

# Factores que afectan las dinámicas de los arroyos andinos del norte de la Patagonia

Sosnovsky Alejandro<sup>1</sup>, Fernández María Valeria<sup>1</sup>,  
Rechencq Magalí<sup>1</sup>, Lallement Mailén Elizabeth<sup>2</sup>,  
Zattara Eduardo Enrique<sup>1</sup>, Cantet Rodolfo Juan Carlos<sup>3,4</sup>  
& Feijóo Claudia Silvana<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Evaluación y Manejo de Recursos Ícticos, Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente (Universidad Nacional del Comahue-CONICET), Quintral 1250 (8400) Bariloche.

<sup>2</sup> Grupo de Estudios Ambientales-IMASL, (Universidad Nacional de San Luis-CONICET), Av. Italia 1556 (5700) San Luis.

<sup>3</sup> Departamento de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453 (1417) CABA.

<sup>4</sup> Instituto de Investigaciones en Producción Animal (CONICET-Universidad de Buenos Aires), Av. San Martín 4453 (1417) CABA.

<sup>5</sup> Programa Biogeoquímica de Ecosistemas Dulceacuícolas, (INEDES-CONICET), Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján, Ruta 5 y Av. Constitución (6700) Luján.

## [ Resumen ]

Los arroyos son ecosistemas altamente dependientes del clima, la topografía y la cuenca de drenaje que los rodea. Sus dinámicas físico-químicas y biológicas están determinadas por el régimen del caudal. Los arroyos andino-norpatagónicos se caracterizan por un incremento del caudal en la primavera, ser oligotróficos y drenar cuencas con un bajo impacto antrópico. Los objetivos del presente trabajo consistieron en relacionar las dinámicas fluviales de los arroyos Casa de Piedra y Gutiérrez con el clima, la topografía y sus respectivas cuencas de drenaje; y determinar la relación entre la densidad poblacional humana y la concentración de nutrientes en arroyos de la cuenca del arroyo Gutiérrez. Las cuencas de estudio pertenecen al Parque Nacional Nahuel Huapi y una parte de estas se encuentran dentro del ejido municipal de San Carlos de Bariloche. El régimen del caudal de los arroyos presentó 3 períodos hidrológicos contrastantes, de Precipitaciones, de Deshielo y Basal. Este régimen se vio amortiguado en el arroyo Gutiérrez por la presencia del gran lago en su cabecera. Los arroyos presentaron características físico-químicas propias de cada uno de los períodos hidrológicos. Por otro lado, la urbanización de la cuenca de drenaje fue claramente en desmedro de la calidad ecológica de los ecosistemas fluviales. En el marco de cambio global, podemos predecir cambios importantes en el funcionamiento de los ecosistemas estudiados. Aun así, somos privilegiados de vivir en un Parque Nacional; es nuestro deber y el de las instituciones pertinentes conservarlo para las generaciones futuras.

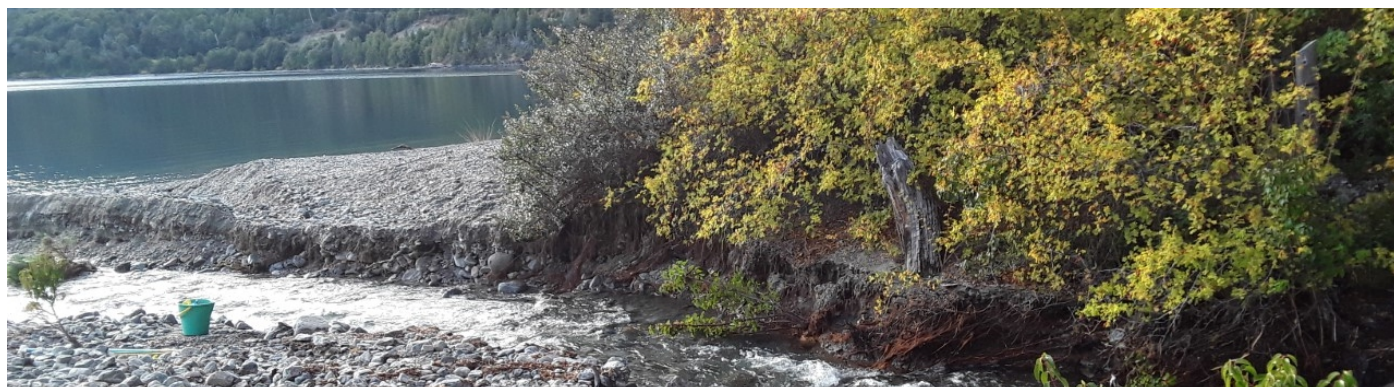
## Contribución al Parque Nacional Nahuel Huapi



Los estudios que sintetizamos en este trabajo evidencian la íntima relación de los ecosistemas fluviales con su entorno y destacan la relevancia del régimen del caudal en el funcionamiento de los arroyos andino-norpatagónicos. Indicamos los distintos caminos que recorre el agua a través de la cuenca de drenaje hasta alcanzar los arroyos y la necesidad de estudiar el régimen del caudal para obtener así una mejor comprensión de las dinámicas físico-químicas y biológicas de estos ecosistemas. Además, enumeramos una serie de acciones a realizar a nivel local con el propósito de contribuir a la conservación de los ecosistemas fluviales del Parque Nacional. El presente trabajo revaloriza el estado ecológico de nuestro entorno y la importancia de su preservación y conservación para las generaciones futuras.

## [ Abstract ]

Streams are ecosystems that are highly dependent on the weather, the topography and the basin that encompass them. The chemical, physical and biological dynamics are determined by the flow regime of the stream. Characteristics of North Patagonian Andean streams are an increase in discharge during spring, the fact that are oligotrophic and the drainage of their basins with a low anthropic impact. The goal of this paper was to relate the fluvial dynamics of two streams (Casa de Piedra and Gutiérrez) with weather, topography, and their drainage basins. In addition, we attempted to determine the relationship between human population density and nutrient concentration in the water flows from the Gutiérrez basin. The stream basins of Casa de Piedra and Gutiérrez are located within the Nahuel Huapi National Park, within the limits of the city of San Carlos de Bariloche. The flow regime of the streams displayed three contrasting hydrological periods: Precipitations, Snowmelt, and Baseflow, each having different characteristics. Hydrology of stream Gutiérrez was buffered by its great upstream lake. On the other hand, the cityscape negatively affected the ecological quality of the stream ecosystems. It is predicted that the evaluated stream ecosystems will display important and negative global changes. Even though that, the National Park Nahuel Huapi is considered one of the more pristine all over the world, and it is our duty to conserve it for generations to come.



