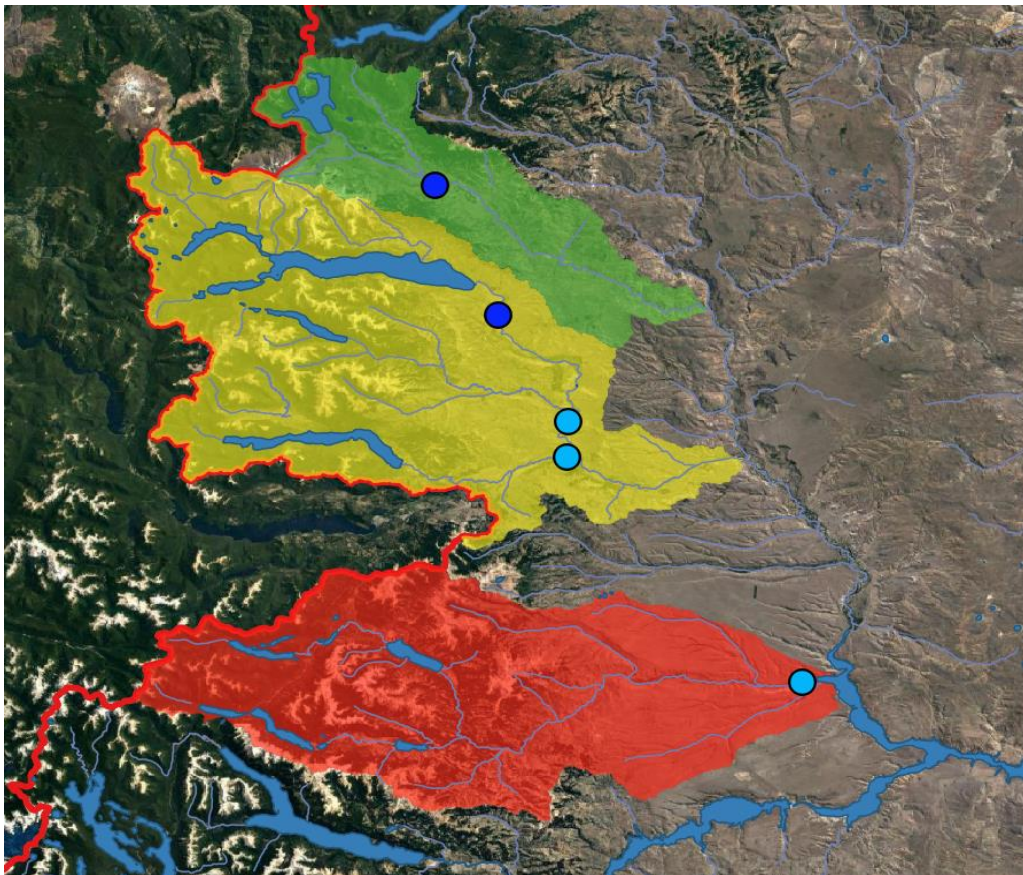


Figura A3.2. Posición estaciones hidroclimáticas en las cuencas Malleo, Chimehuin y Caleufu. Los puntos celestes identifican estaciones que proveen información de caudal y las azules estaciones que proveen además información de temperatura del aire y precipitaciones.

¹⁰ Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro.
<http://www.aic.gob.ar/sitio/estaciones>

¹¹<http://snih.hidricosargentina.gob.ar/>

ANEXO 4. CAPAS SIG DISPONIBLES DE LOS AMBIENTES ANALIZADOS.

Tabla A3.1. Capas SIG recopiladas/elaboradas a la fecha. Todas las capas son mantenidas en formato Lat-Long (EPSG 4326) y transformadas a POSGAR 07, Gauss-Krüger Faja 3 (EPSG 5345) para realizar cálculos de áreas y distancias.

CAPA	ALCANCE	TIPO Y PROYECCIÓN	FUENTE
Delimitación de cuencas	Cuencas de los ríos Limay, Aluminé/Collon Cura, Malleo, Chimehuin, Caleufu.	Vectorial, EPSG:4326	Análisis propio de configuración de cuencas basado en herramientas de Qgis
Cursos de agua	Cuenca del río Limay	Vectorial, EPSG:4326	Base de datos del IGN, corregida por digitalización propia.
Lagos y embalses	Cuenca del río Limay		IGN
Localidades	Cuenca del río Limay	Vectorial, EPSG:4326	IGN
Red Vial	Nacional	Vectorial, EPSG:4326	IGN
Macizos de pino	Patagonia	Vectorial, EPSG:2218	CIEFAP
Ecoregiones de Argentina	Nacional	Vectorial, EPSG:4326	
Información catastral	Plantas urbanas, catastro urbano Junín de los Andes y rural a nivel provincia del Neuquén	Vectorial, EPSG:4326	CATASTRO MUNICIPAL JANDES Y PROVINCIAL
Áreas Naturales protegidas	Nacional y provinciales de Neuquén	Vectorial, EPSG:4326	APN
Comunidades Mapuche	Provincia del Neuquén	Vectorial, EPSG:4326	INAI
Delimitación del bosque de ribera de sauce	Río Chimehuin	Raster, EPSG:4326	Elaboración propia
Topografía	Toda la cuenca del río Limay	Raster, EPSG:4326	ALOS
Imagen alta resolución a través de Web services en QGIS	Mundial	Raster, EPSG:4326	Google Satellite ESRI Satellite

ANEXO 5. COBERTURA TEMPORAL Y ESPACIAL DE LOS MUESTREOS ESTACIONALES PERIÓDICOS Y DETALLE DE LAS ACTIVIDADES Y MUESTRAS EN CADA SITIO.

Tabla A5.1 Cobertura temporal y espacial de muestreos periódicos (Tarea 1.2.1). Números indican sitios muestreados en cada ambiente. Fondo gris, muestreos realizados con anterioridad a recibir la financiación desde TNC y fondo azul aquellos incluidos en período reportado (detalles de actividades en sitio en Tabla A5.2).

FECHA	Chimehuin			Malleo			Collon Cura	Caleufu
	Principal	Curruhue	Quilquihue	Principal	Turbio	Correntoso		
2018 FEBRERO	15	1	1					
2018 MAYO	15	1	1					
2019 DICIEMBRE	13	1	1	6	1	1		
2020 FEBRERO	13	1	1	6	1	1		
2020 DICIEMBRE	13	1	1	6	1	1		
2021 FEBRERO	13	1	1	6	1	1	2	1
2021 DICIEMBRE	16	1	1	7	1	1	2	1
2022 FEBRERO	16	1	1	6			2	1
2022 MAYO	15			6			2	1
2022 OCT-NOV	13	1	1	6			2	1
2022 DICIEMBRE	15	1	1	7	1	1	2	1
2023 FEBRERO	15	1	1	7	1	1	2	1
2023 MAYO	15	1	1	7	1	1	2	1

Tabla A5.2. Muestras y variables físico químicas y ambientales obtenidas en cada sitio de muestreo. Todas las variables listadas se obtienen en todos los 29 sitios de muestreo (Figura 2), excepto macroinvertebrados que se obtienen en sólo 5 de los sitios (2 en Malleo, 3 en Chimehuin) y lectura de data loggers, que ocurre en 18 sitios.

VARIABLE	MÉTODO	OBSERVACIONES
En sitio con instrumentos:		
Temperatura del aire	Termómetro digital	
Temperatura del agua	Termómetro digital	
pH	Peachímetro digital	
Conductividad eléctrica	Conductímetro digital	
Oxígeno disuelto	Oxímetro digital	
Turbidez	Turbidímetro	
En sitio con mediciones o registro:		
Cobertura algal	Estimación visual	Apreciación de 2 o más observadores
Calidad bosque de ribera	Índice QBRp	Mide la integridad ecológica de la ribera
Lectura de data-loggers	Temperatura (18 sitios) y luz (en 7 de ellos) medidas cada 15' desde el 13/12/2021	Debe ubicarse el data loggers y sacarlo fuera del agua para bajada de datos a Tablet o celular x bluetooth
En sitio toma de muestras para análisis de laboratorio/gabinete:		
Agua	Embotellado	1 litro. 0,5L congelado hasta su análisis, 0,5L filtrado y analizado dentro de las 48hs
Perifiton o film	Raspado superficies del fondo	5 piedras, 28 cm ² en cada una, mezcladas y homogeneizadas en 1L de agua. Alícuota de 0,1L filtrada en papel GF/C
Fotos del cauce	Cenital con cámara sumergible	12 Fotos
Macroinvertebrados	Red Surber	Tres muestras por sitio/fecha en recuadro de 0,06 m ² de fondo.
En laboratorio sobre muestra de agua:		
Fósforo total	APHA (1992) 4500 P E	
Fósforo reactivo soluble	APHA (1992) 4500 P E	
Nitrógeno total	Grasshoff (1999)	
Nitritos	APHA (1992) 4500-NO ₂	
Nitratos	APHA (1992) 4500-NO ₃ E	
En laboratorio sobre muestra de perifiton:		
Clorofila	Biggs y Kilroy (2000)	
Materia seca	Biggs y Kilroy (2000)	
En gabinete sobre fotos:		
Granulometría del lecho	Análisis de fotografías del lecho	Software ImageJ sobre fotos digitales
Cobertura de algas filamentosas	Análisis de fotografías del lecho	Software ImageJ sobre fotos digitales

ANEXO 6. DATA LOGGERS PARA REGISTRO DE TEMPERATURA Y LUZ EN RÍOS.



Figura A6.1: Izquierda: Detalle de los data loggers (azul temperatura; verde temperatura y luz) e instrumento fuera del agua para mostrar anclaje en bloque de hormigón y alambre de seguridad sujeto a punto fijo. Derecha: lectura de los registros desde un data logger en el campo mediante un celular y vía Bluetooth. El instrumento debe estar fuera del agua para que la lectura via bluetooth sea posible.

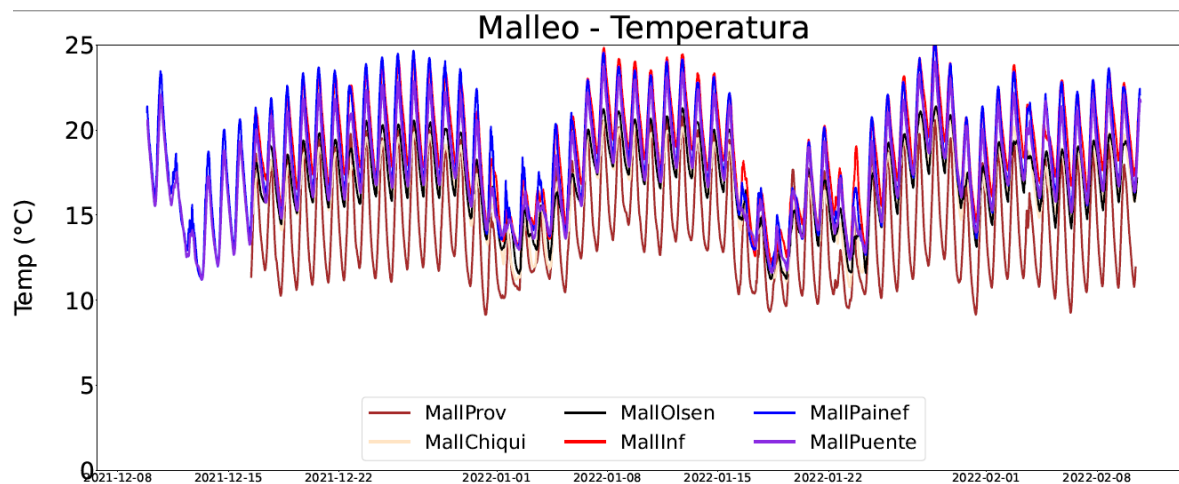
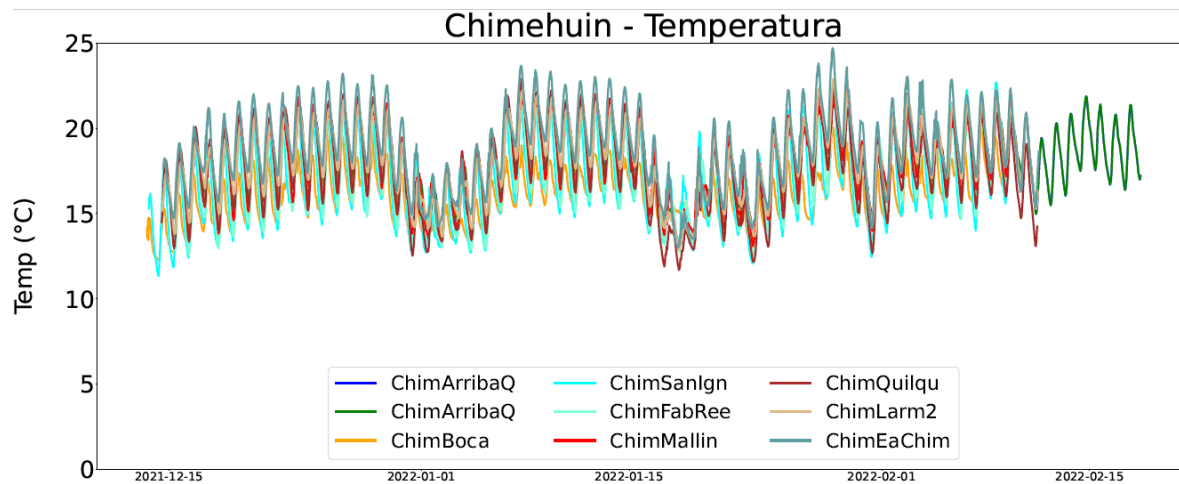


Figura A6.2: Registro de temperatura de los 9 data loggers instalados en el río Chimehuin (panel superior) y de los 6 data loggers en el río Malleo (panel inferior) en el período diciembre 2021 a febrero 2022.

ANEXO 7. ANÁLISIS DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS.

Durante el estudio se colectaron muestras de organismos acuáticos que viven asociados al lecho de los ríos y que podrían verse afectados por la proliferación de estas algas. Las muestras se tomaron en simultáneo con el resto del relevamiento, desde primavera del 2021 hasta otoño 2023.

Se seleccionaron tres sitios para la colecta de estos organismos en el río Chimehuín: E1: Boca, E8: Curva del Manzano y E14: Estancia Chimehuín. En tanto en el río Malleo se seleccionaron dos sitios: E1 Mall: límite con el Parque Nacional Lanín y E6 Mall: tramo inferior. En cada visita se obtuvieron cinco muestras obtenidas con una red Surber de 250 μm de luz de malla (25 x 25 cm de lado). Cada muestra fue fijada, conservada y rotulada en frascos con fecha y código de sitio.

En laboratorio se separaron, analizaron e identificaron los organismos hasta nivel de familia para determinar su composición y abundancia. Se emplearon lupas estereoscópicas (40X), y balanza de precisión (0,001g) para estimación de biomasa.

Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva para determinar promedios, desvíos, máximos y mínimos de organismos. Los datos obtenidos no cumplen los criterios de pertenencia a una distribución normal, o se trata de variables cualitativas ordinales con poco tamaño muestral, para estos supuestos, se emplearon pruebas de significación estadística no paramétricas o también conocidas de libre distribución. El objetivo fue comparar medias o medianas independientes. Las pruebas de significación estadística utilizadas fueron: la prueba "U" de Mann-Whitney, para la comparación de dos muestras independientes, ya sea con variables cuantitativas o cualitativas ordinales (de rango); la prueba de Kruskal-Wallis: empleada para la comparación de tres o más muestras independientes, ya sea con variables cuantitativas o cualitativas ordinales (de rango); y la prueba de rango con signo de Wilcoxon para muestras pareadas donde las parejas son los mismos sujetos en dos condiciones diferentes.

Las densidades de individuos variaron entre 3709 a 23347 ind/m² en el río Malleo, en tanto, para el río Chimehuín varió entre 2843 a 22608 ind/m².

La biomasa de individuos de varió entre 4,08 a 76,9 g/m² en el río Malleo, en tanto, para el río Chimehuín varió entre 4,98 a 73,3 g/m².

Tabla 1. Densidad de macroinvertebrados por unidad de superficie (ind/m²) en primavera y verano entre el año 2021 y 2023 para los sitios de muestreo en los ríos Malleo y Chimehuín respectivamente (n = 5 muestras).

Ambiente	Sitio	2021 primavera		2022 verano		2022 primavera		2023 verano	
		prom	DE	prom	DE	prom	DE	prom	DE
Malleo	E1	8406	±4017	3677	±2572	19226	±4316	23347	±11375
	E6	4614	±2711	4486	±1576	3709	±1716	5427	±1711
Chimehuín	E1	5098	±3620	4282	±3615	2864	±2250	7299	±3334
	E8	4096	±3027	22608	±33556	7869	±4497	5706	±5229
	E14	4896	±2843	9926	±4305	4944	±4647	7555	±6116

Tabla 2. Datos totales de biomasa de macroinvertebrados por unidad de superficie (g/m²) en primavera y verano entre el año 2021 y 2023 para los sitios de muestreo en los ríos Malleo y Chimehuín respectivamente (n = 80 muestras).

