

Arroyo Canal Candelaria: biodiversidad y condición ecológica en un paisaje agrícola

Arroyo Canal Candelaria: biodiversity and ecological condition in an agricultural landscape

Pablo Guillermo Rimoldi, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3717-7649>

Julia Gastaud, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0860-0970>

Daniel Alejandro Paiz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4113-1587>

Centro de Estudios Ambientales en Veterinaria (CEAV) y Cátedra de Biología y Ecología, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional de Rosario (UNR) Argentina. Código postal 2170.

* Autor de correspondencia: primoldi04@gmail.com

Romoldi, P.G.; Gastaud, J.; Paiz, D.A. (2026). Arroyo Canal Candelaria: biodiversidad y condición ecológica en un paisaje agrícola. *Revista Estudios Ambientales*, 16 (1), 53- 70.

Recibido: 14/04/2026 - **Aceptado:** 09/06/2026 – **Publicado:** 24/07/2026

RESUMEN

Los sistemas de drenaje y canalización constituyen una parte significativa de la red hidrográfica en paisajes agrícolas de llanura, aunque su rol ecológico ha sido históricamente subestimado. En este trabajo se presenta un estudio de caso del Arroyo Canal Candelaria, sur de Santa Fe, Argentina, con el objetivo de caracterizar patrones espaciales de biodiversidad y condición ecológica en un sistema altamente modificado.

Se integró información de macroinvertebrados bentónicos, herpetofauna, aves y mamíferos medianos y grandes, relevados en seis sitios distribuidos en cuenca alta, media y baja entre 2023 y 2025. Se analizaron patrones de riqueza taxonómica y se utilizaron índices bióticos bentónicos como indicadores indirectos de la condición ecológica acuática.

Los resultados mostraron un incremento general de la riqueza hacia los tramos inferiores y una mejora relativa de los indicadores biológicos bentónicos, aunque con predominio de organismos tolerantes en gran parte del sistema. La coincidencia en la dirección de estos patrones entre distintos grupos biológicos sugiere la presencia de una tendencia longitudinal consistente.

En conjunto, los resultados sugieren que, a pesar de su canalización y del alto grado de presión antrópica, el Arroyo Canal Candelaria mantiene atributos ecológicos relevantes y podría contribuir a la conectividad biológica dentro del paisaje. Estos resultados destacan la importancia de considerar a los sistemas arroyo-canal dentro de estrategias de diagnóstico, gestión y restauración ecológica en ambientes altamente transformados.

PALABRAS CLAVE: Arroyos canalizados; enfoque multitaxa; gradientes longitudinales; ecosistemas novedosos; bioindicadores bentónicos

ABSTRACT

Artificial drainage and channelized systems constitute a substantial component of hydrological networks in lowland agricultural landscapes, although their ecological role has historically been underestimated. This case study examines the Arroyo Canal Candelaria, southern Santa Fe, Argentina to characterize spatial patterns of biodiversity and ecological condition in a highly modified system.

Data on benthic macroinvertebrates, herpetofauna, birds, and medium- to large-sized mammals were compiled from six sampling sites distributed across upper, middle, and lower sections of the basin between 2023 and 2025. Taxonomic richness patterns were assessed, and benthic biotic indices were used as indirect indicators of aquatic ecological condition.

The results indicate a general increase in richness toward downstream sections, along with a relative improvement in benthic biotic indices, although tolerant taxa dominated throughout much of the system. The consistency of these patterns across different biological groups suggests a consistent longitudinal trend.

Overall, the findings indicate that, despite its channelization and high level of anthropogenic pressure, Arroyo Canal Candelaria retains significant ecological attributes and could contribute to ecological connectivity within the landscape. These results highlight the importance of considering channelized stream systems in ecological assessment, management, and restoration strategies in highly transformed environments.

KEYWORDS: Channelized streams; multi-taxa approach; longitudinal gradients; novel ecosystems; benthic bioindicators

INTRODUCCIÓN

Los humedales y los sistemas fluviales de llanura se encuentran entre los ecosistemas más transformados a escala global debido a la expansión agrícola, la urbanización y las obras de ingeniería hidráulica (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Se estima que más del 80% de los humedales naturales han sido degradados o perdidos desde el siglo XVIII, lo que ha generado profundas alteraciones en los procesos hidrológicos y en la biodiversidad asociada (Davidson, 2014; Reid et al., 2019).

En numerosas regiones, el drenaje, la canalización y la regulación del flujo han modificado la estructura y el funcionamiento de los cursos de agua naturales, provocando la simplificación del hábitat y una disminución generalizada de la biodiversidad dulceacuícola (Dudgeon et al., 2006; Wohl et al., 2015).

En paisajes agrícolas de llanura, los cursos naturales y los humedales someros han sido frecuentemente reemplazados por canales de drenaje diseñados para el control de inundaciones y la habilitación productiva del territorio. Sin embargo, estos sistemas pueden conservar características geomorfológicas y ambientales heredadas del ambiente original, dando lugar a sistemas híbridos o “ecosistemas novedosos”, en los que la morfología artificial coexiste con procesos ecológicos residuales (Hobbs et al., 2009; Morse et al., 2014). Comprender la capacidad funcional de estos sistemas modificados resulta especialmente relevante en regiones donde los humedales naturales han sido ampliamente reducidos y los ambientes acuáticos remanentes constituyen los principales refugios para la biodiversidad (Zedler & Kercher, 2005; Mitsch & Gosselink, 2015).

La condición ecológica de los sistemas fluviales modificados está fuertemente influenciada por los usos del suelo en sus cuencas. La agricultura intensiva aporta cargas difusas de nutrientes, sedimentos

y agroquímicos, mientras que las áreas urbanas contribuyen con escorrentía contaminada, materia orgánica y alteraciones hidrológicas. Estas presiones suelen dar lugar a comunidades biológicas simplificadas y dominadas por taxones tolerantes, un patrón ampliamente documentado en arroyos agrícolas y urbanos (Allan, 2004; Walsh et al., 2005; Foley et al., 2005). No obstante, procesos longitudinales como la dilución, la sedimentación, la transformación biogeoquímica y la conectividad hidrológica pueden atenuar parcialmente estos impactos hacia los tramos inferiores, generando gradientes espaciales en la condición ecológica (Allan & Castillo, 2007; Dodds & Oakes, 2008).