## Introducción

### Efectos del clima, la topografía y el uso de la cuenca de drenaje sobre los ecosistemas fluviales

El ciclo hidrológico es un ciclo biogeoquímico, el cual describe el flujo del agua a través de la biosfera. El agua precipita en forma de lluvia o de nieve en la región andina-norpatagónica (Figura 1). El agua de lluvia puede ser captada por la vegetación o caer directamente sobre superficies sin vegetación. El agua regresa a la atmósfera por evaporación directa o por transpiración a través de las plantas. La evaporación y la transpiración juntas se denominan evapotranspiración. Si el agua no se pierde por evapotranspiración, se infiltra en el suelo y puede ser almacenada como humedad; o percolar, alcanzando el agua subterránea. A medida que el suelo se satura de agua, esta escurre superficial o sub-superficialmente a través de la cuenca de drenaje alcanzando las aguas superficiales; como son los arroyos y los lagos. El agua precipitada en forma de nieve se almacena en las montañas, y una vez derretida escurre hacia los arroyos, aumentando sus caudales e incrementando el volumen de los lagos. Podemos decir entonces que el agua que alimenta un arroyo andino-norpatagónico proviene de distintos caminos, por la escorrentía del agua de lluvia, el derretimiento de la nieve y los glaciares, y a través del flujo subterráneo; esto último, por la conexión existente entre las aguas subterráneas y superficiales. Cada uno de estos caminos proveerá características físico-químicas particulares al arroyo. Es decir que el régimen del caudal y las características físico-químicas del agua de los arroyos están íntimamente ligados al ciclo hidrológico.

La integridad ecológica de los ecosistemas fluviales depende del régimen o dinámica del caudal (Poff et al. 1997). El régimen del caudal actúa a diferentes escalas temporales, desde unas pocas horas a decenas de años. Este régimen tiene a su vez 4 componentes. La magnitud, que es la cantidad de agua que pasa por un determinado lugar en un determinado tiempo. La duración, que consiste en el período de tiempo asociado a un determinado flujo del agua hacia el ecosistema fluvial. La predictibilidad o "timing", que consiste en la regularidad con que se observan caudales de determinada magnitud. Y la variabilidad o "flashiness", que representa cuán rápido un arroyo cambia de un valor de magnitud de caudal a otro. Los lagos son considerados como trampas de agua, por lo tanto, los ecosistemas fluviales con lagos en sus nacientes serán amortiguado este régimen. Todos los componentes del régimen del caudal son claves para comprender las dinámicas físicas, químicas y biológicas de los ecosistemas fluviales.

Hace tiempo que dejamos de ver a los ecosistemas fluviales como unidades separadas de su entorno (Allan & Castillo 2007). El sistema

en sí mismo y las comunidades que lo habitan son, en gran parte, consecuencia de las características de la cuenca de drenaje y las actividades que en ella se desarrollan. Las actividades humanas provocan un incremento de los nutrientes en los ecosistemas acuáticos. Este incremento de nutrientes, principalmente de fósforo y de nitrógeno, se conoce con el término de eutrofización. La eutrofización es una forma de contaminación, ya que puede incrementar la biomasa y la productividad de los organismos autótrofos del sistema; la misma proviene tanto de fuentes puntuales como difusas. Una fuente puntual de eutrofización es el vertido directo de desechos de una planta de tratamiento de aguas o industrial a través de un caño al ecosistema fluvial. A su vez, una fuente difusa de contaminación es consecuencia de los cambios en el uso de la tierra como podrían ser la urbanización y la deforestación, pues ambos procesos contribuyen a la impermeabilización y erosión del suelo. Los ecosistemas fluviales son entonces un reflejo de lo que ocurre en sus cuencas de drenaje.

Nuestra principal hipótesis de trabajo sostiene que el clima determina las dinámicas de los ecosistemas fluviales; estas a su vez, estarán moduladas por la topografía y el uso que el hombre hace de las cuencas de drenaje. Por lo tanto, suponemos que el régimen del caudal estará íntimamente ligado a las precipitaciones caídas en la cuenca de drenaje y la temperatura del aire en la región. Además, los arroyos pertenecientes a cuencas de drenaje con diferencias en cuanto a la topografía e intensidad de uso de la cuenca deberían de presentar dinámicas hidrológicas, químicas y biológicas contrastantes. En el presente trabajo ponemos a prueba estas hipótesis en arroyos de montaña del norte de la Patagonia.

### Sitio de estudio

Los ecosistemas de la región norte de la Patagonia Argentina se encuentran estructurados por la cordillera de los Andes (Paruelo et al. 1998). El clima de la región es templado frío (temperatura media anual de 8.7 °C) y se caracteriza por poseer veranos cálidos y secos. La cordillera de los Andes actúa de barrera sobre las masas de aire húmedo provenientes del Océano Pacífico, generando un gradiente de precipitaciones en el sentido Oeste – Este. Las precipitaciones medias rondan los 1500 mm anuales, alcanzan los 3500 mm en el Oeste y descienden a 600 mm en el Este. Las precipitaciones son estacionales y ocurren principalmente durante los meses de otoño e invierno. En la región existen diversos Parques Nacionales. El Parque Nacional Nahuel Huapi (PNNH) es el más antiguo y extenso de todos ellos y sus cuencas de drenaje se caracterizan por poseer una profusa red de ríos y arroyos tributarios de lagos profundos y oligotróficos. La vegetación está representada por distintas especies del género *Nothofagus*, *N. antartica* (ñire), *N. pumilio* (lenga), y *N.*