Ambiente	Sitio	2021 primavera		2022 verano		2022 primavera		2023 verano	
		prom	DE	prom	DE	prom	DE	prom	DE
Malleo	E1	8.82	±1.58	4.08	±4.89	25.7	±12.8	11.5	±6.50
	E6	76.9	±48.2	53.2	±32.0	36.2	±51.7	26.3	±19.3
Chimehuín	E1	16.7	±15.8	4.98	±5.53	10.1	±7.83	7.82	±10.8
	E8	67.2	±23.3	73.3	±30.7	35.4	±32.0	28.3	±15.0
	E14	24.7	±15.4	42.4	±16.8	22.5	±22.4	9.19	±7.54

Se observaron diferencias en la biomasa de macroinvertebrados entre estaciones del año para un mismo sitio, pero las mismas, resultan no significativas. No obstante, cuando se compara la biomasa entre distintos sitios de muestreo para una misma fecha, se observan diferencias significativas. (Kruskall-Wallis)

Los valores de biomasa de macroinvertebrados en general son menores en las cabeceras de ambos ríos en comparación con los sitios de muestreo del curso medio o inferior. Datos similares se observan en estudios anteriores para el río Chimehuín. (Laffitte L. 2000)

Tabla 3. Datos de biomasa (g/m²) de macroinvertebrados hallada en el río Chimehuín, comparados con otros estudios anteriores del mismo río. (Shimizu I. 1993. Laffitte L. 2000.)

Río Chimehuín - Biomasa de macroinvertebrados - g/m ²				
Mes / Año	E1 - Boca	E8 - Angostura	E14 Ea. Chimehuín	Referencia
Marzo 1993	3,40	48,3	s/d	Shimizu I., et. Al
Diciembre 1999	6,28	27,4	s/d	Laffitte L.
Febrero 2000	12,0	22,7	s/d	Laffitte L.
Marzo 2014	14,4	25,1	22,9	CayR Ecofluvial
Promedio	9,02	30,9	22,9	1993-2014
Diciembre 2021	16,7	67,2	24,7	Este estudio
Febrero 2022	4,98	73,3	42,4	Este estudio
Diciembre 2022	10,1	35,3	22,5	Este estudio
Febrero 2023	7,82	28,2	9,19	Este estudio
Promedio	9,9	51,0	24,7	2021-2023

Tabla 4. Datos de índice de diversidad medios (prom) y desvío estándar (DE) para los sitios muestreados en diferentes estaciones, en los ríos Chimehuín y Malleo entre los años 2021 y 2023.

Ambiente	Sitio	ETP		S riqueza		H'		Estación
		prom	DE	prom	DE	prom	DE	
	E1	41.0	±28.1	9.2	±4.4	1.1	±0.3	primavera '21
		58.8	±44.1	12.2	±4.3	1.7	±0.1	verano '22
		249.2	±166.0	20.0	±1.2	1.5	±0.2	primavera '22
		440.2	±322.8	19.4	±5.2	1.8	±0.1	verano '23
Malleo	E6	109.8	±89.6	14.6	±1.5	1.9	±0.3	primavera '21
		146.6	±55.0	16.2	±2.2	2.0	±0.2	verano '22
		95.8	±40.2	12.4	±1.5	2.0	±0.2	primavera '22
		196.2	±79.5	15.0	±2.5	2.0	±0.1	verano '23
Chimehuín	E1	59.8	±15.3	13.2	±1.9	1.4	±0.3	primavera '21
		174.6	±151.1	12.6	±3.8	1.4	±0.2	verano '22
	E8	60.8	±56.8	13.8	±1.8	2.0	±0.2	primavera '22
		183.6	±80.5	14.4	±3.0	1.5	±0.2	verano '23
	E8	125.2	±82.6	9.4	±1.1	1.6	±0.3	primavera '21
		533.2	±475.7	14.6	±1.8	1.7	±0.2	verano '22

	212.4	±134.5	12.6	±4.4	1.4	±0.4	primavera '22
	144.2	±85.8	11.2	±3.8	1.5	±0.1	verano '23
E14	140.2	±78.0	12.2	±1.6	1.5	±0.2	primavera '21
	200.4	±140.1	16.4	±0.9	1.9	±0.6	verano '22
	164.2	±138.1	15.0	±5.6	1.9	±0.4	primavera '22
	195.0	±162.6	15.0	±3.0	1.8	±0.1	verano '23

Tabla 5. Datos comparativos de diversidad de macroinvertebrados acuáticos en el río Chimehuín. Años 1999, 2000 y actualidad (2021, 2022 y 2023).

Mes / Año	E1	E8	E14	Referencia
dic'99 - jul'00	1.50	1.81	s/d	Laffitte L.
dic-21	1.42	1.59	1.52	Este estudio
feb-22	1.45	1.69	1.95	Este estudio
dic-22	1.99	1.38	1.88	Este estudio
feb-23	1.51	1.47	1.83	Este estudio
Promedio	1.59	1.53	1.80	2021-2023

El análisis de diversidad H' en ecosistemas naturales varía entre 0,5 y 5, siendo los valores normales entre 2 y 3. Valores inferiores a 2 se consideran bajos en diversidad y superiores a 3, altos en diversidad.

Los valores de diversidad de ambos ríos resultan menores a 2 ($H' < 2$). Coincidentemente se hallaron datos similares reportados para río Chimehuín en 1999 por L. Laffitte (Tablas 4 y 5).

Los análisis del índice ETP (Ephemeroptera-Trichoptera-Plecoptera) no arrojaron diferencias significativas entre sitios o fechas de muestreo.

Se analizó la biomasa total promedio de cada sitio y época del año en relación con la cobertura subacuática de algas de cada ambiente. No se encontraron correlaciones fuertes (Figuras 21 y 22).

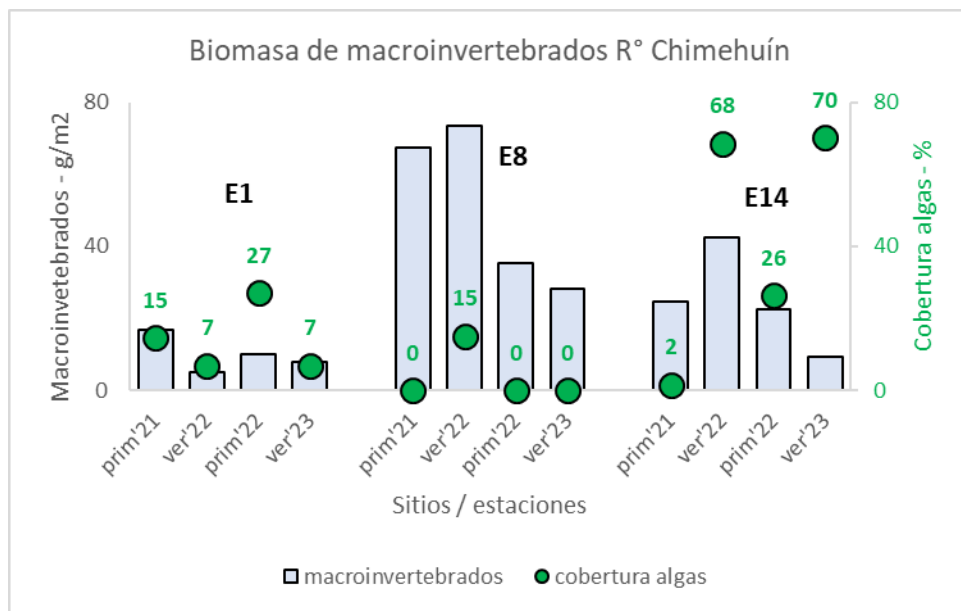


Figura 21. Abundancia relativa de la biomasa de macroinvertebrados y la cobertura porcentual de algas por sitio y época del año en el río Chimehuín.

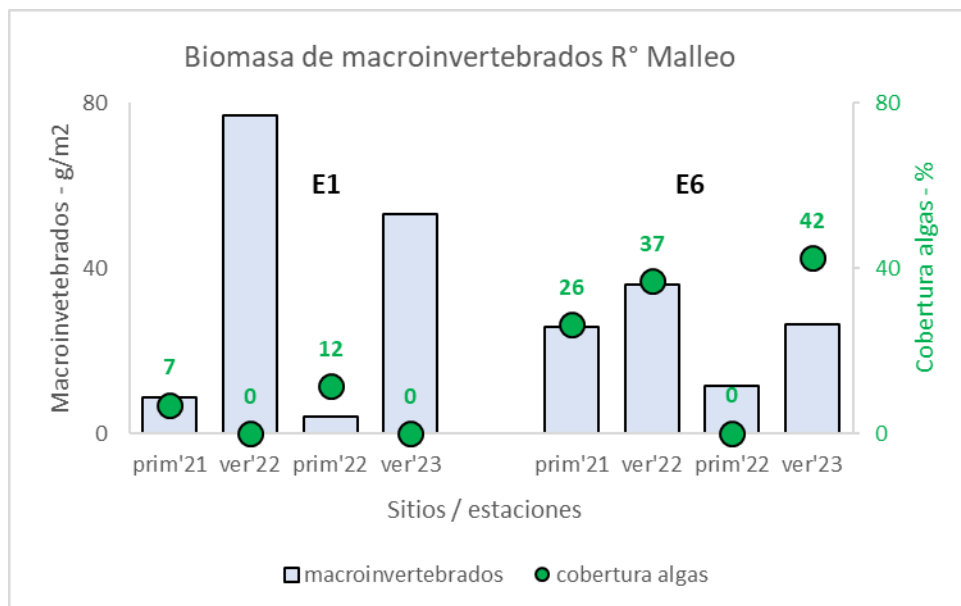
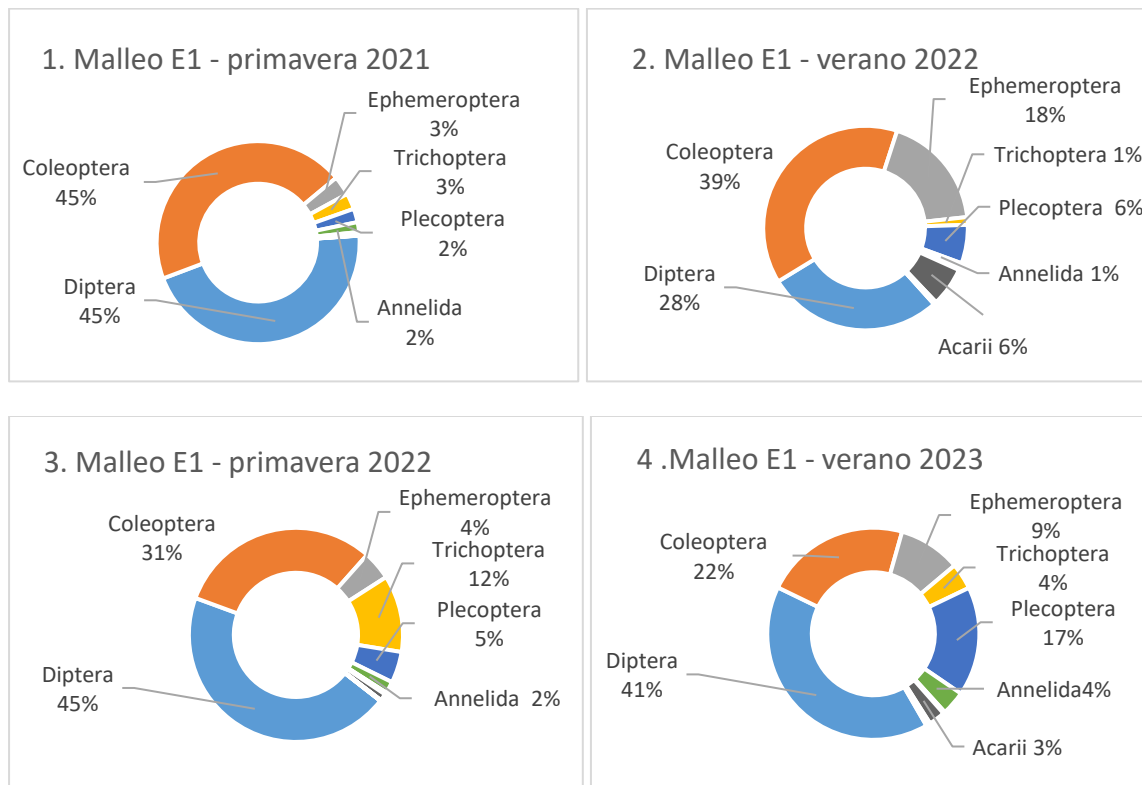


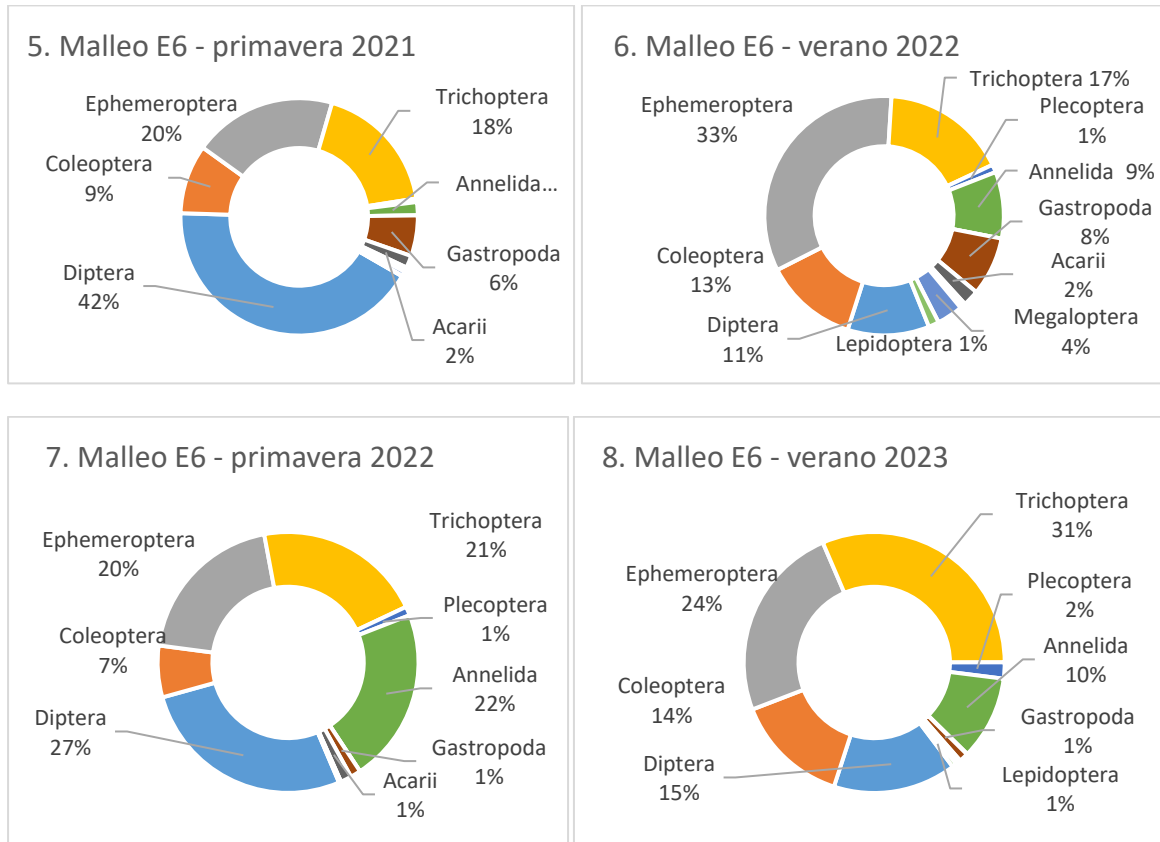
Figura 22. Abundancia relativa de la biomasa de macroinvertebrados y la cobertura porcentual de algas por sitio y época del año en el río Malleo.

Los datos presentados tanto en biomasa como en diversidad, muestran similitud, con lo reportado en estudios realizados hace 25 años en el sistema del río Chimehuín.