La evaluación del funcionamiento de estos sistemas requiere enfoques integradores que consideren múltiples grupos biológicos. Diferentes taxones responden a las perturbaciones ambientales en escalas espaciales y temporales distintas, por lo que los análisis basados en un único grupo pueden proporcionar evaluaciones parciales o sesgadas. En este sentido, los enfoques multi-taxa y el análisis de la congruencia entre grupos biológicos han sido propuestos como herramientas robustas para evaluar patrones ecológicos y gradientes ambientales a escala de paisaje y cuenca (Heino, 2010; Soininen et al., 2015).

El Arroyo Canal Candelaria (ACC), ubicado en el sur de la provincia de Santa Fe (Argentina), constituye un ejemplo representativo de sistema fluvial canalizado desarrollado sobre una depresión natural asociada a ambientes de humedal y actualmente inserto en una matriz agrícola y urbana intensamente transformada (Thalmeier & Brunetto, 2026). A pesar de su fuerte modificación hidromorfológica y de las presiones antrópicas presentes en su cuenca, el sistema mantiene conectividad hidrológica con el Arroyo Saladillo, un curso de mayor jerarquía y con estatus de conservación, lo que sugiere un posible

rol en el mantenimiento de procesos ecológicos y biodiversidad a escala regional (Biasatti, 2015).

En este contexto, el objetivo de este trabajo fue caracterizar patrones espaciales de biodiversidad y condición ecológica a lo largo del gradiente longitudinal del Arroyo Canal Candelaria, integrando información de macroinvertebrados bentónicos, herpetofauna, aves y mamíferos medianos y grandes. La condición ecológica fue abordada principalmente a partir de indicadores biológicos, incluyendo patrones de riqueza taxonómica e índices bióticos bentónicos, sin pretender reemplazar una evaluación fisicoquímica integral del agua. Como supuesto de trabajo, se espera que los tramos con menor presión antrópica relativa y mayor continuidad hidrológica presenten mayor riqueza biológica y mejores valores de los indicadores bentónicos.

MATERIALES Y MÉTODO

Área de estudio

El estudio se realizó en la cuenca del Arroyo Canal Candelaria (ACC), ubicada en el sur de la provincia de Santa Fe, Argentina, dentro de la región de la Pampa Húmeda. El ACC constituye un sistema fluvial altamente modificado desarrollado sobre una depresión natural asociada históricamente a ambientes de humedal y posteriormente canalizado para mejorar el drenaje y reducir el riesgo de inundaciones en un paisaje intensamente transformado por actividades agrícolas y urbanas. Este tipo de sistemas representa una forma frecuente de modificación hidrológica en llanuras agrícolas, donde la canalización altera la morfología, el régimen hidrológico y las condiciones ecológicas de los cursos de agua (Viglizzo et al., 2011; Wohl et al., 2015).

El curso principal tiene una longitud aproximada de 42 km y se origina en las proximidades de la localidad de Sanford

(33°08'42"S 61°16'42"W), a partir de la confluencia de los canales Perimetrales Norte y Sur. La cuenca del ACC abarca una superficie cercana a 935 km² y presenta un marcado gradiente longitudinal de condiciones ambientales y de uso del suelo.

El clima regional es templado húmedo, con precipitaciones medias anuales de aproximadamente 966 mm, concentradas principalmente durante el período estival. Este régimen pluviométrico determina una elevada variabilidad hidrológica y condiciona la dinámica de los ambientes de llanura y humedales asociados, caracterizados por pulsos de inundación y períodos de retracción (Biasatti et al., 2015).

A lo largo del sistema se definieron tres unidades espaciales asociadas al cauce: cuenca alta (sitios 1 y 2), cuenca media (sitios 3 y 4) y cuenca baja (sitios 5 y 6) (Figura 1). La cuenca alta se desarrolla en una matriz predominantemente agrícola, con cultivos extensivos, escasa vegetación ribereña y un cauce de pequeñas dimensiones y bajo caudal. La cuenca media atraviesa el área urbana de la ciudad de Casilda (33°02'39"S 61°10'05"W), donde el sistema presenta mayor ancho y profundidad, así como incrementos en el caudal asociados a aportes pluviales y descargas urbanas.

La cuenca baja se localiza en un entorno rural con predominio de sistemas ganaderos y un menor grado de intervención relativa, presentando mayor continuidad hidrológica y heterogeneidad de hábitats.

Se establecieron seis estaciones de muestreo distribuidas a lo largo del gradiente longitudinal: estación 1 (33°08'16.8" S, 61°16'12.0" W), estación 2 (33°05'27.6" S, 61°13'22.8" W), estación 3 (33°03'03.6" S, 61°09'32.4" W), estación 4 (33°02'09.6" S, 61°07'33.6" W), estación 5 (33°06'00.0" S, 61°02'42.0" W) y estación 6 (33°09'18.0" S, 60°56'34.8" W).