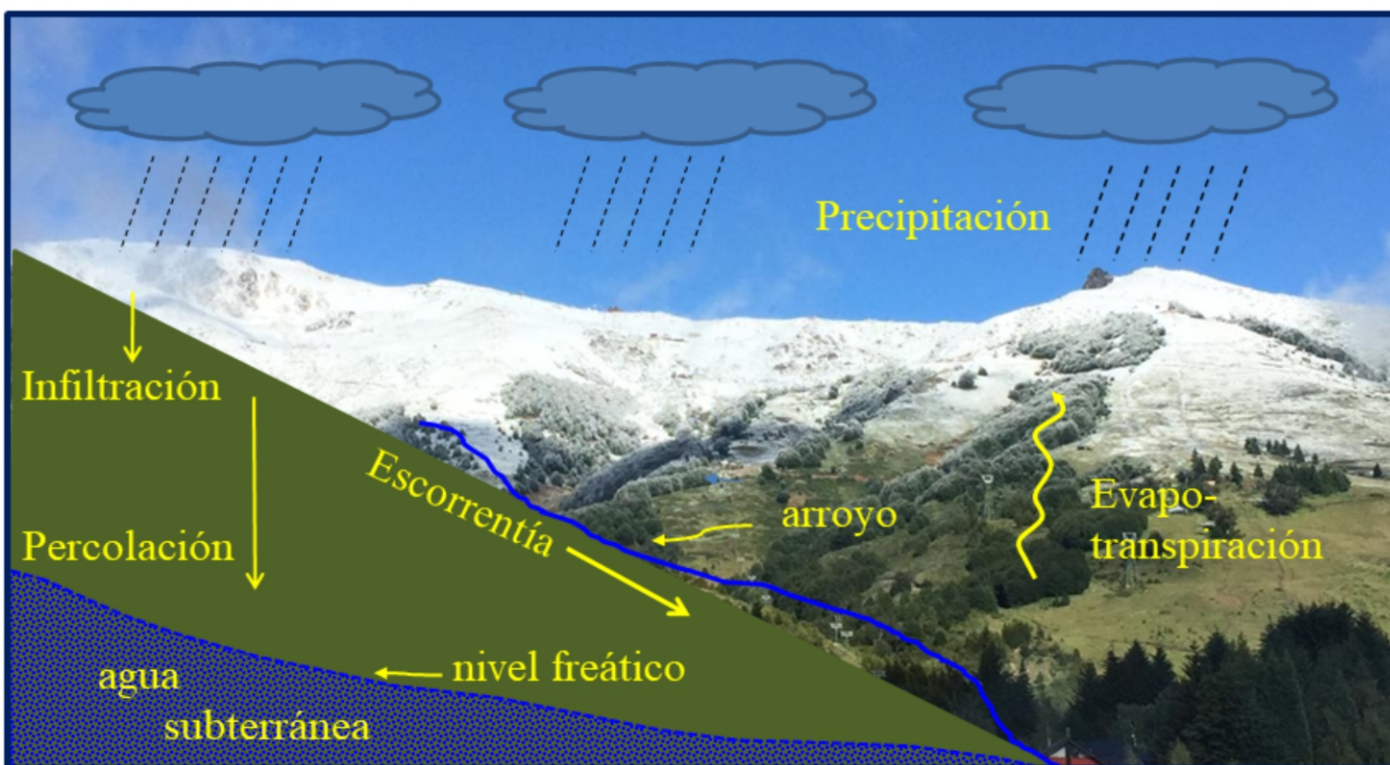


Figura 1. Versión simplificada del ciclo hidrológico en una cuenca de drenaje andina-norpatagónica. El agua precipita en forma de lluvia o nieve. La lluvia alcanza los cuerpos de agua superficiales por escorrentía o percolación, esto último debido a la conexión entre las aguas subterráneas y superficiales. La nieve acumulada en la montaña se derretirá un tiempo después, incrementando el caudal de los arroyos.

dombeyi (coihue). *Nothofagus antarctica* posee un amplio rango de distribución altitudinal, desde los 700 m s.n.m. hasta el límite de la línea arbórea (1600 m s.n.m.), *N. pumilio* en cambio, se encuentra a partir de los 1000 m s.n.m. A menores altitudes se pueden observar bosques monoespecíficos o mixtos de *N. dombeyi* (coihue), *Austrocedrus chilensis* (ciprés), *Lomatia hirsuta* (radal) y *Maytenus boaria* (maitén). Los suelos en estas cuencas son clasificados como Andisoles, los cuales se caracterizan por su capacidad de retener agua y fósforo. Dentro del PNNH se asienta la ciudad turística de San Carlos de Bariloche. Esta ciudad posee un extenso ejido municipal (275 km<sup>2</sup>) y una población actual cercana a los 146 000 habitantes (Bariloche Municipio 2021). Desarrollamos nuestras investigaciones en dos cuencas de drenaje pertenecientes al PNNH, las cuencas de los arroyos Casa de Piedra (41°07'30.11"S 71°27'13.16"W) y Gutiérrez (41°09'36.18"S 71°24'37.19"W). Estas cuencas se encuentran adyacentes entre sí, pero son muy contrastantes en relación a su topografía y al uso que el hombre hace de ellas. La cuenca del arroyo Casa de

Piedra es mayormente prístina y en ella se práctica el senderismo. Esta cuenca posee una superficie de 65.5 km<sup>2</sup>, y solo en su zona más baja se asienta la población. El arroyo Casa de Piedra nace en el lago Jakob, un pequeño y ultra-oligotrófico (1-3 mg m<sup>-3</sup> fósforo total (PT)) lago de altura ubicado a 1550 m s.n.m. A orillas del mismo se encuentra el refugio San Martín, refugio de montaña perteneciente al Club Andino Bariloche. En cambio, la cuenca del arroyo Gutiérrez drena un área mayor (161.6 km<sup>2</sup>) y un 10% de ella se encuentra ocupada por el lago homónimo. Este lago de piedemonte es extenso, profundo (111 m) y tiene una concentración de PT de 3.4 mg m<sup>-3</sup>. Algunas sub-cuencas de la cuenca del arroyo Gutiérrez están incluidas en el ejido municipal de San Carlos de Bariloche, incrementado sobremedida el uso que el hombre hace de ellas. Entre ellos podemos destacar la presencia de un centro de esquí, la extracción de madera, la plantación de especies arbóreas exóticas y amplias zonas residenciales. La mayoría de los domicilios de estas zonas no se encuentran conectados a la red cloacal de la ciudad. En consecuencia, los efluentes domiciliarios son tra-

tado "in situ" mediante un tratamiento primario, en un pozo ciego, una cámara séptica o biodigestor, seguido de un tratamiento secundario, en un lecho nitrificante cavado en el suelo. El arroyo posee una obra de regulación en su nacimiento y dos canales derivadores relacionados con las usinas Militar y de la Cooperativa de Electricidad Bariloche; sus riberas están ampliamente colonizadas por la vegetación exótica, *Salix fragilis* (sauce) y *Pinus sp.* (pino). Además, próximo al arroyo funciona el Centro de Salmonicultura Bariloche, una piscifactoría con una producción de 10 toneladas año<sup>-1</sup>. Esta piscifactoría capta agua del arroyo, la utiliza para la cría de los salmones y posteriormente la vierte al mismo, con los desechos generados por los peces y el alimento no consumido. Como consecuencia, se produce un incremento del fósforo y de la materia orgánica en este ecosistema fluvial (Díaz Villanueva et al. 2000). El arroyo Gutiérrez tiene una extensión de 9 km, fluye a través de un valle de escasa pendiente (5.9 m km<sup>-1</sup>) y desemboca en el lago Nahuel Huapi.