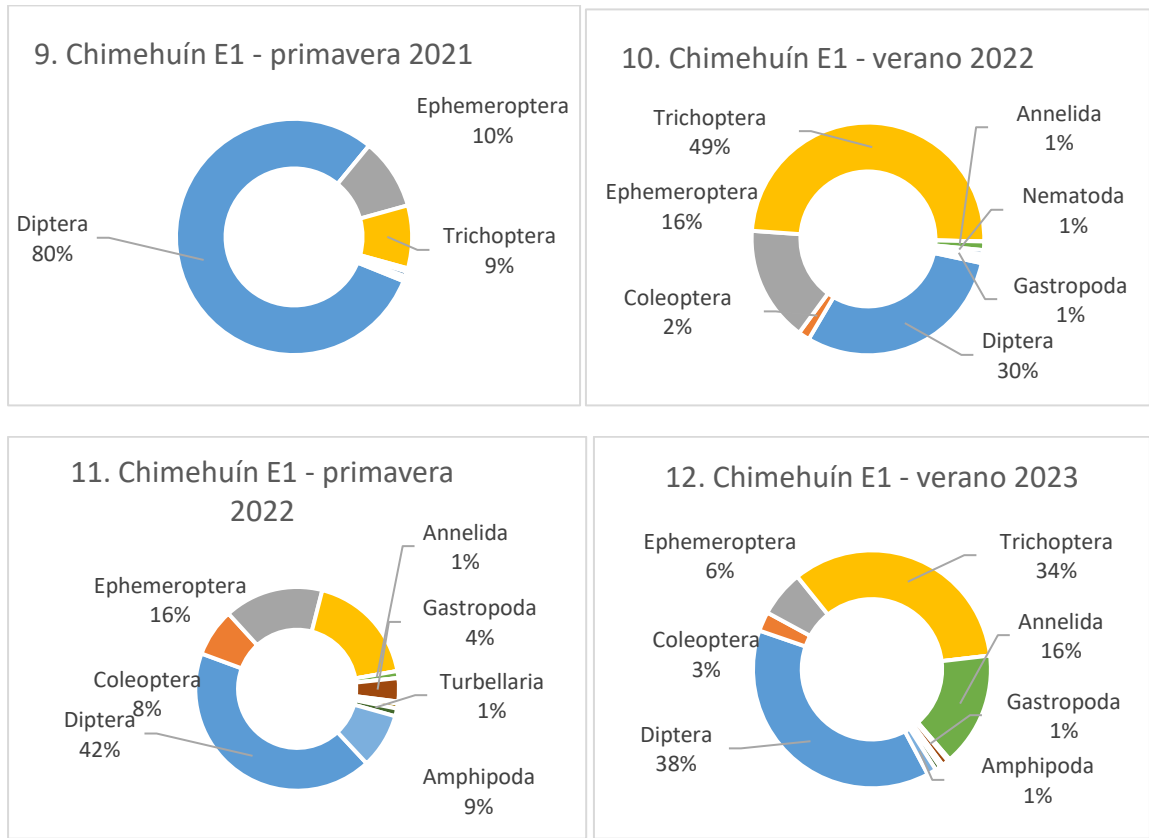
COMPOSICIÓN POR ORDENES DE MACROINVERTEBRADOS



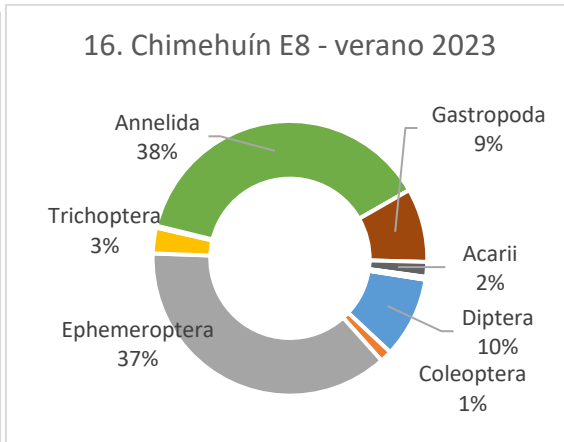
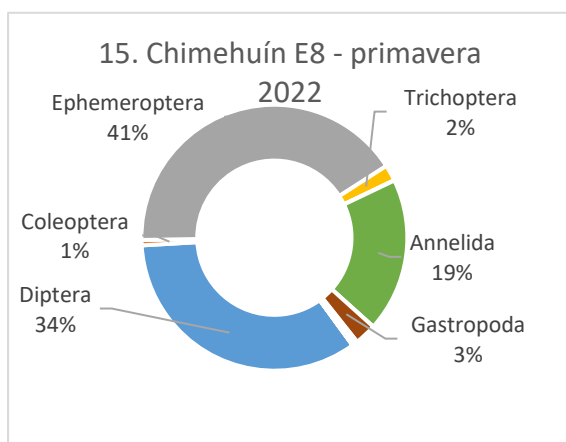
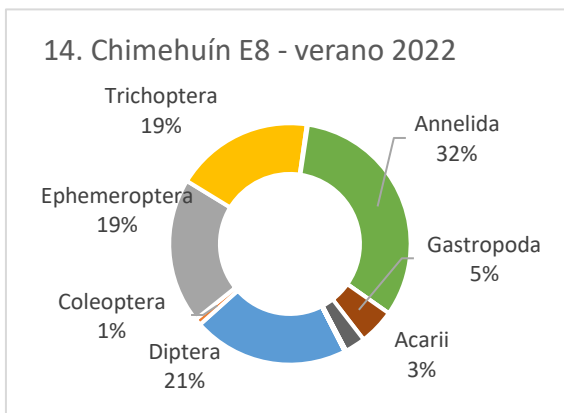
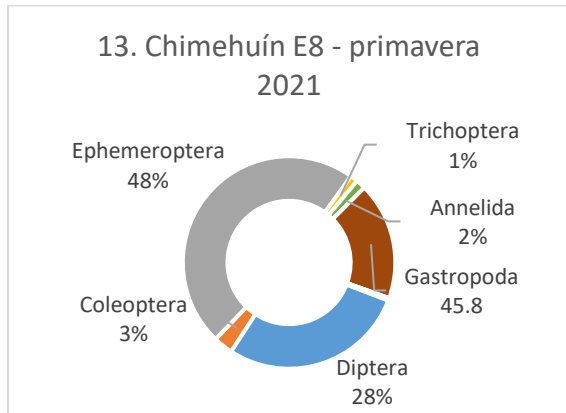
Figuras 1 a 4. Río Malleo: Sitio E1 Mall. Composición relativa porcentual del número de individuos (n) de macroinvertebrados bentónicos, para cada estación del año.



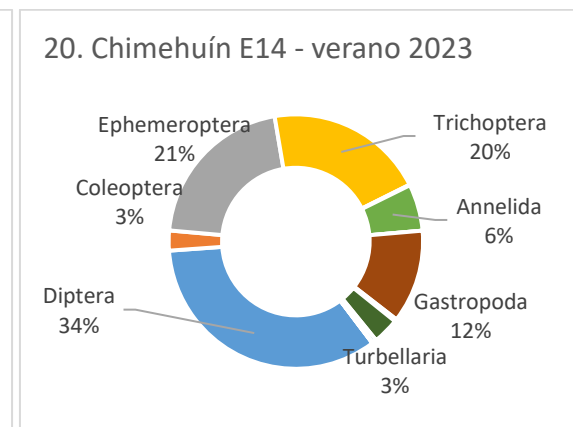
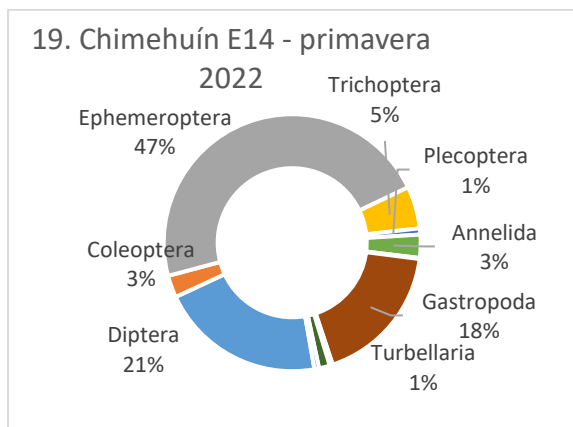
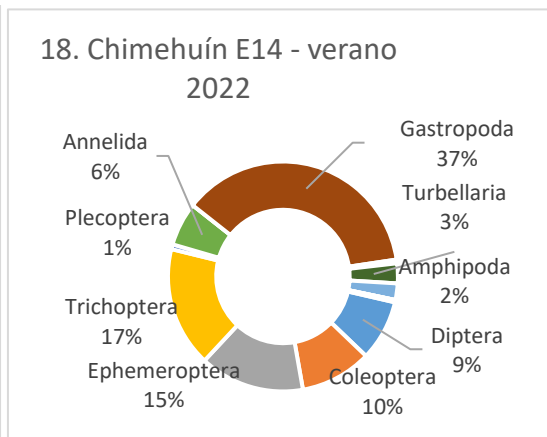
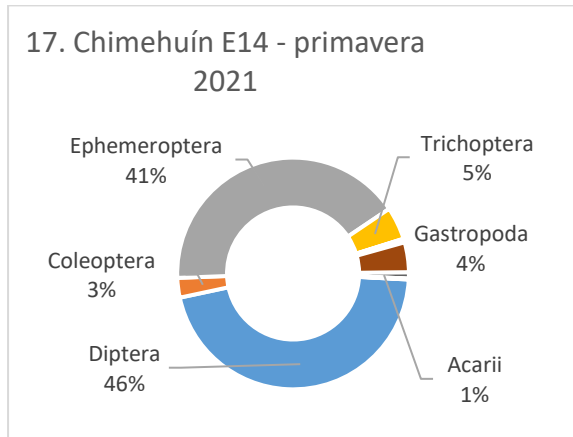
Figuras 5 a 8. Río Malleo: Sitio E6 Mall. Composición relativa porcentual del número de individuos (n) de macroinvertebrados bentónicos, para cada estación del año.



Figuras 9 a 12. Río Chimehuín: Sitio E1. Composición relativa porcentual del número de individuos (n) de macroinvertebrados bentónicos, para cada estación del año.



Figuras 13 a 16. Río Chimehuín: Sitio E8. Composición relativa porcentual del número de individuos (n) de macroinvertebrados bentónicos muestreado, para cada estación del año.



Figuras 17 a 20. Río Chimehuín: Sitio E14. Composición relativa porcentual del número de individuos (n) de macroinvertebrados bentónicos muestreado, para cada estación del año.

ANEXO 8. CONSTRUCCIÓN DE UN MAPA DE USO Y COBERTURA DEL SUELO DE LA CUENCA DEL RÍO CHIMEHUIN.

Metodología

Mediante la fotointerpretación de imágenes Landsat y firmas fenológicas del Índice de Vegetación Normalizado, se identificaron distintas clases de uso y cobertura del suelo estables para el periodo 2000-2022, es decir, que no registraron cambios en el periodo considerado. Para cada una de estas clases se tomaron muestras de referencia (también denominadas áreas de entrenamiento) con el fin de abastecer a un algoritmo de clasificación supervisado que permita asignar cada uno de los píxeles de las imágenes Landsat a una clase de uso y cobertura del suelo específico. Cada una de las muestras se correspondió con un polígono digitalizado de manera manual y de un tamaño variable, aunque no mayor a un área que incluyera más de 20 píxeles Landsat (alrededor de 2 ha). En total se digitalizaron 576 polígonos, los cuales incluyeron las siguientes clases de uso y cobertura del suelo: Bosque (n=101), Plantación Forestal (n=55), Humedales (Mallines) (n=95), Suelo Desnudo/Roca (n=101), Estepa (n=72), Glaciares y Nieve (n=10), Cuerpos y Cursos de Agua (n=55), Matorrales y Arbustales (n=53) y Bosque Ribereño (n=35) (Figura 1).

Espacio de atributos

Se construyeron los mosaicos que componen el espacio de atributos para la clasificación supervisada del año 2022. Se utilizaron imágenes de reflectancia de la superficie de la Colección 2 entre enero y diciembre provistas por el satélite Landsat-8, respectivamente. Las imágenes fueron filtradas por calidad descartando aquellos píxeles que presentaban nubes y/o sombras utilizando la función CloudMaskC2, y se aplicaron los factores de escala correspondientes. Se construyeron compuestos estacionales de 3 meses para el verano, otoño, invierno y primavera (Figura 2). Los compuestos consideran el píxel con el valor mediano de la distribución de frecuencias de todas las observaciones de buena calidad de cada periodo. En general los compuestos trimestrales presentaron datos en todos los píxeles que cubren la provincia de Misiones, pero con pequeñas porciones de datos faltantes en ciertas zonas por presencia frecuente de nubes y/o superficies muy reflectivas (suelo desnudo o ciudades). En dichas áreas se aplicó un algoritmo desarrollado ad hoc que de forma secuencial rellena los datos faltantes con el promedio de las observaciones del mes previo y posterior al periodo focal en ventanas temporales sucesivas hasta un periodo máximo de 12 meses. Así, en los casos en que resultó necesario, se evaluaron 4 ventanas temporales de uno, dos, tres meses y un año.

Sobre los compuestos trimestrales se calcularon cuatro índices espectrales vinculados con la vegetación, el suelo, los eventos de fuego y el agua: el NDVI, SAVI, NBR y NDWI (4

estaciones x 4 índices espectrales). A su vez, se caracterizó la dinámica temporal de la vegetación mediante atributos funcionales asociados a los índices espectrales. Así, se calculó la media, el máximo, el mínimo y desvío estándar de cada uno de los cuatro índices mencionados (4 métricas x 4 índices). Además, se incluyó un modelo de elevación digital, del cual se derivó la altura sobre el nivel del mar, la pendiente y la exposición de las laderas. Esto se hizo a partir del modelo de elevación digital SRTM digital elevation disponible en GEE provisto por la NASA. Con los datos digitales de elevación de Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) se obtuvieron modelos digitales de elevación a una escala casi global con resolución espacial de 30 m (Farr et al. 2007). Así, el espacio de atributos se compuso de 59 bandas de información: la reflectancia de las 6 bandas del visible e infrarrojo y los cuatro índices espectrales en las 4 estaciones (10x4), los atributos funcionales (4x4) y los atributos geomorfológicos derivados del modelo de elevación digital (3).

Clasificación Supervisada

Se realizaron clasificaciones supervisadas utilizando el espacio de atributos, las muestras de entrenamiento y el algoritmo de clasificación Random Forest (Breiman 2001). Dicho espacio de atributos se muestrea utilizando los polígonos de entrenamiento y se entrena el algoritmo Random Forest caracterizado con las variables y muestras definidas. Así, se generan un serie de decisiones complejas en un espacio multidimensional, que luego son aplicadas a toda el área de estudio, clasificando así todos los píxeles en las clases definidas en la leyenda. Se trabajó con una unidad mínima mapeable de 0.5 ha. Se generó un script en GEE en el que se aplica un filtro espacial sobre la clase de bosque de cada una de las clasificaciones. Este filtro evalúa la conectividad de los píxeles de bosque, calcula el tamaño de los parches y filtra aquellos que son menores a 6 píxeles (0.45 ha). Así, se ajustan las clases identificadas, eliminando los parches menores a la unidad mínima mapeable.

Así se obtuvo una clasificación preliminar la cual fue revisada mediante inspección visual de los patrones espaciales de las diferentes coberturas y análisis de firmas fenológicas de NDVI. En donde se detectan errores de clasificación se incorporaron muestras complementarias con el fin de corregir las confusiones del mapa. Mediante este proceso se realizaron varias iteraciones de digitalización de muestras complementarias y reclasificación de los mapas preliminares. Luego se analizó la fiabilidad del mapa mediante matrices de confusión con un grupo de datos de verdad terrestre independiente que no fue involucrado en el proceso de clasificación.

ANEXO 9. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES EN BIOFILM DEL RÍO CHIMEHUIN.

Resultados de los análisis de isótopos estables del nitrógeno y del carbono sobre muestras de biofilm (tomadas en el río Chimehuin en febrero de 2022) realizados en el laboratorio de “Biogeoquímica de isótopos estables” del Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, Universidad de Granada, España.

Filtro	Masa filtro	Muestra	$\delta^{15}\text{N} \text{‰}$ (Air-N ₂)	$\delta^{13}\text{C} \text{‰}$ (V-PDB) Total	$\delta^{13}\text{C} \text{‰}$ (V-PDB) Organico	Razon C/N
1	0.0976	E01	-0.67	-13.27	-13.38	9.42
2	0.0966	E02	-0.53	-14.28	-14.71	10.27
3	0.0980	E03	-0.65	-13.94	-13.96	11.18
4	0.0979	E04	-0.64	-15.26	-15.40	9.97
5	0.0977	E05	0.03	-19.17	-19.70	10.14
6	0.0987	E05'	0.32	-13.37	-13.59	13.23
7	0.0980	E06	1.76	-14.86	-14.53	10.10
8	0.0973	Eo7	7.16	-14.56	-14.08	7.85
9	0.0983	Mall1	0.50	-13.57	-14.51	8.06
10	0.0981	Mall2	-0.18	-17.86	-17.49	8.50
11	0.0999	Mall3	0.26	-20.64	-18.92	10.73
12	0.0987	Mall4	-0.39	-17.88	-18.41	10.04
15	0.0987	Mall5	-0.40	-16.73	-16.09	10.00
14	0.0982	Mall6	-0.72	-13.93	-15.08	9.74
16	0.1003	E08	8.02	-14.65	-13.67	8.55
17	0.0993	E11	4.95	-17.06	-17.38	8.59
18	0.0980	E14	3.68	-21.76	-19.08	10.84
19	0.0980	E16	0.70	-22.90	-21.40	10.64
20	0.0981	E17	-0.61	-14.87	-15.15	9.24
21	0.0980	CC1	-1.12	-11.50	-11.62	7.83
22	0.0976	CC2	-0.49	-12.58	-11.72	9.62
23	0.0980	CAL01	-0.23	-17.86	-16.24	11.87
24	0.0990	E09	5.70	-13.14	-14.20	10.71
25	0.0979	E10	4.80	-13.93	-13.30	9.45
26	0.0988	E12	4.32	-20.83	-18.54	10.35
27	0.0971	E13	2.78	-16.57	-16.29	10.65
28	0.0978	E15	2.64	-20.30	-18.31	12.17

ANEXO 10. AJUSTE DE MODELOS ESTADÍSTICOS DE LA RELACIÓN ENTRE COBERTURA DEL SUELO Y APORTES DE NUTRIENTES.

Basado en Liberoff et al. (2019)

Los datos de cobertura del suelo no incluyen las subcuencas de la cabecera, ni del Curruhé ni del Quilquihue. En su lugar hay un pixel por cada una de ellas en la desembocadura al Chimehuin. En total se utilizaron 12 variables (clases de cobertura): est:"Estepa", mal:"Mallin", bos:"Bosque", arb: "Arbustal Matorral", suelo: "Suelo desnudo",fores: "Forestaciones", bosrib: "Bosque Riberenio",urb: "Urbano", efl: "Efluentes",cab: "Cabecera", cur:"Currhue", quil: "Quilquihue"

Pasos en el ajuste:

- 1) Modelo full -> definición de radio de influencia y exploración de correlación de variables
- 2) Análisis del modelo con menos variables y con el radio que salió en 1)
- 3) Ajuste de los mejores modelos (menor AIC - deltaAIC <4-7, y mayor R2)

PARTE 1. AJUSTE DE MODELOS DE NO3+NO2

Campaña diciembre de 2022

Partiendo del modelo completo, el mejor radio es 10k (Tabla 1). No hay correlación importante entre variables.