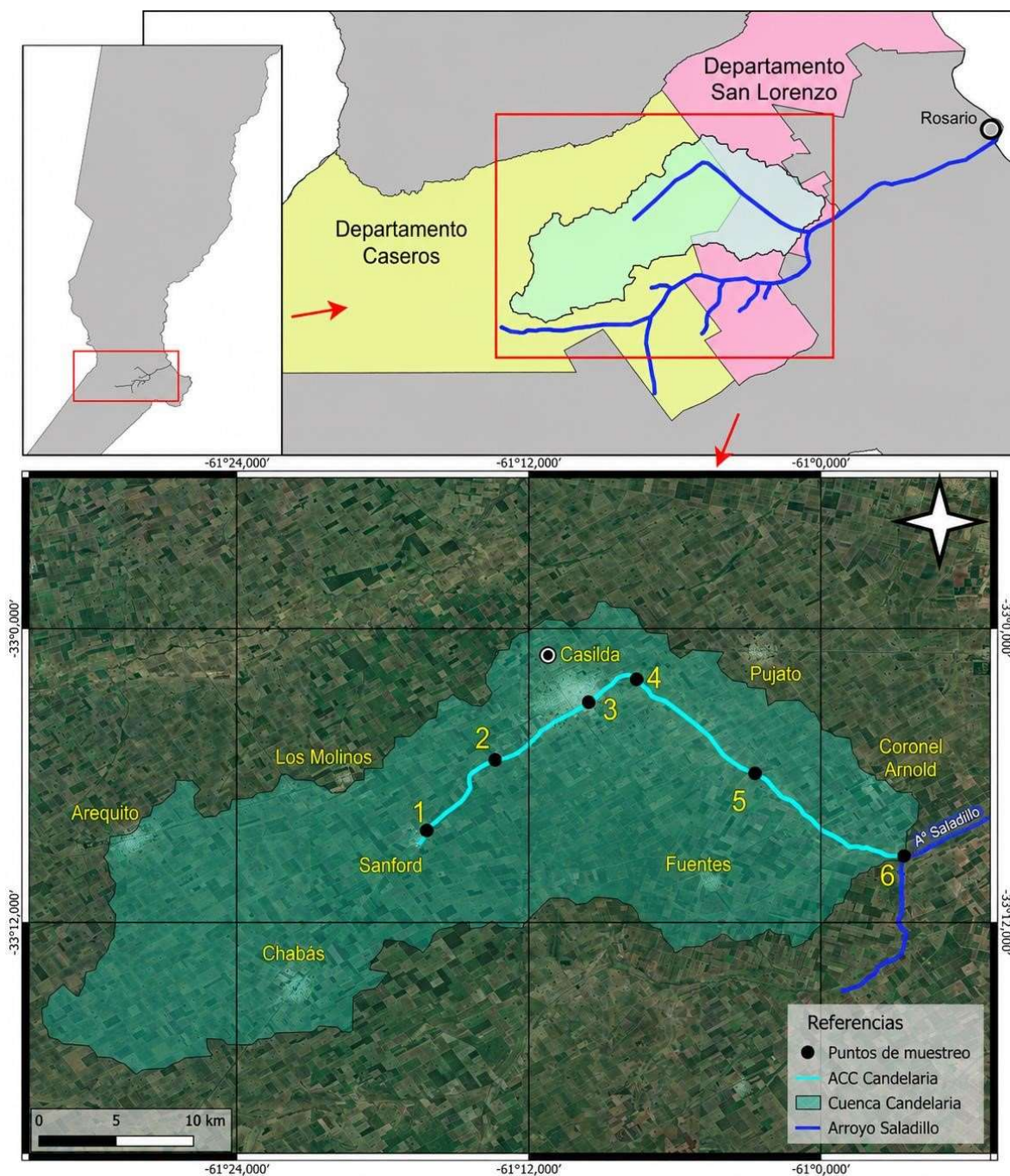


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Localización de la cuenca del Arroyo Canal Candelaria en el sur de la provincia de Santa Fe, Argentina. Se indican el curso principal del ACC, la cuenca Candelaria, los seis puntos de muestreo, la ciudad de Casilda y la conexión con el Arroyo Saladillo.

El Arroyo Canal Candelaria converge en el Arroyo Saladillo (33° 9'19.68"S, 60°56'33.48"W), un curso de mayor jerarquía hidrológica que cuenta con categoría de conservación como Reserva Hídrica Natural (Decreto N° 2143/2015). Esta conexión resalta el papel potencial del ACC como componente de conectividad hidrológica y biológica dentro de la red de drenaje regional, en un contexto de paisajes altamente antropizados donde los sistemas fluviales modificados pueden conservar funciones ecológicas residuales (Bernhardt & Palmer, 2011; Grill et al., 2019; Biasatti & Rimoldi, 2022).

Diseño de muestreo

El estudio se desarrolló entre los años 2023 y 2025 mediante un enfoque multi-taxa orientado a evaluar la condición ecológica del sistema a lo largo de un gradiente longitudinal. Se establecieron seis estaciones de muestreo distribuidas a lo largo del Arroyo Canal Candelaria (ACC) y agrupadas en tres unidades espaciales: cuenca alta (sitios 1–2), cuenca media (sitios 3–4) y cuenca baja (sitios 5–6).

El diseño del estudio se basó en la comparación espacial entre estas unidades, consideradas representativas de distintos contextos de uso del suelo y niveles de presión antrópica. Bajo este enfoque, el análisis priorizó la detección de patrones longitudinales consistentes entre grupos biológicos, más que la evaluación de variaciones temporales.

Los distintos componentes biológicos (macroinvertebrados bentónicos, herpetofauna, aves y mamíferos) fueron muestreados mediante protocolos específicos y por equipos de trabajo independientes, en el marco de estudios desarrollados dentro del mismo proyecto de investigación. Las campañas de campo se realizaron en diferentes momentos dentro del período 2023–2025 y no fueron estrictamente simultáneas entre grupos.

Dado que el objetivo del presente trabajo fue identificar patrones espaciales

robustos a escala de cuenca, las comparaciones se realizaron a nivel de unidades longitudinales (alta, media y baja), integrando la información disponible para cada grupo. Este enfoque ha sido ampliamente utilizado en evaluaciones ecológicas multi-taxa, donde la consistencia espacial entre indicadores constituye una señal de condición ecosistémica aun cuando los muestreos no coincidan temporalmente (Heino, 2010; Birk et al., 2012; Soininen et al., 2015; Dudgeon et al., 2019).

Para cada grupo biológico se estimaron métricas de riqueza y/o diversidad a nivel de sitio, las cuales fueron posteriormente agregadas por unidad longitudinal. En el caso de los macroinvertebrados bentónicos, además se calcularon índices bióticos de calidad ecológica. Los detalles metodológicos específicos para cada grupo se describen en las subsecciones correspondientes.