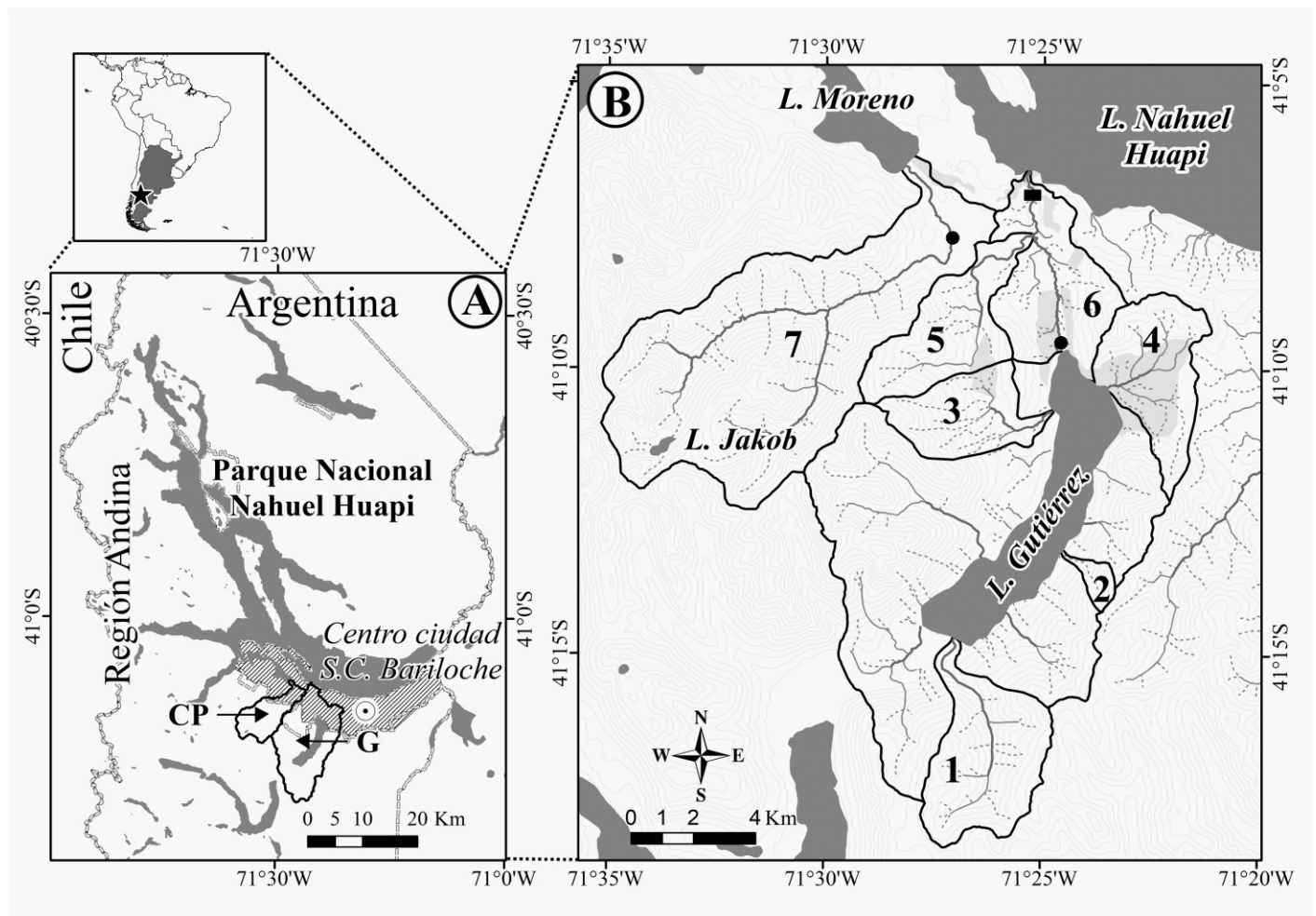


Figura 2. Sitio de estudio. a) Se indica el Parque Nacional Nahuel Huapi, el ejido Municipal de la ciudad de San Carlos de Bariloche (sombreado a rayas) y las cuencas de drenaje estudiadas, Gutiérrez (G) y Casa de Piedra (CP) b) Detalles de las cuencas y sub-cuencas pertenecientes a los arroyos (1) Torrontegui, (2) Melgarejo, (3) Pescadero, (4) Loncochinoco, (5) Cascada, (6) Gutiérrez y (7) Casa de Piedra. Las áreas urbanizadas están sombreadas en gris claro, los círculos negros indican las ubicaciones de los limnigrafos y el rectángulo negro indica la ubicación de la estación meteorológica.

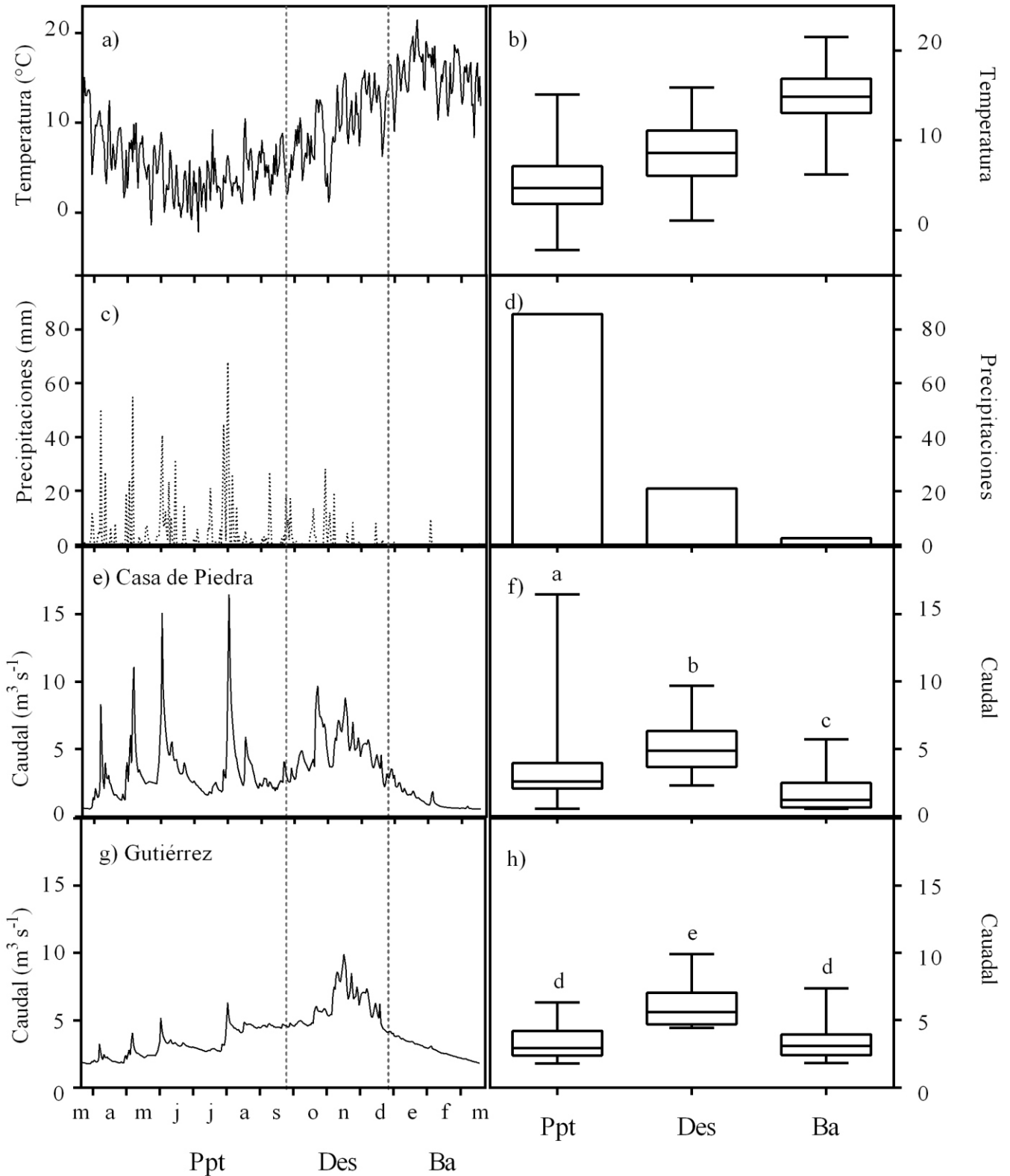


Figura 3. Panel izquierdo a) Temperatura, c) Precipitaciones, e) y g) hidrogramas de los arroyos. Las letras en el eje X indican los meses, comenzando en el mes de marzo (m) de 2014 y finalizando en el mes de marzo (m) de 2015. Panel derecho: representa el mismo conjunto de datos agrupados en diagramas de cajas correspondientes a los 3 periodos hidrológicos, Precipitaciones (Ppt) (n = 179), Deshielo (Des) (n = 81) y Basal (Ba) (n = 105); n representa el número de días. El límite inferior del rectángulo indica el percentil 25, una línea dentro del mismo marca la mediana y su límite superior indica el percentil 75. Los bigotes indican el rango. f) y h) Las letras (a, b, c, d y e) representan diferencias significativas del caudal ( $P < 0.05$ ) (modificado de Sosnovsky et al., 2020).