TABLA 1 MEJORES MODELOS POR FACTOR DE DECAIMIENTO PARTIENDO DEL MODELO COMPLETO NIT_L ~ EST + MALL + ARB + FORES + BOSRIB + URB + EFL + CAB + QUIL + CUR, CABECERA ESTÁ COMO VARIABLE FIJA.

Intercept	cab	cur	efl	urb	R2	df	logLik	AICc	weight	fndist	deltaAIC
116.97	18179.25	NA	11578.64	NA	0.81	5.00	-82.72	182.93	1.00	W10k	0.00
30.23	66376.31	NA	10926.00	NA	0.80	5.00	-83.03	183.56	0.72	W15k	0.63
-32.11	96920.65	NA	9474.71	NA	0.75	5.00	-84.55	186.60	0.52	W20k	3.67
-98.33	126975.40	NA	9601.52	NA	0.75	5.00	-84.64	186.79	0.46	W25k	3.85
-343.76	224908.05	NA	NA	97.32	0.74	5.00	-85.05	187.60	0.40	W30k	4.67
178.75	-11495.78	NA	14042.77	NA	0.71	5.00	-85.71	188.93	0.26	W5k	6.00

TABLA 2 MODELOS ALTERNATIVOS ($\Delta AIC < 7$ CON RESPECTO AL MEJOR MODELO) CON FACTOR DE DECAIMIENTO 10KM Y VARIABLE DE CABECERA FIJA "CAB". ORDENADOS POR R2.

Intercept.	arb	bosrib	cab	cur	efl	fores	mall	quil	urb	R.2	df	logLik	AICc	del
-428.63	NA	NA	272363.93	NA	5198.79	NA	NA	NA	60.25	0.81	6.00	-82.64	189.28	1.6
-488.49	NA	NA	298862.48	61953.10	NA	NA	NA	NA	90.16	0.77	6.00	-84.00	192.01	4.4
96.57	NA	-92.18	21626.04	NA	NA	NA	NA	NA	104.31	0.75	6.00	-84.53	193.06	5.4
-184.61	NA	NA	148375.62	NA	NA	-5.04	NA	NA	97.71	0.74	6.00	-84.81	193.62	6.0
-660.15	3.93	NA	349622.75	NA	NA	NA	NA	NA	103.74	0.74	6.00	-84.91	193.82	6.2
-647.29	NA	NA	357602.81	NA	NA	NA	6.66	NA	98.37	0.74	6.00	-84.99	193.97	6.3
-364.75	NA	NA	235458.11	NA	NA	NA	NA	5131.92	97.90	0.74	6.00	-85.04	194.09	6.4
-343.76	NA	NA	224908.05	NA	NA	NA	NA	NA	97.32	0.74	5.00	-85.05	187.60	0.0
-86.26	NA	NA	116354.46	NA	9454.32	NA	NA	-42042.08	NA	0.73	6.00	-85.22	194.45	6.8
-218.97	NA	NA	185208.84	NA	9534.57	NA	NA	NA	NA	0.71	5.00	-85.74	188.98	1.3

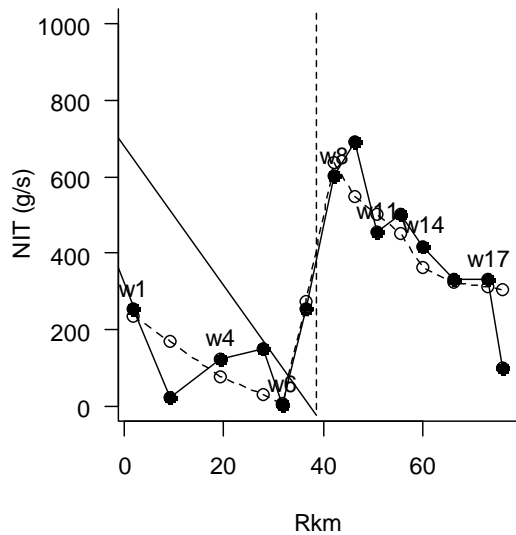


FIGURA 1 MODELO $NIT \sim NIT \sim CABECERA + EFLUENTE + URBANO$, COREXP RADIO DE 10K. $R^2 = 0.81$. ESTIMADOS (BLANCOS, LÍNEA PUNTEADA) Y OBSERVADOS (NEGROS, LÍNEA NEGRA) A LO LARGO DEL RÍO.

La incorporación de quilquihue, curruhue, mallines y forestaciones no mejoran el ajuste del modelo (LRT, $p > 0.05$ una variable por vez). La incorporación de suelo desnudo si (no estaba entre las variables con todos los modelos) (LRT, $p < 0.05$). La incorporación de la variable suelo desnudo mejora el ajuste en la primera sección y al final de la segunda.

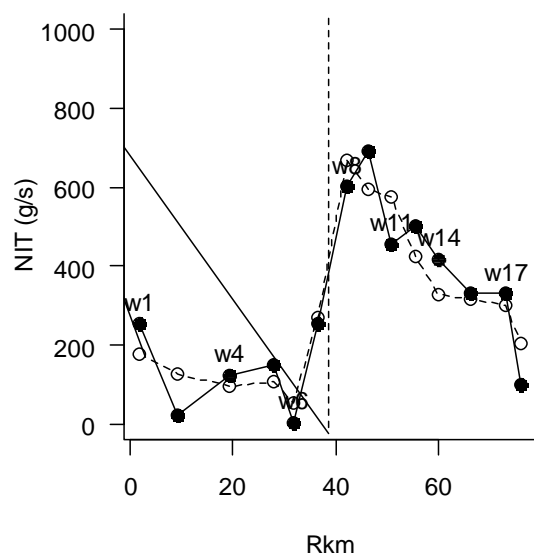


FIGURA 2 MODELO NIT~ NIT ~ CABECERA + EFLUENTE + URBANO - SUELO DESNUDO, COREXP RADIO DE 10K. R²= 0.87. ESTIMADOS (BLANCOS, LÍNEA PUNTEADA) Y OBSERVADOS (NEGROS, LÍNEA NEGRA) A LO LARGO DEL RÍO.

Conclusiones

Gran parte de la variación observada en la segunda sección del río parte se explica por el aporte de nutrientes urbanos (efluente + difuso) y su dilución/metabolización a lo largo del tramo con una vida media para los nitratos+nitritos de 10 km. Se soporta la hipótesis de que hay un efecto combinado del vertido de los efluentes y del aporte urbano difuso. La variable de cobertura de suelo desnudo o roca puede estar correlacionada con otro factor. La cobertura no explica la variación en la primera parte del río (antes de la urbanización).

Campaña 02/2022

Partiendo del modelo completo el mejor factor de decaimiento es 15-20 km y la única variable que aparece es el efluente. El modelo con radio 50m (tamaño del pixel) podría interpretarse como que no hay efecto de la distancia de la fuente al río. O como que la dilución/metabolización en el río es muy rápida y lo que pasa en un punto del río no afecta a la cantidad de nutrientes en el punto de muestreo siguiente. El modelo con radio 50m incluye los tributarios, los mallines y las forestaciones.

TABLA 3 MEJORES MODELOS POR FACTOR DE DECAIMIENTO PARTIENDO DEL MODELO COMPLETO NIT_L ~ EST + MALL + BOS + ARB + FORES + BOSRIB + URB + EFL + CAB + QUIL + CUR, CABECERA ESTÁ COMO VARIABLE FIJA.

Intercept	cab	cur	efl	fores	mall	quil	R2	df	logLik	AICc	weight	fnDIST
-47.6	206981.1	NA	22944.9	NA	NA	NA	0.8	5.0	-108.1	232.1	1.0	W20k
160.3	100526.9	NA	25004.0	NA	NA	NA	0.8	5.0	-108.5	232.9	1.0	W15k
-109.6	231560.8	NA	22067.3	NA	NA	NA	0.7	5.0	-110.0	236.1	1.0	W25k
388.8	-35052.5	NA	24845.1	NA	NA	NA	0.7	5.0	-110.4	236.7	1.0	W10k
-341.4	341616.0	NA	22023.6	NA	NA	NA	0.7	5.0	-110.5	237.0	1.0	W30k
468.8	-87823.9	NA	32787.7	NA	NA	NA	0.7	5.0	-110.7	237.5	0.6	W5k
378.6	2.8E+11	1.3E+25	7.2E+17	3.9E+06	7.5E+04	2.5E+21	1.0	9.0	-94.7	237.5	0.7	W50m

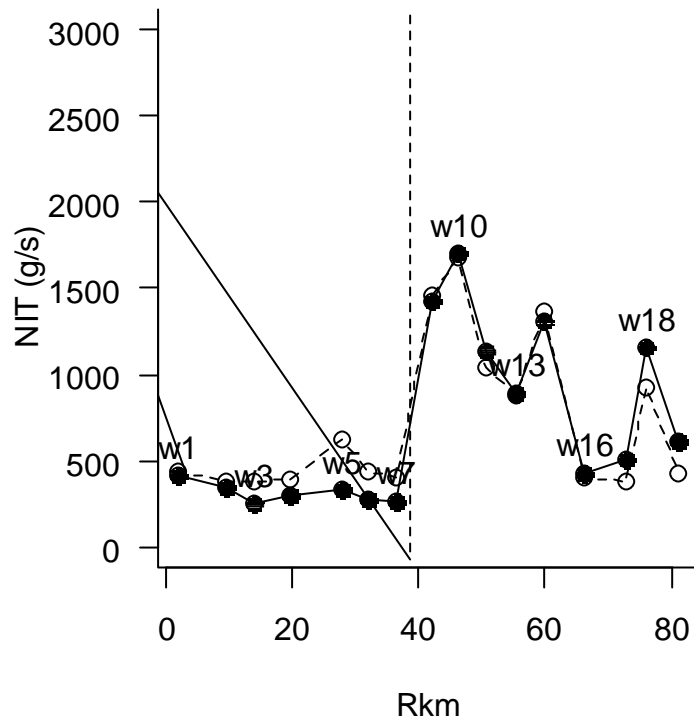


FIGURA 3 NIT_L ~ CAB + EFL + CUR + FORES + MALL + QUIL. RADIO 50 M (ESTO SIGNIFICA QUE EL APORTE DE NUTRIENTES EN UN PUNTO NO TIENE EFECTO AGUAS ABAJO, SERÍA COMO AJUSTAR LOS MODELOS CON LAS COBERTURAS REALES POR SUBCUENCA DE DRENAJE).

TABLA 4 MODELOS ALTERNATIVOS ($\Delta AIC < 7$ CON RESPECTO AL MEJOR MODELO) CON FACTOR DE DECAIMIENTO 15KM Y VARIABLE DE CABECERA FIJA "CAB".

srib	cab	cur	efl	est	fores	mall	quil	urb	R.2	df	logLik	AICc	delta	weight
√	100526.90	NA	25004.00	NA	NA	NA	NA	NA	0.79	5.00	-108.47	232.93	0.00	0.63
√	125849.41	55790.99	23708.39	NA	NA	NA	NA	NA	0.80	6.00	-108.34	238.00	5.07	0.05
√	279671.66	NA	24931.08	NA	NA	19.33	NA	NA	0.80	6.00	-108.38	238.10	5.17	0.05
√	239620.44	NA	25055.97	1.71	NA	NA	NA	NA	0.80	6.00	-108.40	238.12	5.19	0.05
4.44	29750.32	NA	25300.76	NA	NA	NA	NA	NA	0.80	6.00	-108.43	238.19	5.25	0.05
√	63813.31	NA	25007.13	NA	-4.70	NA	NA	NA	0.79	6.00	-108.43	238.19	5.26	0.05
√	111199.21	NA	24047.42	NA	NA	NA	NA	12.95	0.79	6.00	-108.44	238.21	5.27	0.05
√	83128.70	NA	24908.08	NA	NA	NA	-18403.89	NA	0.79	6.00	-108.44	238.22	5.29	0.04
√	89238.16	NA	24888.51	NA	NA	NA	NA	NA	0.79	6.00	-108.46	238.26	5.33	0.04

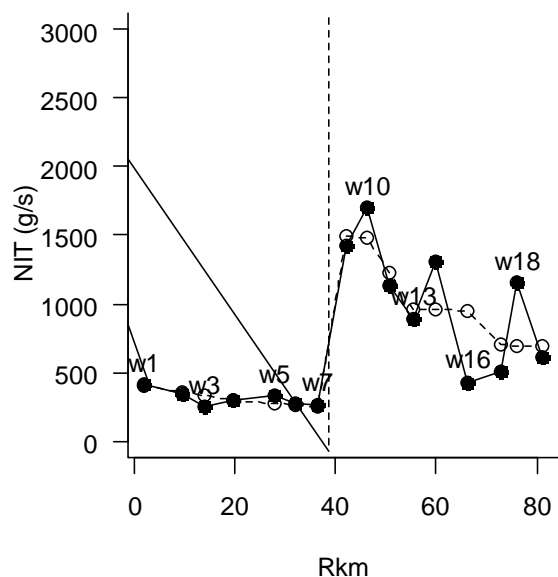


FIGURA 4 NIT_L ~ CAB + EFL, RADIO 15K. R2=0.79

Conclusiones

Se apoya la hipótesis del efecto puntual del vertido de efluentes. No hay efecto difuso de la zona urbana. Solo teniendo en cuenta el aporte del efluente y del Curruhué la vida media de los nitratos+nitritos sería de 15-20 km. Sin embargo otra hipótesis, según los modelos alternativos (Tabla 3), es que en esta época podría haber una dilución/metabolización muy rápida (menor a la distancia entre puntos de muestreo) y efecto de los tributarios, el efluente, los mallines y las forestaciones (Fig. 3).

Campaña 12/2022

Partiendo del modelo completo los mejores factores de decaimiento son 10-15 km. Y solo se incluye la variable efluente.

TABLA 5 MEJORES MODELOS POR FACTOR DE DECAIMIENTO PARTIENDO DEL MODELO COMPLETO NIT_L ~ EST + MALL + BOS + ARB + FORES + BOSRIB + URB + EFL + CAB + QUIL + CUR, CABECERA ESTÁ COMO VARIABLE FIJA.

Intercept	cab	efl	urb	R2	df	logLik	AICc	weight	fnDIST	deltaAIC	A
116.97	18179.25	11578.64	NA	0.81	5.00	-82.72	182.93	1.00	W10k	0.00	
30.23	66376.31	10926.00	NA	0.80	5.00	-83.03	183.56	0.72	W15k	0.63	
-32.11	96920.65	9474.71	NA	0.75	5.00	-84.55	186.60	0.52	W20k	3.67	
-98.33	126975.40	9601.52	NA	0.75	5.00	-84.64	186.79	0.46	W25k	3.85	
-343.76	224908.05	NA	97.32	0.74	5.00	-85.05	187.60	0.40	W30k	4.67	
241.36	6.03E+11	NA	NA	0.35	4.00	-91.34	195.13	1.00	W50m	12.19	
178.75	-11495.78	14042.77	NA	0.71	5.00	-85.71	188.93	0.26	W5k	6.00	

Explorando todos los modelos para factor de 10k se ve que hay varios modelos alternativos. La variable efluente siempre está presente pero puede estar acompañada de “urbano”, “curruhue” o “mallines”. El modelo que visualmente ajusta mejor es el que incluye el efecto difuso urbano. Por curiosidad... el modelo con efluente, cabecera y esas tres variables ajusta bien (Figura 6, $r^2=0.87$), pero el ΔAIC con respecto al mejor modelo de la tabla 6 es 17. Según el criterio de AIC este modelo no tendría apoyo. En este último modelo la variable mallines tiene una pendiente negativa y es la que influye en el descenso de los nutrientes en la parte alta de la cuenca (Fig. 6).