El ACC fue seleccionado como estudio de caso por representar un sistema arroyo–canal típico de la región pampeana Argentina, donde la red de drenaje ha sido intensamente modificada para el control hídrico en paisajes agrícolas y urbanos. Este tipo de abordaje de cuenca única resulta apropiado para evaluaciones exploratorias e integradoras orientadas a la comprensión del funcionamiento ecológico de sistemas altamente transformados y a la generación de información de base para la gestión.

Componentes biológicos

Macroinvertebrados bentónicos

El muestreo de macroinvertebrados se realizó en los seis sitios establecidos a lo largo del ACC, siguiendo criterios estandarizados para ambientes lóticos de la región (Domínguez & Fernández, 2009). En cada sitio se relevó un tramo vadeable de 10 m de longitud, explorando distintos microhábitats presentes tanto en el cauce central como en las márgenes, con el fin de capturar la heterogeneidad ambiental.

La colecta se efectuó mediante una red de mano triangular (25 × 34 × 34 cm) con malla de 250 µm, aplicada en sectores con vegetación sumergida, variación de sustrato y estructuras de refugio. En cada sitio se extrajo aproximadamente 125 cm³ de sedimento superficial, el cual fue fijado en formol al 10 % para su posterior procesamiento en laboratorio.

En el sitio 6, la presencia de tosca compacta y sectores profundos limitó parcialmente la eficiencia de muestreo. Para reducir este sesgo se incrementó el número de barridos en áreas accesibles y se realizaron raspados manuales del sustrato disponible, aunque la eficiencia de colecta pudo haber sido menor respecto de otros sitios.

Las muestras incluyeron sedimento superficial y material vegetal asociado, recolectados en sectores someros (<40 cm de profundidad) y con baja velocidad de corriente, que representan los microhábitats predominantes del sistema.

Herpetofauna (anfibios y reptiles)

La herpetofauna fue relevada mediante muestreos estacionales realizados entre junio de 2024 y junio de 2025, abarcando las cuatro estaciones del año. En cada sitio se aplicaron transectas con búsqueda visual estandarizada (Visual Encounter Surveys), recorriendo lentamente sectores de ribera y hábitats adyacentes, incluyendo pastizales, bordes de cultivo, cunetas y cuerpos de agua temporarios.

Cada campaña tuvo una duración aproximada de 2 horas por sitio, manteniendo un esfuerzo de muestreo similar entre cuencas y estaciones. Con el fin de maximizar la detectabilidad, se realizaron recorridos tanto diurnos como nocturnos, considerando los patrones diferenciales de actividad de anfibios y reptiles.

Este método es ampliamente utilizado para el relevamiento de herpetofauna en estudios de diversidad y monitoreo en campo (Heyer et al., 1994; Mazerolle et al., 2007).

Aves

La comunidad de aves fue evaluada mediante conteos por puntos fijos (Ralph et al., 1995). En cada tramo longitudinal se establecieron dos puntos de muestreo, totalizando los seis puntos preestablecidos para la cuenca.

Cada punto fue visitado una vez por estación (invierno, primavera, verano y otoño), resultando en un total de 24 muestreos en el periodo 2024-2025. En cada visita se registraron todas las especies detectadas visual o auditivamente dentro de un radio de 50 m durante 10 minutos.

Los relevamientos se realizaron durante las primeras horas de la mañana y bajo condiciones climáticas favorables, con el fin de maximizar la detectabilidad y obtener información representativa sobre la composición y abundancia de la comunidad, incluyendo especies migratorias.

Los registros incluyeron individuos detectados visualmente o por vocalización dentro del radio definido, evitando el doble conteo mediante el seguimiento de desplazamientos durante el período de observación.

Este método constituye uno de los enfoques más utilizados para el monitoreo de comunidades de aves y permite comparaciones espaciales y temporales cuando el esfuerzo de muestreo se mantiene estandarizado (Ralph et al., 1995; Johnson, 2008).

Mamíferos medianos y grandes

Los mamíferos medianos y grandes (en general ≥1000 g.) fueron muestreados mediante campañas estacionales realizadas entre julio de 2024 y junio de 2025, con el objetivo de representar la variabilidad temporal en la actividad y detectabilidad de las especies.

El estudio se desarrolló en las seis estaciones de muestreo establecidas para el ACC. En cada estación se definió una transecta de aproximadamente 3 km de longitud, recorriendo el cauce del arroyo-canal y áreas adyacentes hasta 50

m de ancho, consideradas como el límite efectivo de detección de rastros. Los recorridos se realizaron durante el período diurno, a baja velocidad, aproximadamente 1 km/h, registrando evidencias directas e indirectas de presencia.

El relevamiento se basó en un enfoque metodológico combinado que incluyó: (1) registro de huellas y signos de actividad (excretas, madrigueras, restos), (2) observaciones directas, y (3) cámaras trampa para la detección de especies crípticas o de hábitos nocturnos. Los registros fueron georreferenciados y documentados fotográficamente, y la identificación taxonómica se realizó utilizando guías de campo y colecciones de referencia.

Las cámaras trampa permanecieron activas durante períodos de entre 7 y 10 días por campaña, sin el uso de cebos, y se ubicaron en sitios con evidencias previas de actividad.

Este enfoque integrado es ampliamente utilizado para el estudio de mamíferos de mediano y gran tamaño en ambientes altamente antropizados, lo que permite maximizar la detectabilidad de especies con diferentes hábitos ecológicos (Rimoldi, 2015; Rimoldi & Chimento, 2018).

Análisis de datos

Dado el carácter multi-taxa del estudio y las diferencias metodológicas inherentes a los protocolos de muestreo de cada grupo biológico, el análisis se basó en métricas de riqueza específica como variable común de comparación entre unidades espaciales.