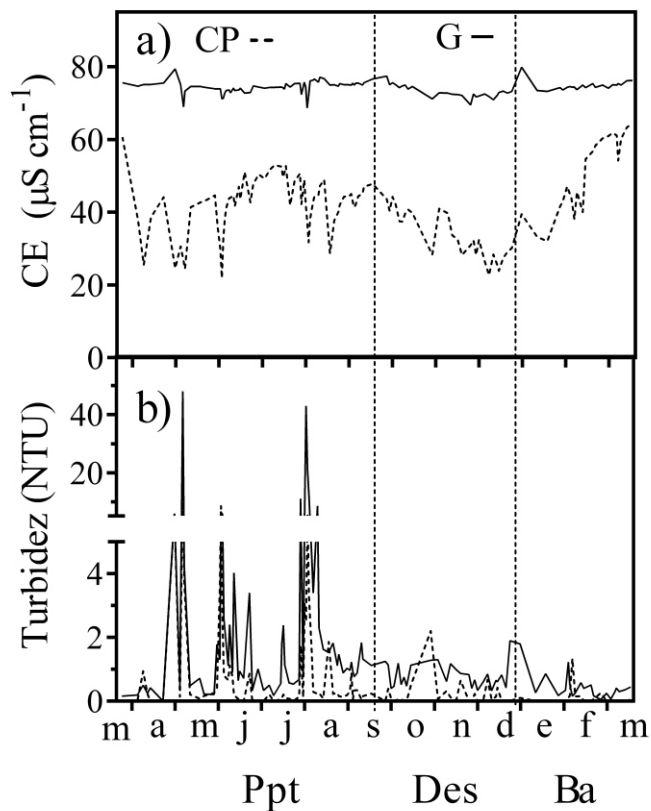


Figura 4: Variación temporal de a) la conductividad eléctrica (CE) y b) la turbidez del agua en los arroyos Casa de Piedra (CP) y Gutiérrez (G) desde marzo (m) 2014 hasta marzo (m) 2015. Se indican los períodos hidrológicos de Precipitaciones (Ppt), Deshielo (Des) y Basal (Ba) (modificado de Sosnovsky et al., 2020).

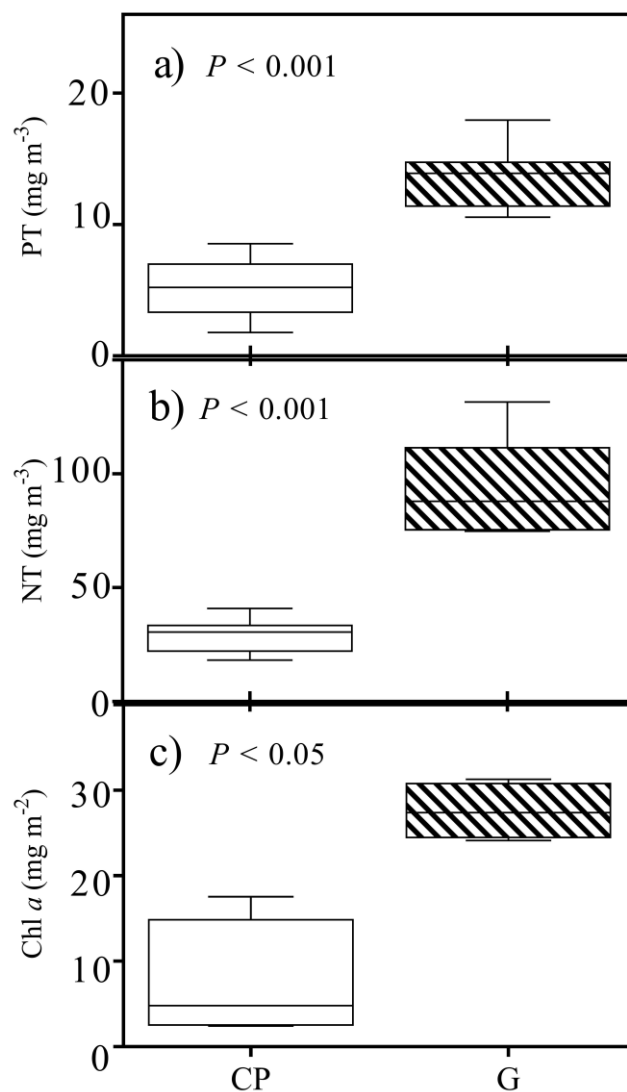


Figura 5. Diagrama de cajas mostrando las diferencias de variables del ecosistema fluvial entre los arroyos Casa de Piedra (CP) y Gutiérrez (G) (Test de t pareado en el tiempo). a) Fósforo total (PT) (n = 13), b) Nitrógeno total (NT) (n = 13), c) Concentración de clorofila a de la comunidad de perifiton (Chl a) (n = 4); n representa el número de muestras. El límite inferior del rectángulo indica el percentil 25, una línea dentro del mismo marca la mediana y su límite superior indica el percentil 75. Los bigotes indican el percentil 10 y 90 percentil (modificado de Sosnovsky et al., 2022).

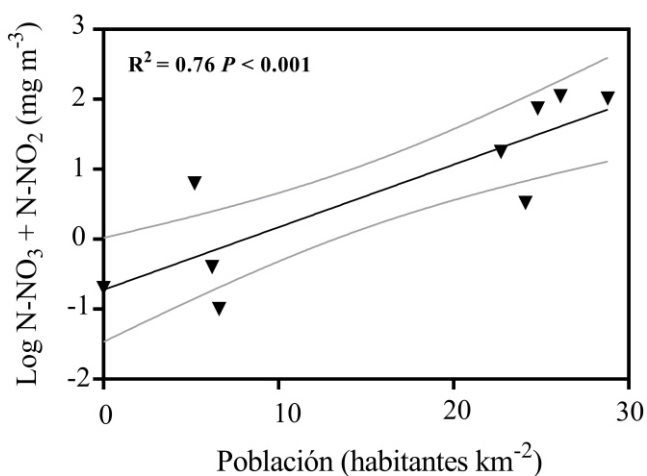


Figura 6: Relación lineal entre la densidad poblacional y el logaritmo de la concentración de Nitrógeno de nitrato + Nitrógeno de nitrito (Log N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) en 10 sitios pertenecientes a la cuenca de drenaje del arroyo Gutiérrez. Las líneas grises determinan el Intervalo de Confianza al 95%.