TABLA 6 MEJORES MODELOS ($\Delta AIC < 7$) PARA EL FACTOR DE DECAIMIENTO 10K PARTIENDO DEL MODELO COMPLETO $NIT_L \sim EST + MALL + BOS + ARB + FORES + BOSRIB + URB + EFL + CAB + QUIL + CUR$, CABECERA ESTÁ COMO VARIABLE FIJA.

	arb	bosrib	cab	cur	efl	est	fores	mall	quil	urb	R.2	df	logLik	delta	weight
7	NA	NA	18179.25	NA	11578.64	NA	NA	NA	NA	NA	0.81	5.00	-82.72	0.00	0.60
5	NA	NA	41970.70	NA	8971.70	NA	NA	NA	NA	37.40	0.84	6.00	-81.33	3.74	0.09
5	NA	NA	44290.03	69803.14	10226.52	NA	NA	NA	NA	NA	0.84	6.00	-81.49	4.05	0.08
4	NA	NA	233041.16	NA	11394.19	NA	NA	37.45	NA	NA	0.84	6.00	-81.50	4.06	0.08
2	NA	NA	60961.19	NA	11499.59	NA	8.86	NA	NA	NA	0.82	6.00	-82.17	5.40	0.04
3	NA	86.07	93424.87	NA	11213.05	NA	NA	NA	NA	NA	0.82	6.00	-82.28	5.62	0.04
1	NA	NA	32345.52	NA	11618.88	NA	NA	NA	23502.25	NA	0.82	6.00	-82.53	6.13	0.03
2	NA	NA	-71641.99	NA	11688.01	-1.89	NA	NA	NA	NA	0.81	6.00	-82.58	6.23	0.03
3	-1.76	NA	6899.45	NA	11420.46	NA	NA	NA	NA	NA	0.81	6.00	-82.69	6.44	0.02

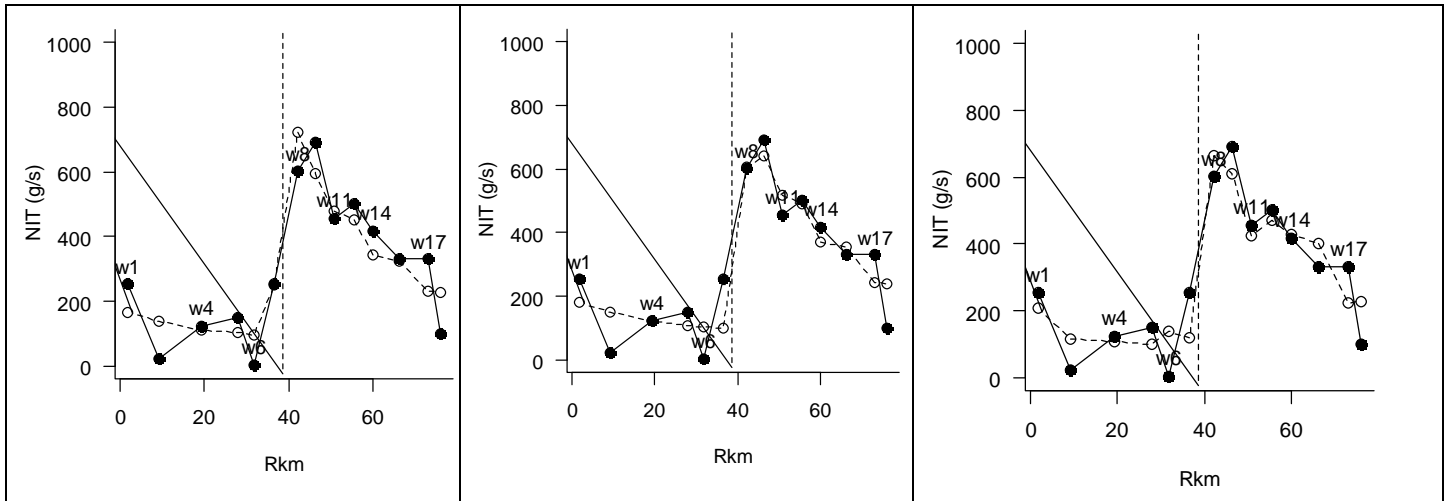


FIGURA 5 MODELOS ALTERNATIVOS PARA FACTOR DE DECAIMIENTO 10KM. (A) $NIT_L \sim CAB + EFL + URB$. $R^2=0.84$ (B) $NIT_L \sim CAB + EFL + CURR$. $R^2=0.84$ (C) $NIT_L \sim CAB + EFL + MALL$. $R^2=0.84$

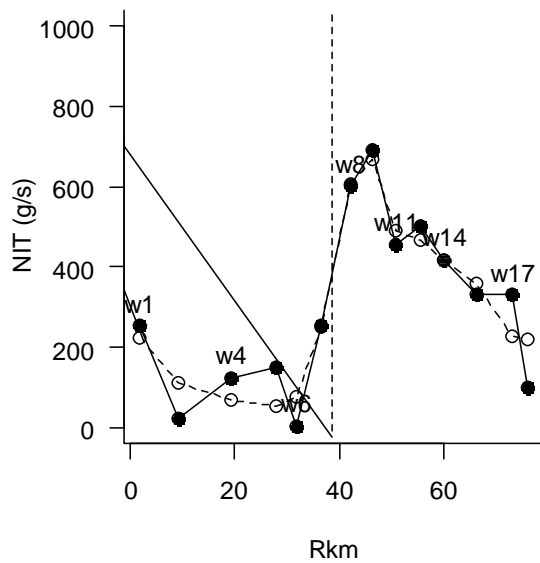


FIGURA 6 MODELO NIT_L ~ CABECERA + EFLUENTE + URBANO + CURRUHUE - MALLINES. R2= 0.87.

Conclusiones

Se apoya la hipótesis del efecto del vertido de efluentes. El radio de influencia es de 10 km. Parece haber efecto urbano difuso, efecto del Curruhé y de captura de nutrientes en la cuenca alta. Creo que estamos en un conflicto con los grados de libertad de los modelos. Muchas variables para explicar unos pocos puntos. Es una decisión, en algún momento independizarnos del criterio de AIC y determinar qué modelo ajusta mejor (mayor R2 y visualmente) aunque perdamos la significancia estadística... Porque para mí hay efecto de los tributarios por ejemplo, pero la estadística no nos lo va decir porque es muy caro incorporar un parámetro nuevo.

Cuando terminemos todo podemos probar de ajustar un modelo general para todas las campañas (o las que más se parezcan) y meter como efecto aleatorio las campañas. Ahí talvez tengamos más soporte estadístico.

Campaña 02/2023

Para esta campaña saqué el efecto fijado de la cabecera porque es tan poco el aporte del lago que estaba forzando los modelos a que tuviera pendiente negativa. Así que lo dejé libre. El mejor modelo es sin factor de decaimiento (o 50m que es lo mismo) como pasaba en febrero de 2022 (Tabla 7). Bajo este modelo los impactos son muy fuertes pero se diluyen muy rápido (en distancias menores a la separación entre puntos de muestreo). El que le sigue es con factor de decaimiento de 20 km y solo incluye el efluente (Tabla 7). Entre todos los modelos para factor 50 m, el mejor es el que tiene las variables bosque de ribera (pendiente negativa), efluente, los tributarios y forestaciones (Tabla 8, Fig. 7).

TABLA 7 MEJORES MODELOS POR FACTOR DE DECAIMIENTO PARTIENDO DEL MODELO COMPLETO NIT_L ~ EST + MALL + BOS + ARB + FORES + BOSRIB + URB + EFL + CAB + QUIL + CUR.

Intercept	efl	fores	quil	R2	df	logLik	AICc	weight	fnDIST	deltaAIC
302.76	NA	8.03E+06	9.10E+21	0.82	5.00	-111.48	239.63	0.56	W50m	0.00
78.95	24643.80	NA	NA	0.71	4.00	-115.24	242.48	0.70	W20k	2.85
55.50	21749.12	NA	NA	0.69	4.00	-115.70	243.40	0.38	W30k	3.77
105.55	22257.72	NA	NA	0.69	4.00	-115.82	243.64	0.37	W25k	4.01
487.85	NA	NA	NA	0.58	3.00	-118.00	244.19	0.36	W10k	4.56
487.85	NA	NA	NA	0.58	3.00	-118.00	244.19	0.45	W15k	4.56
487.85	NA	NA	NA	0.58	3.00	-118.00	244.19	0.72	W5k	4.56

PARTE 2. AJUSTE DE MODELOS DE PRS

Campaña diciembre de 2021

Partiendo del modelo completo con cabecera como efecto fijado, el parámetro se ajusta en un valor negativo. Los datos no muestran una dilución a partir de la cabecera. Se corrieron todos los modelos posibles (con cabecera como parámetro libre) partiendo de $prs_l \sim est + mall + arb + fores + bosrib + urb + efl + cab + cur + quil$. Hay correlación entre arbustal – cabecera, arbustal – bosque de ribera, forestaciones – Quilquihue. Los mejores modelos son para el factor 20 y 30 km (Tabla 1). El factor 20k tiene mayor R2.

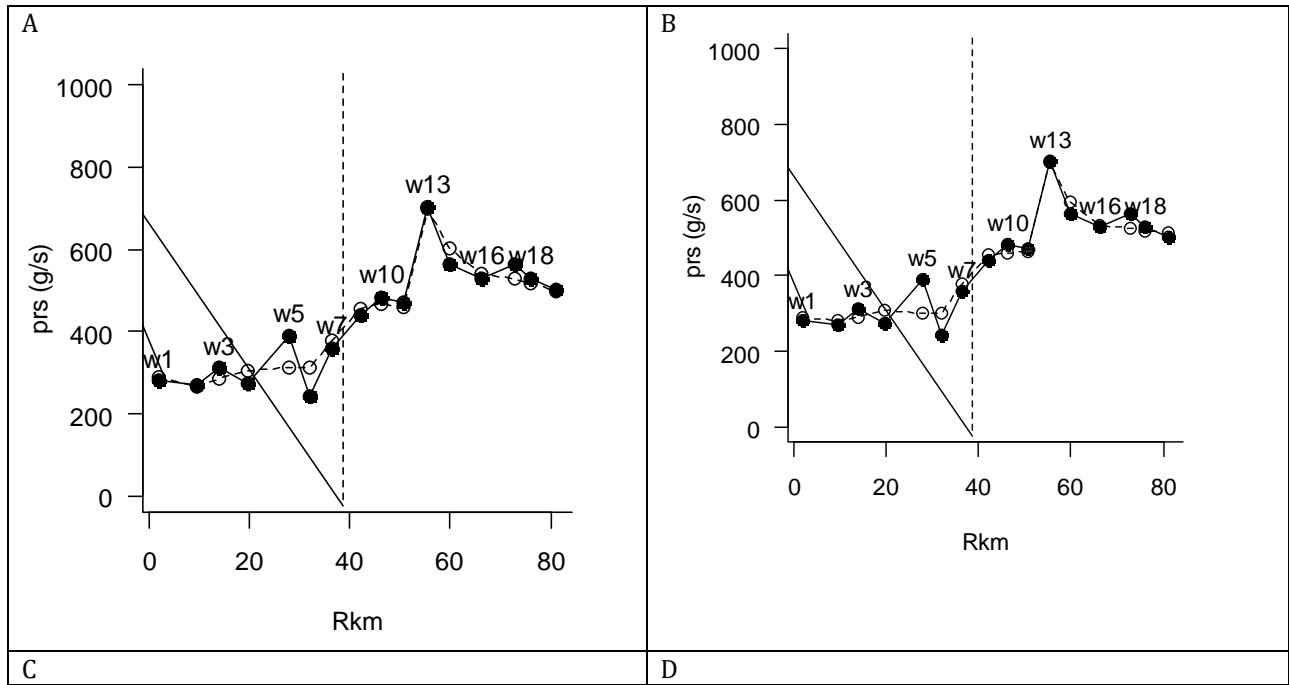
TABLA 8 MEJORES MODELOS POR FACTOR DE DECAIMIENTO PARTIENDO DEL MODELO COMPLETO PRS_L ~ EST + MALL + ARB + FORES + BOSRIB + URB + EFL + CAB + QUIL + CUR.

Intercept	bosrib	cur	efl	fores	mall	quil	urb	R2	df	logLik	AICc	weight	fnDIST
314.32	NA	NA	NA	-15.43	NA	178208.8	44.04	0.92	6	-79.87	181.07	0.31	W30k
303.65	NA	NA	2926	NA	NA	94751.26	NA	0.89	5	-82.62	181.25	0.28	W20k
293.65	NA	NA	NA	NA	NA	115654.5	29.78	0.89	5	-82.65	181.31	0.38	W15k
308.52	80.58	NA	NA	-33.36	NA	244421.2	41.07	0.95	7	-76.79	181.59	0.31	W25k
281.08	65.02	57326.01	NA	NA	NA	97024.39	NA	0.91	6	-81.66	184.66	0.18	W10k
410.27	NA	NA	NA	NA	NA	9.52E+20	1E+05	0.84	5	-85.87	187.73	1	W50m

Partiendo del modelo completo (sin arbustal) para el factor de 30 km hay varios modelos alternativos (Tabla 2). En términos de importancia relativa las variables más importantes son el Quilquihue (0.96), el efecto urbano difuso (0.71), las forestaciones (0.57) y el efluente (0.31). Los modelos que mejor ajustan incluyen al quilquihue y el efecto urbano difuso, alternativamente aparecen las forestaciones (pendiente negativa), el Curruhué, la estepa, los mallines y los efluentes (Tabla 2). Los modelos 1 y 2 se descartaron por no parecer lógicos (bosque de riber aportando nutrientes y cabecera con pendiente negativa). Se ajustaron los modelos 3, 4, 5 y 7 (Fig. 1). El efecto urbano difuso explica bien los datos (Figura 1 a), incluso en la zona donde se encuentra el efluente.

TABLA 9 MODELOS ALTERNATIVOS ($\Delta AIC < 4$ CON RESPECTO AL MEJOR MODELO) CON FACTOR DE DECAIMIENTO 30KM

Modelo	#	X.Intercept.	bosrib	cab	cur	efl	est	fores	mall	quil	urb	R
1	311.12	77.21	NA	NA	NA	NA	NA	-33.73	NA	246386.50	42.01	0.
2	534.59	NA	106478.31	NA	NA	NA	NA	-23.24	NA	204606.14	41.62	0.
3	289.99	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-24.00	5.91	200192.42	43.20	0.
4	289.52	NA	NA	NA	NA	NA	0.53	-23.45	NA	207229.61	44.39	0.
5	313.06	NA	NA	25086.98	NA	NA	NA	-14.47	NA	161046.16	37.81	0.
6	314.32	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-15.43	NA	178208.81	44.04	0.
7	292.57	NA	NA	NA	1824.43	NA	NA	NA	NA	73826.95	12.51	0.
8	302.04	NA	NA	NA	3012.91	NA	NA	NA	NA	73794.21	NA	0.
9	289.73	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	79947.81	26.54	0.



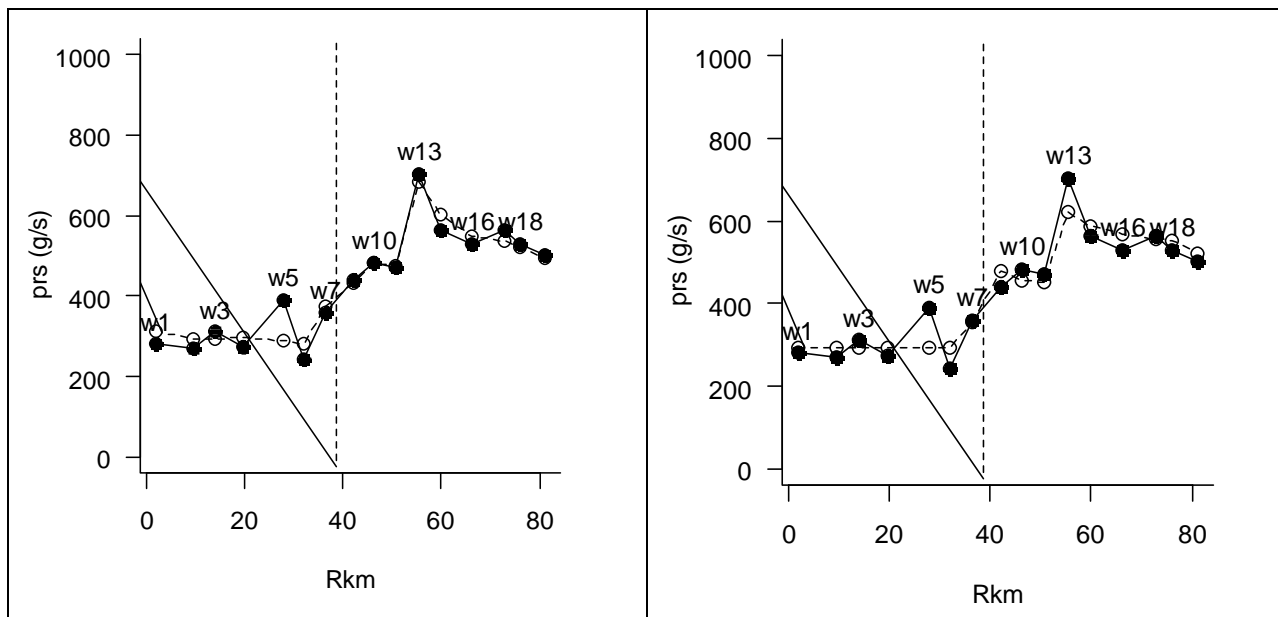


FIGURA 7 MODELOS ALTERNATIVOS PARA FACTOR DE DECAIMIENTO 30KM DETALLADOS EN TABLA 1. (A) MODELO #3= PRS_L ~ QUILQUIHUE + URBANO - FORESTACIONES + MALLINES. R2= 0.94. (B) MODELO #4 = PRS_L ~ QUILQUIHUE + URBANO - FORESTACIONES + ESTEPA. R2= 0.94. (C) MODELO #5= PRS_L ~ QUILQUIHUE + URBANO - FORESTACIONES + CURRUHUE. R2=0.94. (D) MODELO #7= PRS_L~ QUILQUIHUE + URBANO + EFLUENTE. R2= 0.94

Conclusiones

El factor de decaimiento es el más alto (30 km), bajo este modelo el aporte de prs persistiría y se diluiría o metabolizaría muy lentamente. En general la bibliografía dice que el fosforo inorgánico se metaboliza rápidamente en el ambiente acuático (buscar citas).