Para cada grupo (macroinvertebrados, herpetofauna, aves y mamíferos), se estimó la riqueza de taxa registrada en cada sitio y posteriormente se agregaron los valores a nivel de unidad longitudinal (cuenca alta, media y baja). Este enfoque permitió evaluar patrones espaciales comparables entre grupos con distintos niveles de detectabilidad y esfuerzo de muestreo.

Para la caracterización de la condición ecológica acuática se calcularon distintos índices bióticos basados en la tolerancia diferencial de las familias de macroinvertebrados: el índice BMWP adaptado (IBMWP) y su correspondiente Average Score Per Taxon (ASPT), el Índice Biótico de Familias de Hilsenhoff (IBF) y el Índice Biológico Pampeano (IBPamp). Estos índices asignan valores de sensibilidad o tolerancia a cada familia, permitiendo inferir el grado de alteración ambiental a partir de la composición de la comunidad bentónica. En este trabajo, los índices bióticos fueron utilizados como indicadores biológicos indirectos de la condición ecológica del sistema, y no como reemplazo de una evaluación fisicoquímica integral del agua. El IBPamp constituye una adaptación regional desarrollada para arroyos de llanura de la región pampeana, donde la riqueza natural de

Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera es baja (Armitage et al., 1983; Alba-Tercedor & SánchezOrtega, 1988; Hilsenhoff, 1988; Rodríguez Capítulo et al., 2003).

Si bien durante el desarrollo general del proyecto se realizaron mediciones fisicoquímicas puntuales del agua, estas no fueron incorporadas al presente análisis debido a que no coincidieron estrictamente con los mismos sitios, momentos y unidades de comparación utilizados para la integración multitaxa. Por este motivo, las inferencias sobre condición ecológica se basan principalmente en indicadores biológicos, especialmente en la riqueza taxonómica de los grupos relevados y en la respuesta de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos. En consecuencia, los índices bióticos utilizados deben interpretarse como aproximaciones biológicas indirectas a la condición ecológica acuática, y no como una evaluación fisicoquímica integral de la calidad del agua. El análisis se orientó a la identificación de patrones espaciales y tendencias longitudinales en la condición

ecológica del sistema. Dado el carácter integrador del estudio y las diferencias metodológicas entre grupos biológicos, se priorizó la interpretación de resultados a partir de métricas de riqueza y de la consistencia de los patrones observados, sin aplicar análisis estadísticos inferenciales.

RESULTADOS

Patrones longitudinales de riqueza biológica

La riqueza taxonómica mostró una tendencia longitudinal clara en la mayoría de los grupos evaluados, con valores mínimos en la cuenca alta y un incremento progresivo hacia la cuenca baja (Tabla 1, Figura 2). Se observaron tendencias longitudinales similares entre organismos acuáticos y terrestres, aunque con diferencias en la magnitud de respuesta entre taxones.

En macroinvertebrados bentónicos, la riqueza de familias aumentó desde valores bajos en la cuenca alta (4–5 familias) hasta valores máximos en la cuenca baja (10–11 familias). De manera similar, la herpetofauna presentó un incremento marcado a lo largo del gradiente, pasando de 7 especies en la cuenca alta a 17 y 18 especies en las cuencas media y baja, respectivamente.

La comunidad de aves mostró el patrón más evidente de aumento longitudinal, con 40 especies registradas en la cuenca alta, 49 en la cuenca media y 75 en la cuenca baja.

En el caso de los mamíferos medianos y grandes, la riqueza fue mayor en la cuenca baja (9 especies), aunque se

observó un mínimo en la cuenca media (2 especies), inferior a los valores registrados en la cuenca alta (4 especies).

En conjunto, los resultados sugieren la presencia de una tendencia longitudinal a lo largo del sistema.

La magnitud del cambio longitudinal fue comparable entre los distintos grupos biológicos. Considerando el cambio relativo entre las cuencas alta y baja, la riqueza aumentó aproximadamente un 133% en macroinvertebrados (familias), 157% en herpetofauna, 87,5% en aves y 125% en mamíferos. En este último grupo se observó una disminución intermedia en la cuenca media, asociada al tramo urbano del sistema.

Gradiente longitudinal de condición ecológica acuática

En el sistema del Arroyo Canal Candelaria (ACC) se recolectaron 6.584 individuos de invertebrados acuáticos, distribuidos en 22 familias y en varios grupos de nivel taxonómico superior (oligoquetos, nematodos, copépodos, ostrácodos e hirudíneos). La comunidad mostró un marcado predominio de unos pocos grupos: copépodos (22,6 %), oligoquetos (16,9 %), nematodos (14,3 %) y quironómidos (14,2 %), que en conjunto representaron más de dos tercios de los organismos registrados. A ellos se sumaron, con menor importancia relativa, ostrácodos (8,3 %) e hidrobíidos (5,9 %), reflejando una comunidad dominada por taxa resistentes, aunque con cierta diversidad de linajes.

Tabla 1. Riqueza por unidad longitudinal y cambio relativo (cuenca alta → cuenca baja).

Grupo	Cuenca alta	Cuenca media	Cuenca baja	Δ% (Alta→Baja)
Macroinvertebrados (familias)	4.5	6	10.5	133
Herpetofauna (especies)	7	17	18	157
Aves (especies)	40	49	75	88
Mamíferos (especies)	4	2	9	125

Nota: En macroinvertebrados se utilizó el valor medio de los rangos reportados.