### Metodología

Con el propósito de estudiar las dinámicas y las relaciones claves de los ecosistemas fluviales, realizamos diversos estudios espacio-temporales. Los estudios temporales los llevamos a cabo en sitios próximos a la desembocadura de los arroyos Gutiérrez y Casa de Piedra desde marzo de 2013 hasta marzo de 2016. Esta elección de los sitios de muestreo nos permitió estudiar a escala de cuenca de drenaje ambos arroyos. En una primera instancia estudiamos el régimen del caudal; para ello utilizamos registros diarios de caudal, temperatura del aire y precipitaciones en la cuenca de drenaje provistos por el Departamento Provincial de Aguas de la Provincia de Río Negro. Los registros de precipitación no diferenciaban lluvia de nieve. Utilizamos la conductividad eléctrica como indicador de la salinidad y del flujo del agua hacia los arroyos para dividir el año de estudio en los 3 períodos hidrológicos característicos de arroyos de montaña; períodos de Precipitaciones, Deshielo y Basal. Dos veces por semana realizamos un seguimiento de la conductividad eléctrica y la turbidez, esta última como un indicador de los sólidos

suspendidos totales. Cuando se pronosticaban precipitaciones, el mismo se incrementaba a una escala diaria hasta finalizado el evento de precipitación. En una segunda instancia estudiamos las dinámicas anuales de los nutrientes fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT). Para ello realizamos muestreos con una periodicidad mensual. En una tercera etapa, estimamos la biomasa de la comunidad de perifiton (estimada como concentración de Clorofila a (Chl a)) durante la temporada estival con la misma periodicidad. Por último, realizamos un estudio biogeoquímico a escala espacial en la cuenca de drenaje del arroyo Gutiérrez a comienzos del otoño de 2016. Para tal propósito analizamos la química del agua de los arroyos en relación a la densidad de habitantes en sus respectivas cuencas de drenaje. Realizamos un muestreo puntual en 5 sitios del arroyo Gutiérrez, su arroyo tributario y en 4 arroyos tributarios al lago Gutiérrez (Figura 2); y nos valimos de los datos poblacionales suministrados por la Municipalidad de San Carlos de Bariloche (Bariloche Municipio 2021) para estimar la densidad poblacional en las respectivas cuencas de drenaje (habitantes km<sup>-2</sup>). Tanto las diferencias entre la magnitud de los caudales, la concentración de nutrientes y la concentración de Chl a, como las relaciones entre las distintas variables, fueron analizadas mediante técnicas estadísticas apropiadas. Para un mayor detalle de la metodología empleada remitirse a los artículos de Sosnovsky y colaboradores (2020, 2021, 2022).

## Resultados y discusión

El clima de una región determina el régimen del caudal en los ecosistemas fluviales (Snelder & Biggs 2002). Los regímenes del caudal de los arroyos Gutiérrez y Casa de Piedra presentaron los 3 períodos hidrológicos característicos de estas zonas de montaña; de Precipitaciones, de Deshielo y Basal (Figura 3). Cada uno de estos períodos presentó un flujo del agua predominante hacia los arroyos. La escorrentía superficial y sub-superficial fue relevante durante el período de Precipitaciones, donde un incremento en las precipitaciones se reflejó en un incremento en la magnitud y variabilidad o “flashiness” del caudal. El paso rápido de una gran cantidad de agua de lluvia a través de la cuenca de drenaje, produjo un efecto de dilución en el arroyo Casa de Piedra y como consecuencia de ello, observamos disminuciones abruptas de su conductividad eléctrica (Figura 4a). Como contrapartida, la lluvia elevó los sólidos suspendidos y la turbidez del agua de los arroyos producto de la erosión del suelo (Figura 4b). Es en este período cuando existe la mayor conexión entre la cuenca de drenaje y el ecosistema fluvial (García et al. 2015, Sosnovsky et al. 2020). En el período de Deshielo, a diferencia del período anterior, los aumentos del caudal se asociaron con incrementos en la temperatura del aire. En este período los arroyos presentaron su mayor caudal promedio (Figura 3f y h). Para el caso del arroyo Casa de Piedra la conductividad eléctrica presentó sus valores más bajos y una tendencia decreciente durante el mismo (Figura 4a). Esta dinámica se explica pues el derretimiento de la nieve ocurre desde la zona baja de la montaña hacia su cumbre. A mayor altitud los suelos son más delgados y menos maduros y el grado de meteorización de las rocas disminuye, en consecuencia, la nieve derretida tiene menos posibilidad de disolver sales y volcarlas al ecosistema fluvial. Finalizado el deshielo, comenzó el período Basal. Este período se caracterizó por poseer la menor magnitud y variabilidad del caudal, y una mayor relevancia del flujo subterráneo hacia el arroyo. Esto último, fue corroborado con la físico-química del agua, observándose un incremento de la conductividad eléctrica. Sin embargo y a pesar de esta conceptualización de las dinámicas fluviales en los arroyos andinos, encontramos diferencias contrastantes de las mismas en los arroyos Casa de Piedra y Gutiérrez.

Las dinámicas hidrológicas y químicas de un ecosistema fluvial son afectadas en presencia de un gran lago de cabecera (Gordon et al. 2004). La superficie del lago Gutiérrez es más de dos órdenes de magnitud mayor en comparación a la superficie del lago Jakob; a su vez más del 80% de la cuenca del arroyo Gutiérrez drena hacia el lago homónimo; en cambio, menos del 10% de la cuenca del arroyo Casa de Piedra drena hacia el lago Jakob. Es de esperar entonces hallar diferencias entre las dinámicas de los arroyos Gutiérrez y Casa de Piedra. Si comparamos sus hidrogramas anuales observamos que los picos o incrementos del caudal producto de las lluvias fueron sustancialmente menores en el arroyo Gutiérrez (Figura 3e y f). Lo mismo ocurriría si comparáramos la magnitud de sus caudales específicos; es decir, el caudal de un arroyo en función del área de su cuenca de drenaje. Ambos hechos indican que el régimen del caudal del arroyo Gutiérrez está amortiguado, lo cual se debe en gran parte a la presencia del lago en su cabecera. De la misma manera, este lago actúa como una trampa de sedimentos y las concentraciones de nutrientes deberían de

verse también amortiguadas. Sin embargo, esto no fue reflejado por nuestros resultados pues las concentraciones de PT y NT fueron significativamente más elevadas en el arroyo Gutiérrez (Figura 5a y b). Es evidente entonces que existen otros factores, actuando a menores escalas, que también influyen en las dinámicas de estos ecosistemas.