Hay soporte al efecto difuso urbano, pero es difícil de diferenciar el efecto difuso y el vertido en esa parte de la zona urbana. El modelo que incluye las dos variables a la vez no se puede descartar pero no es el que mejor ajusta. La importancia del vertido tendría que determinarse por otro método. Los modelos aportan evidencia del efecto del aporte del Quilquihue y en bastante menor medida del Curruhue. El rol de los mallines puede estar enmascarado en estas variables.

Dado que la mayor parte de la variación se da en la segunda sección del río, las variables que se incluyen en los mejores modelos explican esa sección. El pico en la primera sección (w5) no está explicado y habría que correr otras alternativas para ver que variable explica esa variación. Esa falta de ajuste afecta la parametrización de las variables urbano y efluente.

Campana 02 2022

El conjunto de modelos posibles a partir del modelo completo con o sin la variable cabecera es similar. Así que se usó el conjunto con la variable cabecera libre para tener un grado de libertad más en el ajuste. Las variables que están correlacionadas en el modelo completo son Arbustal - bosque de ribera, Cabecera-estepa, Cabecera-bosque de ribera, Quilquihue - forestaciones. Saco arbustal y cabecera. Los mejores modelos son con factor 5 km y 50m. Los modelos para 50m no ajustan bien (análisis no mostrados).

TABLA 10 MEJORES MODELOS POR FACTOR DE DECAIMIENTO PARTIENDO DEL MODELO COMPLETO PRS_L ~ EST + MALL + ARB + FORES + BOSRIB + URB + EFL + CAB + QUIL + CUR

Intercept	cur	efl	fores	quil	urb	R2	df	logLik	AICc	weight	fnDist
26.71	83197.29	3237.63	8.46	NA	NA	0.94	6.00	-69.80	160.94	1.00	W5k
60.10	2.45E+24	7.57E+16	618728.00	4.68E+20	NA	0.95	7.00	-67.72	163.43	1.00	W50k
34.29	48983.46	2915.57	NA	NA	NA	0.87	5.00	-75.78	167.57	1.00	W10k
34.24	NA	3808.62	NA	NA	NA	0.81	4.00	-78.89	169.41	1.00	W15k
33.60	NA	3096.51	NA	NA	NA	0.74	4.00	-81.22	174.07	1.00	W20k
34.50	NA	2973.96	NA	NA	NA	0.71	4.00	-82.24	176.11	0.52	W25k
38.46	46286.16	NA	-6.11	NA	25.78	0.82	6.00	-78.26	177.86	0.28	W30k

A partir de todas las combinaciones posibles a partir del modelo con factor de decaimiento de 5km las variables más importantes son Curruhue (1), Efluente (0.99) y Forestaciones (0.75). La variable forestaciones está correlacionada con urbano y con quilquihue. Los mejores modelos incluyen el efluente y el Curruhué (Tabla 4). Hay un modelo bastante mejor que el resto en términos de AIC que también incluye las forestaciones (modelo 1, Tabla 4) y que captura los patrones generales (Fig. 2A). La incorporación de otras variables (modelos 5, 8, 11, Fig. 2B,C yD) no mejora el ajuste.

TABLA 11 MODELOS ALTERNATIVOS ($\Delta AIC < 7$ CON RESPECTO AL MEJOR MODELO) CON FACTOR DE DECAIMIENTO 5KM

Modelo #	X.Intercept.	arb	bosrib	cab	cur	efl	est	fores	mall	quil	urb	R.2	df
1	26.71	NA	NA	NA	83197.29	3237.63	NA	8.46	NA	NA	NA	0.94	6.00
2	46.56	NA	NA	NA	90446.56	3391.82	NA	NA	NA	NA	NA	0.89	5.00
3	40.16	NA	NA	NA	79529.13	3626.48	NA	NA	NA	28902.18	NA	0.92	6.00
4	20.46	NA	NA	NA	83055.98	3138.26	NA	NA	7.81	NA	NA	0.91	6.00
5	30.21	NA	-15.22	NA	82718.76	3388.14	NA	10.19	NA	NA	NA	0.94	7.00
6	21.03	NA	NA	6948.50	84310.50	3293.97	NA	9.40	NA	NA	NA	0.94	7.00
7	34.28	NA	NA	NA	85130.27	3267.48	-0.26	9.25	NA	NA	NA	0.94	7.00
8	25.52	NA	NA	NA	82905.67	3225.08	NA	8.23	0.52	NA	NA	0.94	7.00
9	27.89	-	NA	NA	83157.40	3225.45	NA	8.48	NA	NA	NA	0.94	7.00
10	26.36	0.20	NA	NA	83586.55	3217.76	NA	8.77	NA	-1742.35	NA	0.94	7.00
11	26.69	NA	NA	NA	83366.55	3208.01	NA	8.40	NA	NA	0.38	0.94	7.00
12	30.34	NA	32.70	NA	88297.22	3000.95	NA	NA	NA	NA	NA	0.91	6.00

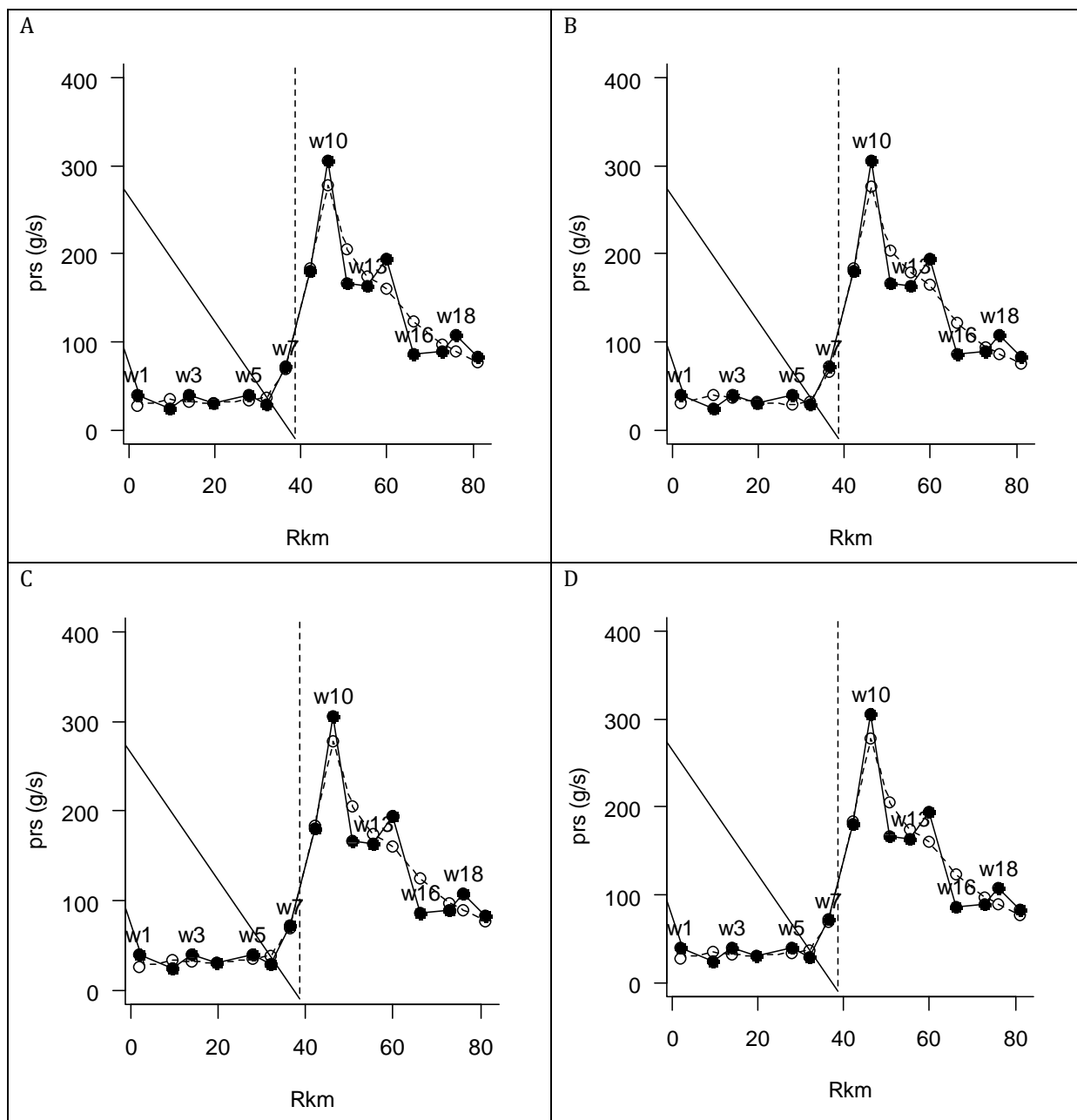


FIGURA 8 MODELOS PARA FACTOR DE DECAIMIENTO 5 KM DETALLADOS EN TABLA 4 (A) MODELO 1= PRS ~ CURRUHUE + EFLUENTE + FORESTACIONES. $R^2=0.94$. (B) MODELO 5= PRS ~ CURRUHUE + EFLUENTE + FORESTACIONES - BOSQUE DE RIBERA $R^2=0.94$. (C) MODELO 8= PRS ~ CURRUHUE + EFLUENTE + FORESTACIONES - MALLINES. $R^2=0.94$ (D) CURRUHUE + EFLUENTE + FORESTACIONES + URBANO

Conclusiones

Los modelos apoyan la hipótesis de que hay efecto del vertido de efluentes y del tributario Curruhué para febrero 2022. El factor de decaimiento es mucho menor que para diciembre de 2021. Algo similar sucedió para los nitratos en febrero de 2022 y 2023, los nutrientes se estarían diluyendo o metabolizando mucho más rápido en esta época del año. Cabe aclarar que las magnitudes del contenido de PRS son mucho menores para esta época que para diciembre (ver gráficos de contenido de nutrientes en función del km de río) y eso debe influir también en el grado de metabolización o dilución. También se identifica un efecto positivo de la variable forestaciones pero al estar correlacionada con “urbano difuso” es probable que el efecto urbano difuso este enmascarado con el efecto de la variable forestaciones.

Campaña 12/2022

Partiendo del modelo completo $\text{prs}_l \sim \text{est} + \text{mall} + \text{arb} + \text{fores} + \text{bosrib} + \text{urb} + \text{efl} + \text{cab} + \text{cur} + \text{quil}$ los mejores modelos incluyen las variables Quilquihue y Mallines, los factores de decaimiento están entre 15 y 30 km, el mejor es 25 km (Tabla 5). No hay correlaciones importantes.

TABLA 12 MEJORES MODELOS POR FACTOR DE DECAIMIENTO PARTIENDO DEL MODELO COMPLETO $\text{PRS}_L \sim \text{EST} + \text{MALL} + \text{ARB} + \text{FORES} + \text{BOSRIB} + \text{URB} + \text{EFL} + \text{CAB} + \text{QUIL} + \text{CUR}$

Intercept	bosrib	mall	quil	R2	df	logLik	AICc	weight	fnDIST	ΔAIC
49.02	NA	11.71	112084.72	0.86	5.00	-86.32	189.30	0.27	W25k	0.00
52.66	NA	10.71	106555.82	0.86	5.00	-86.33	189.33	0.22	W30k	0.03
43.73	NA	13.35	120082.82	0.86	5.00	-86.40	189.48	0.28	W20k	0.18
36.19	NA	16.32	134035.59	0.85	5.00	-86.70	190.07	0.28	W15k	0.77
72.32	129.81	NA	172003.84	0.83	5.00	-87.66	191.99	0.34	W10k	2.69
65.02	258.64	NA	228067.01	0.74	5.00	-90.86	198.39	0.48	W5k	9.09
279.04	NA	NA	NA	0.35	3.00	-97.60	203.38	1.00	W50m	14.09

Partiendo del modelo completo $\text{prs}_l \sim \text{est} + \text{mall} + \text{arb} + \text{fores} + \text{bosrib} + \text{urb} + \text{efl} + \text{cab} + \text{cur} + \text{quil}$ para factor 25km, las variables más importantes son: Quilquihue (0.67), Mallines (0.3), Forestaciones (0.28), Cabecera (0.2). Ninguno de los modelos ajusta del todo bien. El modelo 5 pareciera ser el que mejor representa el efecto del efluente y del Quilquihue. Los mallines aparecen en el modelo 1 pero al sumarse las tres variables con este factor de decaimiento (modelo 14) los patrones no están bien representados.

Los modelos con factor de decaimiento 15km representan algo similar (Figura 4).

TABLA 13 MODELOS ALTERNATIVOS (ΔAIC<4 CON RESPECTO AL MEJOR MODELO) CON FACTOR DE DECAIMIENTO 25K.

Mod #	X.Intercept.	arb	bosrib	cab	cur	efl	est	fores	mall	quil	urb	R.2	df	Al
1	49.02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	11.71	112084.72	NA	0.86	5.00	18
2	420.62	NA	NA	-160150.81	NA	NA	NA	NA	NA	132253.14	NA	0.85	5.00	18
3	91.66	NA	69.93	NA	NA	NA	NA	NA	NA	129414.91	NA	0.85	5.00	19
4	46.09	NA	NA	NA	NA	NA	1.16	NA	NA	131083.53	NA	0.84	5.00	19
5	124.53	NA	NA	NA	NA	2388.04	NA	NA	NA	166211.80	NA	0.83	5.00	19
6	23.12	6.91	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	130776.58	NA	0.82	5.00	19
7	78.67	NA	NA	NA	NA	NA	-5.21	NA	64.16	NA	NA	0.82	5.00	19
8	104.39	NA	NA	NA	NA	NA	NA	15.16	NA	81422.88	NA	0.82	5.00	19
9	-4.78	5.04	NA	NA	NA	NA	NA	18.72	NA	NA	NA	0.82	5.00	19
10	122.41	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	170523.95	18.88	0.81	5.00	19
11	74.99	NA	NA	NA	NA	NA	NA	24.67	NA	NA	NA	0.80	4.00	18
12	161.62	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	191021.70	NA	0.77	4.00	19
13	-22.40	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	21.83	NA	NA	0.75	4.00	19
14	42.72	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-7.19	15.23	140271.53	NA	0.86	6.00	19

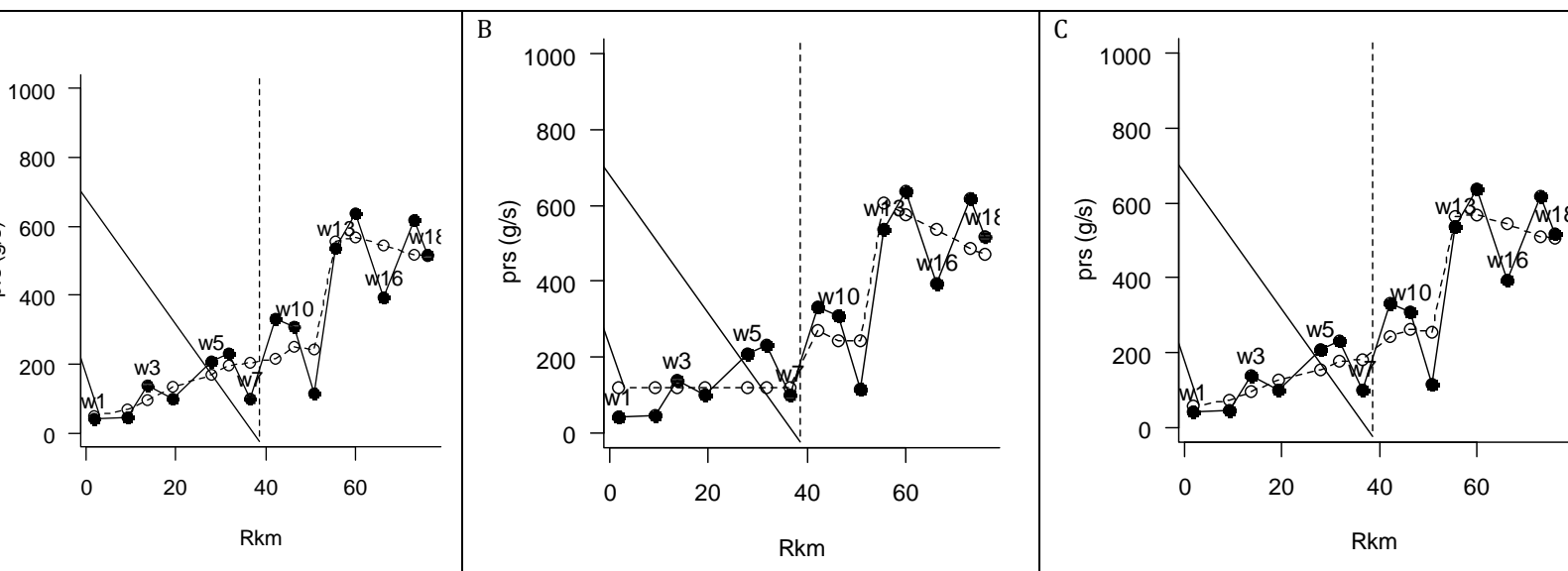


FIGURA 9 MEJORES MODELOS PARA FACTOR 25 KM DETALLADOS EN LA TABLA 5. (A) MODELO 1= PRS_L ~ QUILQUIHUE + MALLINES. R2= 0.86. (B) MODELO 5= PRS_L ~ QUILQUIHUE + EFLUENTE. R2=0.83. (C) MODELO 14: PRS_L ~ QUILQUIHUE + EFLUENTE + MALLINES. R2= 0.86

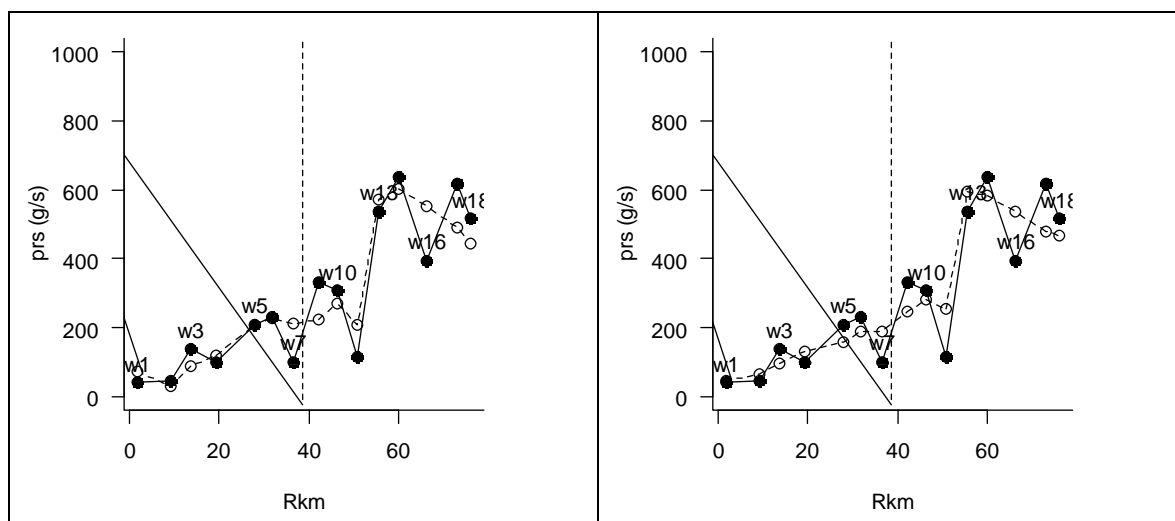


FIGURA 10 MODELOS CON FACTOR DE DECAIMIENTO DE 15 KM. (A) PRS_L ~ QUILQUIHUE + MALLINES - ESTEPA. R2= 0.86. Δ AIC= 0 (ENTRE TODOS LOS MODELOS DE 15KM) (B) PRS_L ~ QUILQUIHUE + EFLUENTE + MALLINES. R2= 0.85 Δ AIC: 5.54 CON RESPECTO AL MODELO (A).