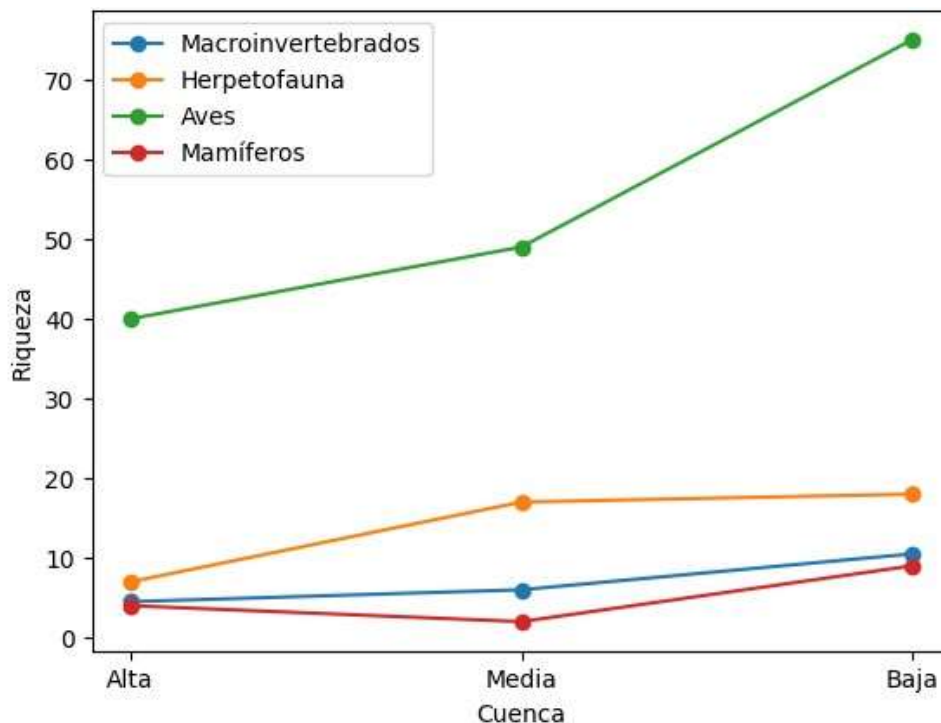


Figura 2. Variación longitudinal de la riqueza de macroinvertebrados bentónicos, herpetofauna, aves y mamíferos medianos y grandes en las cuencas alta, media y baja del Arroyo Canal Candelaria, sur de Santa Fe, Argentina. Para macroinvertebrados se expresa la riqueza de familias; para los restantes grupos, la riqueza de especies.

La riqueza de familias en el arroyo mostró una notable variación espacial, con un rango de entre 3 y 11 familias por muestra y promedios que oscilaron entre 4 y casi 7 familias según el sitio. La diversidad, estimada mediante el índice de Shannon–Wiener, también presentó una marcada variación longitudinal. Los valores más bajos se registraron en la cuenca alta, donde las comunidades estuvieron representadas por una baja riqueza de familias y una elevada dominancia de grupos tolerantes, principalmente oligoquetos, nematodos, copépodos y quironómidos. Este patrón indica una comunidad bentónica simplificada, con baja equitatividad y predominio de organismos resistentes a condiciones ambientales alteradas. En la cuenca media, correspondiente al tramo urbano del sistema, los valores de

diversidad mostraron una situación intermedia, aunque todavía condicionada por la dominancia de taxones tolerantes. Esta respuesta sugiere que el aumento del caudal y de la complejidad del cauce en el tramo urbano no se traduce necesariamente en una mejora equivalente de la estructura comunitaria, probablemente debido a la persistencia de aportes de escorrentía urbana, materia orgánica y alteraciones hidromorfológicas. Los valores más altos de Shannon–Wiener se registraron en la cuenca baja, donde la comunidad presentó mayor riqueza de familias y una distribución más equitativa de los organismos. En términos numéricos, el índice osciló entre 0,47 y 2,23, equivalentes a 0,68–3,22 bits en base 2. Este incremento hacia los tramos inferiores sugiere una mejora relativa en

la estructura de la comunidad bentónica, aunque la presencia dominante de organismos tolerantes en gran parte del sistema indica que dicha recuperación es parcial.

A partir de la abundancia y presencia de macroinvertebrados en cada punto de muestreo, se calcularon diferentes índices bióticos comúnmente utilizados para evaluar la calidad ecológica de los sistemas lóticos.

Estos índices reflejaron una condición ecológica general degradada a lo largo del sistema. El índice BMWP presentó valores cercanos a 45 en la cuenca alta, correspondientes a mala calidad, y se mantuvo dentro de esta categoría en gran parte del tramo medio. Sólo un sitio de la cuenca baja mostró una mejora relativa con valores cercanos a 70, indicando una condición moderada. En el mismo sentido, el índice IBF registró valores elevados ($\approx 7,2-9,5$) en todos los sitios, lo que indica dominancia de organismos tolerantes y sugiere una carga orgánica significativa en el sistema. El índice ASPT mostró valores uniformemente bajos ($\approx 3,0-3,3$), confirmando la prevalencia de familias de baja sensibilidad.

El índice regional IBPamp mostró un patrón más favorable, con valores de 6–7 (calidad regular) en las cuencas alta y media y valores de 8–10 (buena a muy buena calidad) en la cuenca baja. En conjunto, los resultados sugieren un gradiente longitudinal de mejora en la condición ecológica hacia la desembocadura, aunque con persistencia de comunidades dominadas por taxa tolerantes, lo que indica una recuperación parcial del sistema.

DISCUSIÓN

Los resultados del presente estudio muestran una tendencia longitudinal de mejora relativa en la condición ecológica del Arroyo Canal Candelaria, reflejada en el incremento de la riqueza biológica hacia los tramos inferiores y en patrones espaciales similares entre múltiples

grupos indicadores. Esta tendencia fue observada tanto en organismos acuáticos, a través de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados y de los índices bióticos bentónicos, como en vertebrados terrestres y semiacuáticos, incluyendo herpetofauna, aves y mamíferos medianos y grandes. En conjunto, estos resultados sugieren que, a pesar del alto grado de modificación hidromorfológica y de las presiones antrópicas que afectan al sistema, el ACC mantiene atributos ecológicos relevantes y muestra señales de recuperación parcial a escala de cuenca.

Recuperación longitudinal y procesos de autodepuración

El incremento de la riqueza biológica y la mejora relativa de los indicadores bentónicos hacia la cuenca baja sugieren la existencia de procesos de recuperación longitudinal asociados a la dinámica hidrológica del sistema. En cursos de llanura sometidos a cargas difusas de origen agrícola y urbano, la atenuación progresiva de contaminantes a lo largo del eje longitudinal puede explicarse por mecanismos combinados de dilución, sedimentación, transformación biogeoquímica y asimilación biológica (Allan & Castillo, 2007; Dodds & Oakes, 2008).