El incremento en el uso de la tierra favorece la eutrofización de los ecosistemas fluviales (Dodds & Smith 2016). Las cuencas de drenaje estudiadas se encuentran dentro del PNNH, sin embargo, es contrastante el uso que el hombre hace de ellas en relación a su conservación y grado de urbanización. Estas diferencias se condicen con las mayores concentraciones de PT y NT en el arroyo Gutiérrez (Figura 5a y b), lo que se tradujo además en una mayor biomasa de su comunidad de perifiton durante el período Basal (Figura 5c). Del estudio realizado a escala espacial en la cuenca del arroyo Gutiérrez observamos fuentes de eutrofización de origen puntual, el Centro de Salmonicultura, y de origen difuso, la urbanización de la cuenca de drenaje. En el sitio de muestreo próximo al Centro de Salmonicultura observamos la mayor concentración de amonio, producto de la excreción de los peces. Este impacto puntual, fue disminuyendo aguas abajo por la autodepuración que poseen los ecosistemas fluviales. El efecto de la urbanización reflejó una relación directa entre la densidad de habitantes presentes en la cuenca de drenaje y el logaritmo de la concentración de nitratos y nitritos de los arroyos (Figura 6). Teniendo en cuenta que esta población posee mayoritariamente sistemas de tratamientos de efluentes domiciliarios “in situ”; es factible asociar a la lixiviación de los nitratos desde los lechos nitrificantes domiciliarios hacia las aguas subterráneas como un mecanismo determinante en el incremento de los nutrientes en los ecosistemas fluviales. La química del agua y la biomasa de perifiton de los arroyos Gutiérrez y Casa de Piedra reflejaron el contrastante uso de la tierra de sus respectivas cuencas de drenaje. Las consecuencias del cambio global son inevitables para los ecosistemas fluviales andino-norpatagónicos. Los escenarios a futuro predicen una disminución de las precipitaciones totales y una tendencia decreciente en el cociente nieve: precipitaciones, es decir que proporcionalmente nevará menos y lloverá más (Barros & Camilloni 2016). Por lo tanto, es previsible pensar que las lluvias incrementarán la magnitud y variabilidad del caudal de los arroyos durante el período de Precipitaciones; aumentando aún más la conexión entre los ecosistemas terrestre y acuático. El deshielo será menor en la primavera y esto se traducirá en una menor cantidad de agua en las cuencas de drenaje, tanto en reservorios superficiales como subterráneos. Este déficit de agua será más preocupante durante el período Basal, ya que se incrementará la profundidad del nivel freático y en consecuencia disminuirán los caudales de los arroyos. Llegado el caso donde el nivel freático sea muy profundo, el agua de los arroyos se infiltrará en el suelo secando así su lecho e incrementando el número de arroyos intermitentes en la región. Por otro lado, dentro del marco del cambio global, el cambio e incremento en el uso de la tierra está considerado uno de los efectos más perjudiciales para el ser humano y el planeta tierra en su conjunto (Díaz et al. 2019). El incremento de los nutrientes en nuestros ecosistemas acuáticos es ya un hecho. Los ríos de la región son naturalmente oligotróficos, y su biota está adaptada a dicho estado trófico. Un cambio en su estado trófico se traducirá en un incremento en la biomasa de perifiton, alterando la estructura y funcionamiento de toda la red trófica. Además, estos cambios en el régimen del caudal y en el estado trófico de los ríos alterarán las dinámicas químicas y biológicas de sus lagos receptores. Los habitantes de San Carlos de Bariloche somos privilegiados de vivir en una ciudad asentada dentro de un Parque Nacional. Entendiendo a la cuenca de drenaje como una unidad de estudio y conservación, hay acciones en el plano local que podríamos realizar. En las zonas urbanizadas, las autoridades correspondientes deberían de implementar sistemas de efluentes domiciliarios cada vez más eficientes en el reciclado y la remoción de nutrientes; y una legislación vigente que resguarde los bosques, ya sea evitando la deforestación o implementando acciones concretas de reforestación con árboles nativos. Debería de haber más actividades enfocadas en la educación ambiental tanto en el sistema de enseñanza oficial, como en organizaciones e instituciones afines. Esto generaría ciudadanos con mayor grado de conciencia por el cuidado del lugar donde viven. Gran parte de los ecosistemas pertenecientes a la Administración de Parques Nacionales se encuentran entre los más prístinos a nivel mundial. Sería necesario entonces que el Estado Argentino destine una mayor cantidad de recursos humanos y materiales para su preservación y conservación. Las generaciones futuras tienen el mismo derecho que nosotros a conocer y vivir en ambientes saludables.

## Agradecimientos

Le agradecemos al Departamento Provincial de Aguas por los datos otorgados de hidro-meteorología, a Ricardo Albariño por su lectura crítica del manuscrito y a los editores de la revista *Macroscopia* por permitirnos difundir nuestras investigaciones de los ecosistemas fluviales andinos norpatagónicos. Sosnovsky, A., Rechencq, M., Fernández, M.V., Zattara, E.E., Cantet, R.J.C. y Feijoó, C.S. agradecen el apoyo de CONICET.

## Bibliografía consultada

- Allan, J.D. & Castillo, M.M. 2007 *Stream Ecology. Structure and Function of Running Waters*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, 436 pp.
- Bariloche Municipio 2021 Crecimiento poblacional de San Carlos de Bariloche.  
[http://www.bariloche.gov.ar/estadisticas\\_grafico.php?grafico=28](http://www.bariloche.gov.ar/estadisticas_grafico.php?grafico=28).
- Barros, V. & Camilloni, I. 2016 *La Argentina y el cambio climático. De la física a la política*, EUDEBA, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 286 pp.
- Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E., T. Ngo, H., Guéze, M., Agard, J., Arneth, A., Balvanera, P., Garibaldi, L., Ichii, K., et al. 2019 Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services, Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 39 pp.
- Díaz Villanueva, V., Queimaliños, C.P., Modenutti, B.E. & Ayala, J. 2000 Effects of fish effluents on the periphyton of an Andean stream. *Archive of Fishery Marine Research* 48:252-263.
- Dodds, W.K. & Smith, V.H. 2016 Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in streams. *Inland Waters* 6:155-164.
- García, D.R., Gereá, M., Soto Cárdenas, C., García, P.E., Pérez, G., Reissig, M., Queimaliños, C.P. & Diéguez, M.C. 2015 Integrando los cuerpos de agua al paisaje del Parque: la trama invisible de las cuencas. *Macroscopia* 5:3-8.
- Gordon, N.D., McMahon, T.A., Gippel, C.J. & Natha, R.J. 2004 *Stream Hydrology An Introduction for Ecologist*, Wiley, Chichester, 429 pp.
- Paruelo, J.M., Beltran, A., Jobbágy, E., Sala, O. & Golluscio, R. 1998 The climate of Patagonia: general patterns and controls on biotic processes. *Ecología Austral* 8:85-101.
- Poff, N.L., Allan, J.D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E. & Stromberg, J.C. 1997 The Natural Flow Regime. *Bioscience* 47:769-784.
- Snelder, T.H. & Biggs, B.J.F. 2002 Multiscale river environment classification for water resources management. *Journal of the American Water Resources Association* 38:1225-1239.
- Sosnovsky, A., Lallement, M.E., Rechencq, M., Fernández, M.V., Zattara, E.E. & Feijoó, C.S. 2021 Nutrient export and population density relationships in a stream-lake basin from the Patagonian Andean Region. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research on-line*.
- Sosnovsky, A., Lallement, M.E., Rechencq, M., Zattara, E.E., Fernández, M.V., Daga, R., Suarez, M.J., Leiva, S. & Cantet, R.J.C. 2022 The influence of topography and land use on hydrological and nutrient dynamics in two Andean streams from Northern Patagonia. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 56:78-97.
- Sosnovsky, A., Rechencq, M., Fernández, V., Suarez, M.J. & Cantet, R.J.C. 2020 Hydrological and physico-chemical dynamics in two Andean streams. *Limnetica* 39:17-33.