Conclusiones

Los modelos soportan el efecto del tributario Quilquihue. Algunos modelos presentan evidencia del efecto de los mallines en la parte alta de la cuenca. Los datos crudos de nutrientes muestran el efecto del efluente y no de la zona urbana como en otras campañas. Sin embargo, los modelos no pueden ajustar satisfactoriamente el efecto combinado de los mallines en la cuenca alta y del efluente. Esto podría deberse a que el metabolismo es distinto entre secciones y el modelo no puede ajustar ambas variables a la vez con el mismo factor de decaimiento. En la parte más baja de la cuenca hay variación que no puede ser explicada por los modelos.

Campaña 02 2023

Partiendo del modelo completo el mejor modelo tiene un factor de decaimiento de 20 km. En todos los modelos aparece la variable efluente (tabla 7), en concordancia con lo que se ve en los datos crudos.

TABLA 14 MEJORES MODELOS PARA CADA FACTOR DE DECAIMIENTO.

Intercept	cur	efl	quil	R2	df	AICc	weight	fnDIST	de
40.01	-87283.54	6964.36	67467.83	0.89	6.00	179.83	0.73	W20k	(
38.93	NA	5052.36	NA	0.75	4.00	181.53	0.65	W30k	:
45.59	NA	5202.44	NA	0.71	4.00	183.62	1.00	W25k	:
136.96	NA	2.24E+17	NA	0.63	4.00	187.45	0.64	W50m	:
59.27	NA	5787.97	NA	0.62	4.00	187.88	0.38	W15k	:
71.85	NA	6540.80	NA	0.60	4.00	188.72	0.36	W10k	:
60.09	NA	8070.26	124468.89	0.70	5.00	189.11	0.46	W5k	:

Partiendo del modelo completo para factor 20 km, no hay correlación entre variables. Las variables mas importantes son: efluente (0.99), Curruhue (0.62), Quilquihue (0.5) y Forestaciones (0.18). El mejor modelo incluye el efluente, al Quilquihue y al Curruhue con pendiente negativa, diluyendo los nutrientes en vez de aportando (Tabla 8, Fig. 5A). Un modelo con mas variables pero que no es apoyado por el criterio de AIC se muestra en la figura 5B. La primera sección no está explicada por el modelo, la segunda sí.

TABLA 15 MEJORES MODELOS PARA FACTOR DE DECAIMIENTO DE 20 KM.

X.Intercept.	arb	bosrib	cab	cur	efl	est	fores	mall	quil	urb	R.2	df
40.01	NA	NA	NA	-87283.54	6964.36	NA	NA	NA	67467.83	NA	0.89	6.00
44.20	NA	NA	NA	NA	5433.67	NA	NA	NA	NA	NA	0.75	4.00
21.22	NA	NA	NA	-78264.70	6219.99	NA	8.75	NA	NA	NA	0.86	6.00
53.73	NA	NA	NA	-57152.20	7156.28	NA	NA	NA	NA	NA	0.79	5.00
35.67	NA	NA	NA	NA	4855.38	NA	NA	NA	34417.03	NA	0.78	5.00
26.07	NA	NA	NA	NA	4591.42	NA	4.61	NA	NA	NA	0.78	5.00
8.04	1.90	NA	NA	NA	5083.17	NA	NA	NA	NA	NA	0.76	5.00
36.11	NA	11.09	NA	NA	5047.28	NA	NA	NA	NA	NA	0.75	5.00
32.32	NA	NA	NA	NA	5095.11	NA	NA	1.51	NA	NA	0.75	5.00
66.18	NA	NA	-13872.65	NA	5187.12	NA	NA	NA	NA	NA	0.75	5.00
47.45	NA	NA	NA	NA	5827.86	NA	NA	NA	NA	-4.47	0.75	5.00
35.98	NA	NA	NA	NA	5236.98	0.10	NA	NA	NA	NA	0.75	5.00

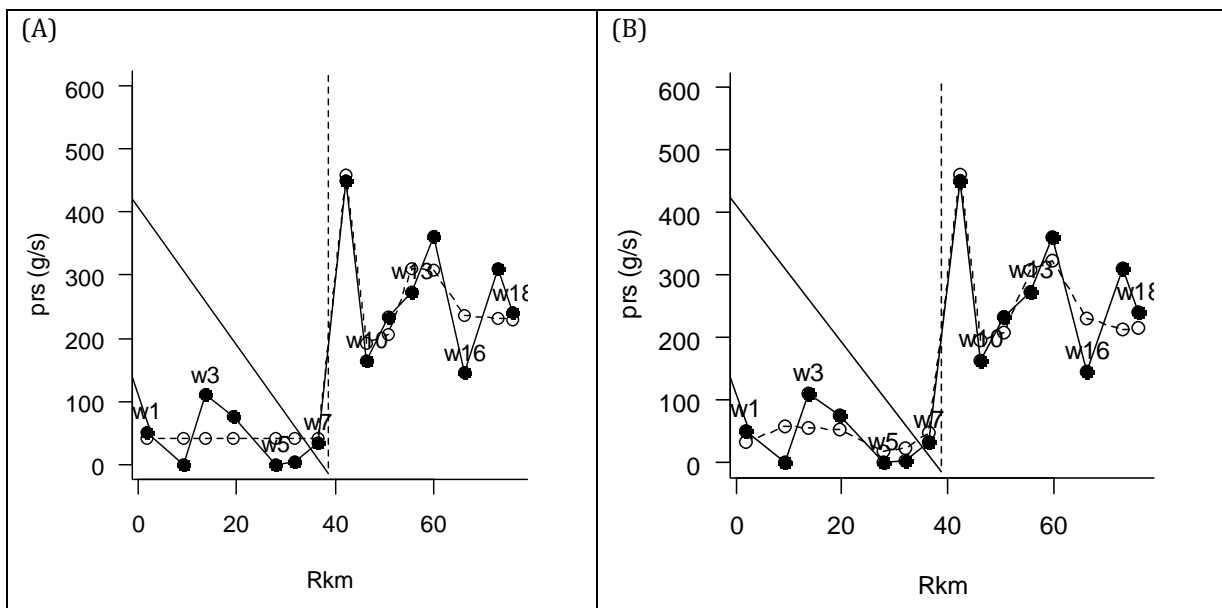


FIGURA 11 MODELOS PARA FACTOR DE DECAIMIENTO DE 20 KM. (A) PRS_L ~ EFLUENTE + QUILQUIHUE - CURRUHUE. R2=0.89 (B) PRS_L ~ - BOSQUE RIBERA - CURRUHUE + EFLUENTE + ESTEPA + FORESTACIONES - MALLINES+ QUILQUIHUE. R2= 0.89. Δ AIC CON RESPECTO AL MEJOR MODELO DE LA TABLA 8 = 51.4

Conclusiones

Hay efecto un efecto fuerte del efluente como se ve en los datos y por primera vez hay un efecto de dilución del tributario Curruhue. El quilquihue vuelve a la elevar la cantidad de PRS. Estas tres variables definen el patrón general de variación en la segunda sección. El pico de w18 no se explica por las variables de cobertura. Las variables forestaciones, mallines y estepa explican un poco mejor la variación en la primera sección de la cuenca. Sin embargo, el modelo completo, con todas las variables es desestimado según el criterio de AIC, probablemente asociado a la cantidad de parámetros vs cantidad de datos.

ANEXO 11. APLICACIÓN “ALERTA ALGAS”.

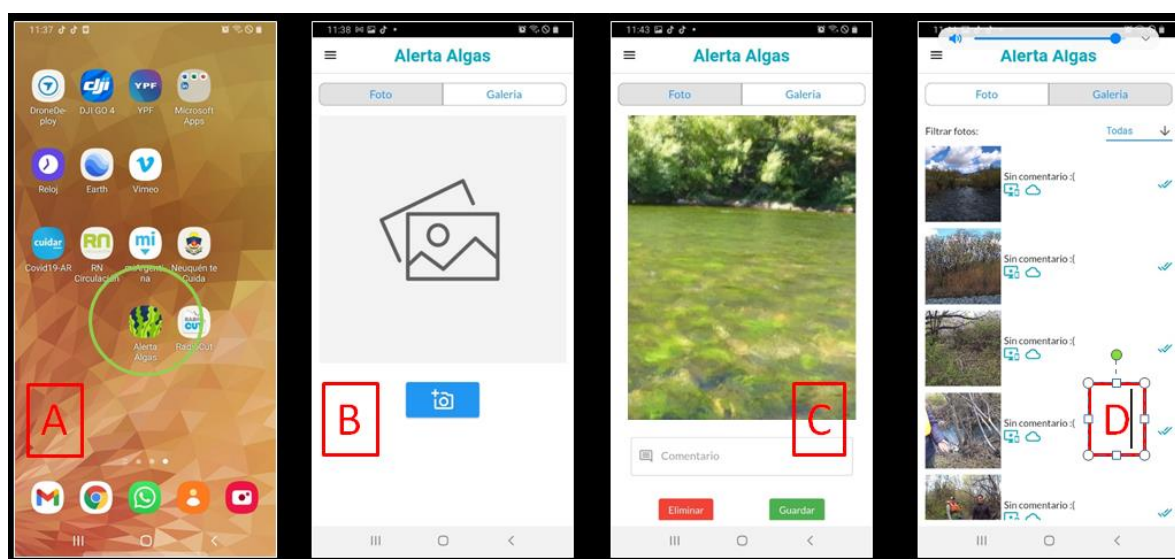


Figura A10.1: Pantallas de celular visualizadas durante el uso de la App “Alerta Algas”. A: ícono de la App, B: pantalla de menú, desde donde se procede a sacar una foto o a visualizar las fotos ya registradas, C: pantalla para toma de fotos e ingreso de comentarios, D: pantalla de visualización de fotos tomadas y estado de transferencia de las mismas.

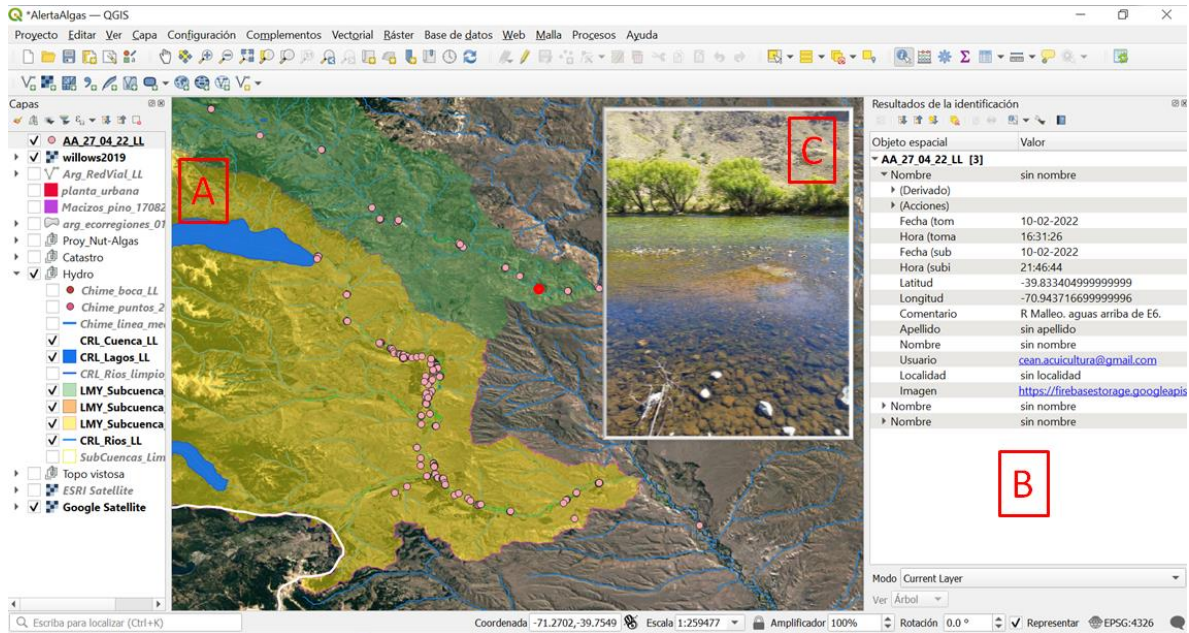


Figura A10.2: Exploración en QGis de los registros recibidos a través de la App “Alerta Algas”. La consulta de un punto determinado (A) despliega panel a la derecha (B) con información de la foto, del usuario y sus comentarios. Pulsando link en campo “Imagen”, se procede a visualizar la foto correspondiente (C) para determinar en forma visual las condiciones del río y la cobertura de algas.

ANEXO 12. PARTICIPANTES DEL PRIMER TALLER PARTICIPATIVO DEL PROYECTO.

Tabla A11.1. Nómina de participantes del 1er taller del proyecto. Realizado el día 2 de agosto entre las 9 y las 12 de la mañana, en la Cámara de Comercio de Junín de los Andes.