En el ACC, la mejora observada en los tramos inferiores coincide con un aumento del caudal efectivo y con una mayor continuidad hidrológica, condiciones que favorecen la reducción de la concentración de materia orgánica y nutrientes, así como la recuperación parcial de la estructura comunitaria. Este patrón fue particularmente evidente en los macroinvertebrados, donde los índices bióticos mostraron valores más favorables en la cuenca baja, y en los vertebrados, cuya riqueza alcanzó los valores máximos en este sector.

Adicionalmente, la proximidad de los tramos inferiores a la confluencia con el Arroyo Saladillo —un sistema de mayor jerarquía hidrológica y con estatus de

conservación— podría contribuir a la mejora de las condiciones ecológicas mediante procesos de intercambio hidrológico y biológico. La conectividad con cursos de mayor calidad ambiental ha sido señalada como un factor clave para la recolonización y el mantenimiento de la biodiversidad en sistemas fluviales degradados (Tonkin et al., 2018). En conjunto, estos resultados indican que, aun bajo condiciones de presión antrópica persistente, el ACC presenta una capacidad de recuperación parcial a lo largo de su gradiente longitudinal, asociada a procesos naturales de autodepuración y a su integración dentro de la red hidrográfica regional.

Influencia del uso del suelo sobre el gradiente ecológico

El patrón longitudinal observado en la riqueza biológica y en los indicadores bentónicos se encuentra estrechamente asociado al gradiente de uso del suelo presente en la cuenca del ACC. La cuenca alta, dominada por agricultura intensiva, mostró las condiciones ecológicas más degradadas, con baja riqueza de macroinvertebrados y vertebrados y comunidades dominadas por taxa tolerantes. En paisajes agrícolas de llanura, los aportes difusos de sedimentos, nutrientes y agroquímicos constituyen una de las principales fuentes de deterioro de los sistemas fluviales, afectando la calidad del agua y la estructura de las comunidades acuáticas (Allan, 2004; Foley et al., 2005).

En la cuenca media, donde el sistema atraviesa el área urbana de la ciudad de Casilda, la condición ecológica se mantuvo igualmente comprometida. En este tramo, el incremento del caudal asociado a aportes pluviales y a descargas urbanas no se tradujo en una mejora de la calidad biológica, lo que sugiere una combinación de efectos derivados de escorrentía urbana, aportes de materia orgánica y contaminantes, y alteraciones hidromorfológicas del canal. Los sistemas fluviales urbanos suelen presentar comunidades empobrecidas y

dominadas por organismos tolerantes, fenómeno ampliamente documentado como “síndrome del arroyo urbano” (Walsh et al., 2005).

En contraste, la cuenca baja mostró una mejora relativa en la mayoría de los indicadores, coincidente con un cambio en el uso del suelo hacia sistemas ganaderos extensivos y una menor intensidad de intervención. La reducción de la presión antrópica directa, junto con una mayor continuidad hidrológica y heterogeneidad de hábitats, probablemente favorece el establecimiento de comunidades más diversas en este sector.

En conjunto, estos resultados sugieren que el gradiente ecológico del ACC refleja la interacción entre procesos longitudinales propios del sistema y el patrón espacial de presiones antrópicas, donde la combinación de agricultura intensiva y urbanización genera los niveles más altos de degradación, mientras que sectores con menor intensidad de uso permiten una recuperación parcial de la biota.

El Arroyo Canal Candelaria como sistema híbrido con legado de humedal

Los resultados obtenidos deben interpretarse en el contexto del origen geomorfológico y ecológico del sistema. Aunque el ACC presenta actualmente una morfología canalizada y ha sido intensamente modificado con fines de drenaje, su trazado se desarrolló sobre una depresión natural asociada a ambientes de humedal de llanura. Esta condición sugiere que el sistema conserva un legado ambiental que influye en su funcionamiento ecológico actual.

En sistemas de llanura, las modificaciones hidromorfológicas no necesariamente eliminan por completo los procesos ecológicos originales, sino que pueden dar lugar a ecosistemas híbridos, donde coexisten características artificiales y funciones propias del sistema natural previo (Hobbs et al., 2009; Morse et al., 2014). En el caso del ACC, la presencia de sectores con mayor

heterogeneidad de hábitats, vegetación asociada y conectividad hidrológica en los tramos inferiores podría reflejar la persistencia parcial de estas condiciones. La mejora observada en la riqueza biológica y en algunos indicadores de calidad hacia la cuenca baja sugiere que este legado ambiental, combinado con una menor intensidad de uso del suelo, permite la expresión de procesos ecológicos que favorecen la recuperación parcial de la biota. En este sentido, el ACC puede interpretarse como una infraestructura ecológica residual dentro de un paisaje altamente transformado, con capacidad para sostener biodiversidad y contribuir a la conectividad biológica regional.

Limitaciones del estudio

Si bien los resultados obtenidos muestran patrones espaciales consistentes a lo largo del gradiente longitudinal, es importante considerar algunas limitaciones metodológicas inherentes al diseño del estudio.

En primer lugar, los distintos grupos biológicos fueron muestreados mediante protocolos específicos y en campañas no estrictamente simultáneas. No obstante, todos los relevamientos se realizaron dentro de un mismo marco temporal (2023–2025) y bajo un enfoque estacional, lo que permitió capturar la variabilidad anual de las comunidades y minimizar posibles sesgos asociados a eventos puntuales o condiciones excepcionales.

En segundo lugar, las metodologías de muestreo difirieron entre grupos, reflejando las particularidades ecológicas y operativas de cada taxón. Para reducir la influencia de estas diferencias, el análisis se basó en métricas de riqueza y en la agregación de resultados a escala de cuenca, priorizando la identificación de patrones espaciales robustos por sobre comparaciones directas entre grupos.