## Glosario

**Autodepuración:** un conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos, que tienen lugar en el río de modo natural y que provocan la destrucción de materias extrañas incorporadas al mismo.

**Clorofila a:** pigmento fotosintético presente en bacterias y algas que absorbe la luz roja y azul. La concentración de la Clorofila a en una comunidad es proporcional a la biomasa de dicha comunidad.

**Conservación:** uso sustentable de los recursos naturales.

**Cuenca de drenaje:** área por encima de un punto en un arroyo que capta el agua que fluye hacia dicho punto.

**Eutrófico:** ambientes con altas concentraciones de nutrientes en el agua. Los arroyos con concentraciones mayores a 1500 mg m<sup>-3</sup> de Nitrógeno Total y a 75 mg m<sup>-3</sup> de Fósforo Total son considerados eutróficos.

**Infiltración:** se habla de infiltración cuando el agua se introduce en el suelo atravesando su superficie.

**Hidrograma:** gráfico que indica la variación de la magnitud del caudal en el tiempo.

**Limnígrafo:** instrumento de precisión que registra los niveles de la columna de agua en el tiempo. A partir de estas mediciones y la realización de aforos en el arroyo se puede estimar el caudal.

**Lixiviación:** la disolución y arrastre de minerales y otros elementos del suelo por el movimiento descendente del agua.

**Nitratos (NO<sub>3</sub>-) y nitritos (NO<sub>2</sub>-):** especies iónicas naturales que forman parte del ciclo del nitrógeno. Se encuentran en bajas concentraciones en el suelo, los alimentos y las aguas superficiales y subterráneas. En general, valores altos en el agua indican contaminación industrial y/o de aguas residuales domésticas.

**Oligotrófico;** ambientes con bajas concentraciones de nutrientes en el agua. Los arroyos con concentraciones menores a 700 mg m<sup>-3</sup> de Nitrógeno Total y a 25 mg m<sup>-3</sup> de Fósforo Total son considerados oligotróficos.

**Percolación:** se refiere al movimiento del agua dentro del suelo.

**Perifiton:** término usado en sentido amplio para representar a la comunidad de organismos microscópicos que habitan los sustratos presentes en un cuerpo de agua, está compuesto por algas bentónicas, bacterias, hongos, protozoos e invertebrados, creciendo en una matriz de materia orgánica amorfa.

**Período Basal:** período de tiempo donde la hidrología y química de los arroyos están determinadas por el flujo subterráneo.

**Período de Deshielo:** período de tiempo donde la hidrología y química de los arroyos están determinadas por el derretimiento de la nieve y los glaciares.

**Período de Precipitaciones:** período de tiempo donde la hidrología y química de los arroyos están determinadas por la escorrentía superficial y sub-superficial.

**Preservación:** acción de mantener el estado actual de algo. La preservación de los recursos naturales se centra principalmente en los recursos que no han sido alterados por los seres humanos.

**Prístino:** dicese del ecosistema libre de toda perturbación generada por actividad humana.

**Sólidos Suspendidos Totales:** hacen referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en una muestra de agua. Se definen como sólidos suspendidos aquellos que son retenidos en un filtro de 0.45 micrones de poro. Incrementos en esta variable se traduce en incrementos de la turbidez en el agua.



**Lallement Mailén E.**

Doctora en Biología con mirada ecológica. Mis estudios se enfocan en comprender cómo las características ambientales a diferentes escalas espaciales determinan la composición y estructura de las comunidades a través del tiempo. Actualmente me encuentro desarrollando un segundo estudio posdoctoral cuyo tema es la ecología de parches salinos en una matriz productiva de la cuenca del Morro (San Luis).



**Sosnovsky Alejandro**

Soy Doctor en Ciencias Biológicas de la Universidad de Buenos Aires. Estudié la ecología de organismos planctónicos en lagos someros y profundos. Siempre me interesó comprender la relación existente entre los ecosistemas acuáticos y sus respectivas cuencas de drenaje. Actualmente estudio ecosistemas fluviales y mis estudios se enfocan en el régimen del caudal y la biogeoquímica de los nutrientes fósforo y nitrógeno en ríos y arroyos andino patagónicos.



**Zattara Eduardo E.**

Soy Licenciado en Ciencias Biológicas y Doctor en Comportamiento, Ecología, Evolución y Sistemática. Actualmente, trabajo como Profesor de la Universidad Nacional del Comahue e Investigador del CONICET en el Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medio Ambiente (CONICET-UNComa). Trabajo en la interfaz entre ecología, evolución y desarrollo, tratando de entender las bases ecológicas y genómicas que subyacen los cambios evolutivos, y aplicando esos conocimientos a problemas de gestión y conservación de la biodiversidad.



**Cantet Rodolfo J. C.**

Actualmente soy miembro de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. Investigador Superior del CONICET especialista en mejoramiento genético animal. Tengo formación estadística y he colaborado en el análisis de datos experimentales en neurología, suelos, vacunas y limnología.



**Feijoó Claudia S.**

Soy bióloga, profesora en la Universidad Nacional de Luján e investigadora de CONICET. Trabajo en el Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable (INEDES, CONICET-UNLU), que actualmente dirijo. Mis líneas de investigación se enfocan en la biogeoquímica y restauración de ríos y arroyos, incluyendo aspectos funcionales como la retención de nutrientes y el metabolismo fluvial.



**Fernández María Valeria**

Soy Doctora en Biología de la Universidad Nacional del Comahue. En mis comienzos estudié la ecología de parásitos de peces en ambientes patagónicos. Actualmente estudio como las características ambientales y la conectividad estructuran las comunidades de peces en estos ambientes. Para tal fin utilizo técnicas de video subacuáticas, produciendo así un bajo impacto en las comunidades de estudio y en el ecosistema en general.



**Rechencq Magalí**

Soy egresada del Centro Regional Universitario Bariloche (CRUB) de la Universidad Nacional del Comahue (UNCo), donde obtuve mi título de Doctora en Biología. Trabajo como docente universitario en el CRUB y como investigadora en el Instituto de Biodiversidad y Medio Ambiente (INIBIOMA - CONICET), Bariloche, Río Negro. Estudio procesos ecológicos y ecosistémicos que involucran a los ambientes acuáticos de la Patagonia Andina, evaluando la disponibilidad de tipos de hábitats, el uso que hacen los organismos que los habitan y la relación con el estado de conservación de las cuencas. Con estas herramientas se puede evaluar a diferentes escalas la sustentabilidad de los servicios ecosistémicos y modelar escenarios generados por el cambio global.