POR LAS INSTITUCIONES CONVOCANTES

ID	NOMBRE	AFILIACIÓN
1	Beccar Varela, Ana	TNC
2	Castiñeira, Leandro	CEAN
3	Demicheli, Mariela	CEAN
4	Hualde, Pablo	CEAN
5	Kuroda, Jorge	CEAN
6	Pascual, Miguel	IPEEC-CONICET & CEAN
7	Portuze, Laura	CEAN

PARTICIPANTES

ID	NOMBRE	AFILIACIÓN	E-MAIL
1	Abdón, Juan M.	ProAmBi	ILEGIBLE
2	Aigo, Juana	IDEAus-CONICET & CEAN	juanaaigo@gmail.com
3	Albornoz, Laura Estela	Guarda Ambiental, Junín de los Andes	ILEGIBLE
4	Arce, Gustavo	Parque Nacional Lanin, APN	gustavoar89@hotmail.com
5	Bontempo, Federico	Ente Provincial de Agua y Saneamiento	fbontempo@neuquen.gov.ar
6	Briceño, Franklin	Parque Nacional Lanin, APN	
7	Carrasco, Lía Ruth	Guardafauna Neuquén	liaruthcarrasco@gmail.com
8	Chandia, Elsa	Municipalidad Junín de los Andes	elsachandia379@gmail.com
9	Cordero, Tomás	Cámara de Comercio, Junín de los Andes	ILEGIBLE
10	Espinosa, Baltazar	Guarda Ambiental, Junín de los Andes	ILEGIBLE
11	Eyherabide, Michelle	Cámara de Comercio, Junín de los Andes	michelle.eyherabide@gmail.com
12	Fernandez, Lorena	Parque Nacional Lanin, APN	lgfernandez@apn.gov.ar
13	Fontanazza, Gabriel	Guía de Pesca	gabrielfontanazza@gmail.com
14	Furlong, Eduardo	Cámara Guías de Pesca Neuquén	guiasdelneuquen@gmail.com
15	Gómez, Héctor	Unidad de Gestión Ambiental, Municipio Junín de los Andes	hector_gomez@yahoo.com
16	Gonzalez, Silvia	Unidad de Gestión Ambiental, Municipio Junín de los Andes	ILEGIBLE
17	Gregorio, Pablo	CONICE-UNComa& Conservación Patagónica	pablogregorio@comahue.conicet.gov.ar
18	Iummato, Mercedes	INIBIOMA-CONICET & CEAN	mer.iummato@gmail.com
19	Laffite, Lorena	DGBA- Subsecretaría de Ambiente, Neuquén	laffittesmandes@gmail.com

20	Lagos, Juan	Guardafauna Neuquén	juanlagos.517@hotmail.com
21	Lantschner, Lucila	TNC	lucila.lantschner@gmail.com
22	Marcovesky, Diego	Secretaría de Obras y Servicios Públicos, Municipio Junín de los Andes	diegomarcovesky@yahoo.com.ar
23	Molinari, Leonardo	CEAN	molinari.leonardo@hotmail.com
24	Navarro, Maximiliano Nicolás	Municipalidad Junín de los Andes, Planta Tratamiento RSU	maximilianonicolasnavarro@gmail.com
25	Olmedo, Nicolás	GuardaFauna Junín de los Andes	jnicolasolmedo@gmail.com
26	Pailacura, Cristina	Guarda Ambiental, Junín de los Andes	ILEGIBLE
27	Pascual, Mariano	INIBIOMA-CONICET & CEAN	mariano.pascual@gmail.com
28	Peralta Cintia	Guarda Ambiental, Junín de los Andes	cintia494@gmail.com
29	Piudo, Luciana	CEAN	lupiudo@gmail.com
30	Pontiggia, Ángeles	DGBA- Subsecretaría de Ambiente, Neuquén	angelespontiggia@gmail.com
31	Ramis, Santiago	Guía de Pesca	santiago_ramis@hotmail.com
32	Reinoso, Gabriel Alejandro	ILEGIBLE	ILEGIBLE
33	Rifo, Raúl	Fauna ILEGIBLE	ILEGIBLE
34	Rocchetta, Iara	INIBIOMA-CONICET & CEAN	irocchetta@gmail.com
35	Rodriguez, Marisol	Medio Ambiente (Municipio)	ILEGIBLE
36	Rubio, Clara	Estancia Chimehuin	estanciachimehuin@gmail.com
37	Ruiz, Alicia	Secretaría de Turismo	aliciabeatrizruiz3@gmail.com
38	Sanguinetti, Javier	Parque Nacional Lanin, APN	ILEGIBLE
39	Torres, Mariana	DGBA- Subsecretaría de Ambiente, Neuquén	ILEGIBLE
40	Uriego Diaz, Jonathan	Medio Ambiente (Municipio)	jonathan5732831@gmail.com
41	Vera, Eulalio	GuardaFauna Junín de los Andes	ILEGIBLE
42	Zangari, Marcela	Ministerio de Ambiente, Neuquén	zangarimarch@live.com
43	Zurchmitten, Abel	Hospital Junín de los Andes / Epidemiología	abelz72@hotmail.com

ANEXO 13. PARTICIPANTES DEL TALLER FINAL DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

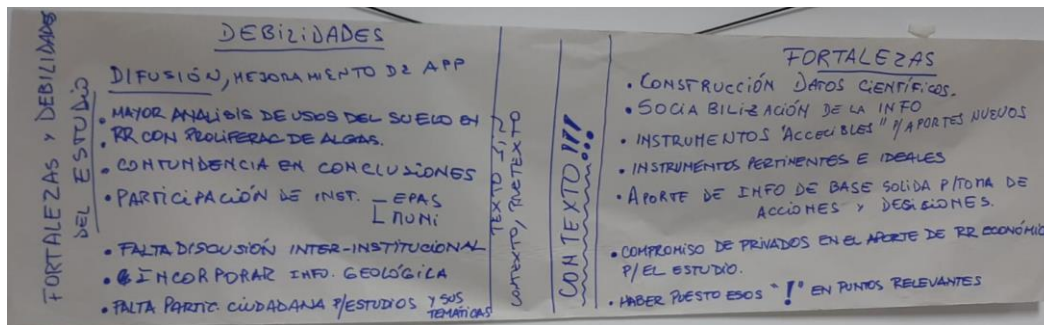
Tabla A12.1. Nómina de participantes del 1er taller del proyecto. Realizado el día 30 de octubre de 2024 entre las 9 y las 12 de la mañana, en el SUM del Hospital de Junín de los Andes. (*) Integrante del proyecto.

INSTITUTO/ ORGANIZACION	NOMBRE Y APELLIDO	E-MAIL	CELULAR
Administración de Parques Nacionales	Ingenbord Reinbruguer	ingebord.reingruber@gmail.com	
Asamblea Ambiental JDA	Sandra Ferrero		2942658182
Asociación Civil Taller Amulen	Silvana Méndez	Tallerproductivoamulen@gmail.com	2944631311
Auxiliar de Servicio Hospital JDA	Ignacio Graciela Linares		2972531189
Cámara de Comercio JDA	Michelle Eyherabide		2944696062
Cámara de Guías de Pesca Neuquén	Augusto Matus	matusaugusto@gmail.com	
Cámara de Guías de Pesca Neuquén	Juan Carlos Calu	juancarlosjaviercalu@gmail.com	
CEAN	Katya Albarrán (*)	albarran.katya@gmail.com	
CEAN	Leandro Castiñeira (*)	lmcastineira@gmail.com	
CEAN	Mariela Demicheli (*)	marielademicheli@gmail.com	
CEAN	Leonardo Molinari	molinari_leonardo@hotmail.com	2944648442
CEAN	Pablo Hualde (*)	pablohualde@gmail.com	
CEAN	Jorge Kuroda (*)	jakjunin@gmail.com	
CEAN	Pablo Moreno	pablomor2002@yahoo.com.ar	2944416538
CEAN	Martín Monteverde	direccion.general.cean@gmail.com	
CEAN	Luciana Piudo	lupiudo@gmail.com	
CEAN	Pamela Novarese (*)	pamelanovarese@gmail.com	
CEAN	Natalia Radovani	nataliaradovani@hotmail.com	
CEAN	Laura Portuze (*)	ceandifusion@gmail.com	
CONICET	Fernando Milesi	fmilesi@conicet.gov.ar	
CONICET	Virginia Rago	virginiaragovet@gmail.com	
CONICET	Juana Aigo	Juanaaigo@gmail.com	
CONICET-CEAN	Miguel Pascual (*)	miguelafuera@gmail.com	
CORFONE S.A	Javier del Val	jdelvalcorfone@com.ar	
Docente Biología JDA	Guido Vidal	guidovidal@abc.gdo.ar	1137852940
EPAS	Carolina Ortega	carolinaortegautr@gmail.com	
EPET 4	Miriam Jara	miriamjara@live.com.ar	2944810774
EPET 4	Wilson correa	cascant18@hotmail.com	2972401160
Estancia Chimehuin	Bryn Kelley	brynkelley@me.com	
Estancia Chimehuin	Clara Rubio	estanciachimehuin@gmail.com	
Estancia Quemquemtreu	Martín Zimmerman		
Fundación Tierras Patagónicas	Maximilano Knull	Maximiliano@knull.com.ar	1130630328
Fundación Tierras Patagónicas	Emanuel Andres Tula	emanueltulajq@gmail.com	
Guardafauna Neuquén	Gabriel Schoua	gabrielschoua@hotmail.com	2944714945
Guardafauna Neuquén	Mauricio Martínez		29444371814
Guía de pesca	Andres Fontanazza	Flotadaschimehuin@yahoo.com.ar	
Guía de pesca	Gabriel Fontanazza	Flotadaschimehuin@yahoo.com.ar	

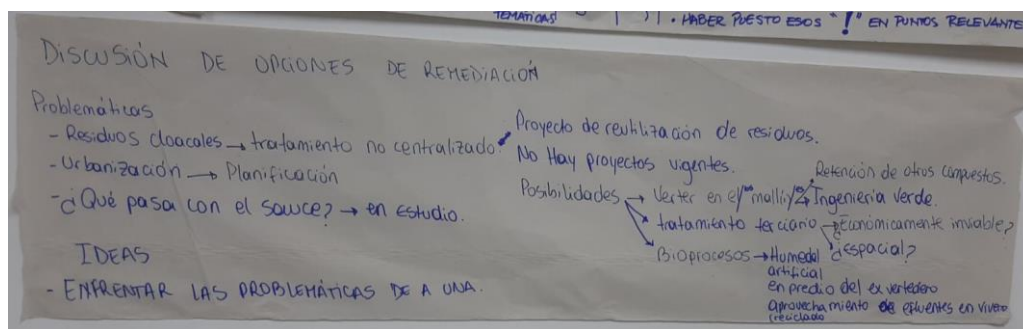
Hospital de Andacollo	Verónica Ríos	verosolrios@gmail.com	
Hospital de Junín de los Andes	Facundo García	facugarcia.1995@gmail.com	
Hospital Junín de los Andes	Mario Oscar Jara		
Hospital Junín de los Andes	Violeta Pereyra	Videperey89@gmail.com	
Hospital Junín de los Andes	Belén Contreras	belenjandes@gmail.com	
IFD 3	Mirna Ferrada	fernandaangelina21@gmail.com	
IFD 3	Fedra Granata	fedragranata@gmail.com	
Organismo de Control Municipal SMA	María Gimena Tovar	Gimena.tavor@smandes.gob.ar	2944577908
Parque Nacional Lanin	Gustavo Lefin		2944217337
Recursos Hídricos Neuquén	Leandro Troncoso		2995714018
RNU Amigos de la Naturaleza	Enrique Rementería	yamonr@gmail.com	
RNU Amigos de la Naturaleza	María Esther Neumeyer	esterneumeyer@gmail.com	
Secretaría de Ambiente Junín de los Andes	Juan Sajoux	munijuninambiente@gmail.com	
Secretaría de Ambiente Neuquén	Lorena Laffitte	lafittesmandes@gmail.com	
Secretaría de Ambiente Neuquén	José C Fernández	biodiversidad.dgbys@gmail.com	
Sociedad Rural de Neuquén	Cecilia de Larminat	secretaria@ruraldeneuquen.com.ar	
Spring Creek Lodge	Francisco Pollitzer	f_pollitzer@hotmail.com	
Téc. Gestión de Áreas Naturales	Rayen C Pereyra	Pereyracelinda@gmail.com	2944153291
The Nature Conservancy	Mercedes Ibáñez	mibanez@tnc.org	
The Nature Conservancy	Andrés Guglielmetti	a.guglielmetti@tnc.org	

ANEXO 14. MURALES CONFECCIONADOS POR LOS TRES GRUPOS DE TRABAJO EN EL TALLER DEL DÍA 30 DE MAYO DE 2023.

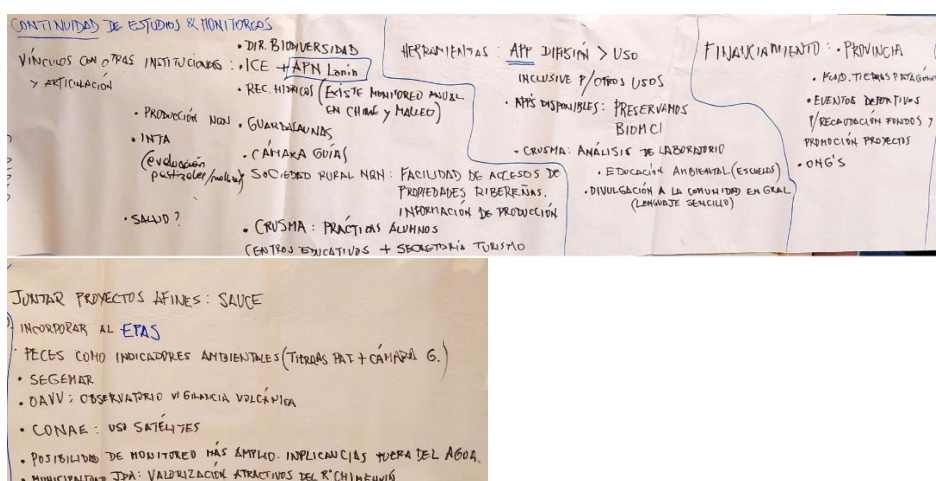
Grupo 1: Identificación y análisis de fortalezas y debilidades encontradas en este trabajo de investigación



Grupo 2: Identificación y análisis de acciones y gestiones para la remediación de aportes de nutrientes al río Chimehuin



Grupo 3: Análisis de opciones para dar continuidad a los estudios y monitoreos en la temática del proyecto



ANEXO 15. RESEÑA DE ACCIONES Y RECOMENDACIONES CON RELACIÓN AL EFLUENTE CLOACAL Y DESCARGAS AL RÍO CHIMEHUIN

1980- 5.600 habitantes

-Primeras instalaciones de tratamiento del año 1983 estaban conformadas por un Pozo de Bombeo, un carrusel con discos rotantes verticales de aireación del líquido, y un sedimentador secundario y una cámara de cloración.

-Capacidad final de 2000 habitantes. Localizado al final de calle San Martín, muy cercano al río Chimehuín, sobre margen derecha, volcando el efluente al curso del río.

1981- DESAGÜES CLOACALES, CLOACA MÁXIMA Y OBRA DE DESCARGA -(COPA DE)

Proyecto plantea plan de construcción de red colectora en dos etapas para abastecer futura planta de tratamiento y estación elevadora y de descarga. Estimado para 15.700 habitantes proyectados al 2012.

1995- CONSTRUCCIÓN DE LAGUNAS FACULTATIVAS.

Se construyeron 3 series en paralelo, de lagunas facultativas primarias y secundarias en el actual predio EPAS, hacia el Sur de la localidad.

2001- ORDENANZA 934/2001, art 27

Declara zona del río Chimehuín bajo el amparo de la figura “ambiente protegido”

2002-2005. MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA

Gader y Garrido. Drenajes cloacales de Junín de los Andes al río Chimehuin.

Estudios CEAN determinan coliformes y nutrientes muy por encima de lo indicado por la norma para nitrógeno y fósforo. Hace hincapié en valores potencialmente problemáticos de coliformes totales.

2001- LINEAMIENTOS PARA EL PLAN DE ORDENAMIENTO URBANO AMBIENTAL DE LA CIUDAD DE JUNÍN DE LOS ANDES. CFI

Plantea serie de recomendaciones, como no verter los efluentes tratados directamente al río, ampliar módulo de lagunas, reutilizar el efluente tratado para riego, desinfectar efluente, realizar cámara de dosificación, evitar la densificación habitacional de esa zona, implantar barrera forestal para mitigar olores.

2007- ORDENANZA 1437

Establece obligatoriedad de establecer sistemas cerrados de tratamiento de efluentes cloacales

2013- ORDENANZA MUNICIPAL 2293/13

Declara EMERGENCIA AMBIENTAL para Junín de los Andes y crea grupo interinstitucional de trabajo para discusión y aportes técnicos en temas ambientales del ejido municipal (“Comisión Normalizadora Ambiental”). Ordenanza se renueva por N° 2535/2015 y N°2758/2017, manteniendo la Comisión (Comisión de Desarrollo Ambiental de Junín de los Andes) y manteniendo vigente la declaración de Emergencia Ambiental.

2016- INFORME DE LA COMISIÓN: Estado de Situación y Acciones Sugeridas “Tratamiento de Efluentes Cloacales”.

Presenta datos de calidad del agua y eficiencia del tratamiento y recomienda una serie de acciones de mejoras y monitoreo al EPAS y acciones de reuso de agua y ampliación de la red cloacal al ejecutivo municipal.

2016- READECUACIÓN DE LA PTEC DE JUNÍN DE LOS ANDES.

Se opera con un esquema de lagunaje construido en base a instalaciones existentes. Se compone de una laguna aireada de mezcla completa – LAMC, seguida de una laguna de sedimentación – LS y dos lagunas de maduración en serie – LM. Antes del vuelco al río Chimehuin se añade hipoclorito de sodio para disminuir la concentración de patógenos.

Permite tratar un efluente de volumen medio de 5636 m³/d generados x población total aproximada de 23.484 habitantes, que correspondería al año 2029 (Cálculo teórico)

El proceso implementado no permite obtener porcentajes de reducción mayores al 50% de Nitrógeno y Fósforo.

2018 – COMISION DE DESARROLLO AMBIENTAL

Analiza redireccionar los efluentes cloacales para riego de forestaciones y generación de suelo en viejo basural y pasturas en campos privados.

2019- PLAN DIRECTOR DE AGUA POTABLE y CLOACAS de JUNÍN DE LOS ANDES. CFI.

Recomienda implementación de alternativa de tratamiento de efluentes mediante planta depuradora de barros activados A20 de tratamiento biológico y químico de nutrientes.

2019- TESIS DE MAESTRÍA.

“Evaluación de alternativas de mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales de Junín de los Andes, Neuquén, Argentina”. Augusto Mezzina. Julio 2019.

Evalúa críticamente el funcionamiento de la planta de tratamientos, analizando parámetros de calidad de agua, comparando con normas vigentes, evaluando eficiencia de los procesos.

Detecta concentraciones problemáticas de amonio en efluente y en el río. Compara con normas existentes.

Propone implementar sistema de fangos activados BANDERPHO de cuatro etapas con precipitación química de fosforo y filtración rápida, y reutilizar el efluente para Riego

2021- DECRETO 003/2021

Gestión de efluentes cloacales e industriales. Procedimiento técnico administrativo para la gestión de efluentes.

2023- PROYECTO DESAGÜES PLUVIO AMBIENTALES DE LA LOCALIDAD DE JUNIN DE LOS ANDES- EVARSA.

Plantea proyecto de escurrimiento superficial para el manejo de pluviales, considerando varias alternativas con estudio de relación costos/beneficios.