Asimismo, el estudio se orientó principalmente a la evaluación espacial de la condición ecológica y no a la detección de tendencias temporales. En

este sentido, los resultados deben interpretarse como una caracterización integrada del estado del sistema durante el período de estudio.

Finalmente, en el caso de los macroinvertebrados, las características del sustrato en algunos sectores, particularmente en el sitio 6, pudieron haber reducido parcialmente la eficiencia de colecta. En este punto se registró la presencia de tosca compacta, sectores más profundos y menor disponibilidad de sedimentos finos accesibles, condiciones que limitaron el uso homogéneo de la red de mano y obligaron a complementar el muestreo con barridos en sectores accesibles y raspados manuales del sustrato disponible. Por lo tanto, la riqueza local y los valores de algunos índices biológicos podrían haber sido subestimados en ese sitio.

A pesar de estas limitaciones, la consistencia observada entre múltiples grupos biológicos y su coincidencia con los indicadores biológicos bentónicos sugieren que los patrones detectados reflejan tendencias ecológicas reales a escala de cuenca.

Asimismo, al tratarse de un único sistema, los resultados deben interpretarse como una caracterización de estudio de caso. No obstante, las condiciones ambientales del ACC son representativas de numerosos sistemas de drenaje de la región pampeana, lo que sugiere que los patrones observados pueden ser relevantes para la comprensión del funcionamiento de cursos de agua modificados en paisajes agrícolas.

Implicancias para la gestión y la conservación

Los patrones observados en el ACC sugieren que, a pesar de su alto grado de modificación y de las presiones antrópicas asociadas al uso agrícola y urbano del territorio, el sistema mantiene atributos ecológicos relevantes y podría actuar como un componente de conectividad dentro del paisaje regional. El incremento de la riqueza biológica hacia la cuenca baja y la coincidencia de

tendencias entre múltiples grupos indicadores sugieren que el curso conserva condiciones ambientales que favorecen la presencia de distintas especies y la persistencia de comunidades biológicas a escala de cuenca.

En paisajes altamente transformados, donde los remanentes de ambientes naturales son escasos y fragmentados, los cursos de agua y sus zonas de influencia pueden constituir elementos clave para la conectividad del paisaje, facilitando el movimiento de organismos y la persistencia de la biodiversidad (Naiman et al., 1993; Tockner et al., 2003). En el caso del ACC, su conexión con el Arroyo Saladillo, un sistema de mayor jerarquía hidrológica y con estatus de conservación, refuerza su potencial como vía de intercambio biológico dentro de la red hidrográfica regional.

Estos resultados resaltan la importancia de considerar a los sistemas fluviales modificados dentro de las estrategias de ordenamiento territorial y gestión ambiental. Aun cuando no presenten condiciones prístinas, estos ambientes pueden contribuir a la conservación de la biodiversidad si se implementan medidas orientadas a reducir las cargas contaminantes, mejorar la calidad del hábitat ribereño, conservar la vegetación de borde y mantener la conectividad longitudinal.

Desde una perspectiva de gestión, el reconocimiento del ACC como componente potencial de conectividad ecológica refuerza la necesidad de promover enfoques integrados de manejo de cuencas, que contemplen la interacción entre usos del suelo, condición ecológica acuática, hábitat ribereño y conservación de la biodiversidad en contextos de producción intensiva.

En la región pampeana, donde gran parte de la red hidrográfica ha sido transformada en sistemas de drenaje artificiales o semiartificiales, los ambientes arroyo-canal representan una proporción significativa de los

ecosistemas acuáticos disponibles. En este contexto, los patrones observados en el ACC pueden considerarse relevantes para comprender el funcionamiento de cursos de agua modificados en paisajes agrícolas y urbanos, sin perder de vista que se trata de un estudio de caso. La tendencia de recuperación observada sugiere que el sistema podría contribuir a procesos de fragmentación inversa, entendida como la recuperación parcial de conectividad ecológica en matrices productivas altamente simplificadas. Mientras que en los paisajes agrícolas la tendencia dominante es la fragmentación de hábitats naturales, en el Arroyo Canal Candelaria el gradiente longitudinal y su conexión con el Arroyo Saladillo podrían favorecer la integración de parches de biodiversidad en un continuo biológico. Este proceso permite interpretar a ciertas infraestructuras de drenaje no solo como obras hidráulicas, sino también como componentes con potencial ecológico dentro de estrategias de restauración, conectividad y ordenamiento territorial.

Más que como un sistema degradado en términos estrictos, el Arroyo Canal Candelaria puede interpretarse como un sistema fluvial modificado en el que coexisten procesos de alteración ambiental y reorganización ecológica parcial. En este sentido, los resultados obtenidos permiten revalorizar el rol de los sistemas de drenaje como componentes activos del paisaje, y no únicamente como infraestructuras hidráulicas.

CONCLUSIONES

El Arroyo Canal Candelaria presenta patrones espaciales compatibles con una mejora relativa de la condición ecológica hacia los tramos inferiores, evidenciada por el incremento de la riqueza biológica y por respuestas parcialmente coincidentes entre macroinvertebrados bentónicos, herpetofauna, aves y mamíferos medianos y grandes. Estos resultados indican que, aun en sistemas

fluviales altamente modificados, pueden persistir atributos ecológicos relevantes y comunidades biológicas asociadas al gradiente longitudinal de la cuenca.

La información obtenida permite reconocer al ACC como un sistema arroyo-canal con valor ecológico dentro de un paisaje agrícola intensamente transformado. Su conexión con el Arroyo Saladillo y la mayor riqueza registrada en los tramos inferiores sugieren que podría contribuir a la conectividad biológica regional, aunque esta función potencial requiere ser evaluada mediante estudios específicos de conectividad funcional, desplazamiento de organismos y dinámica poblacional. En este contexto, los sistemas arroyo-canal adquieren importancia no solo como infraestructuras de drenaje, sino también como ambientes relevantes para el diagnóstico, la gestión y la restauración ecológica en paisajes pampeanos. La incorporación de estos cursos modificados en estrategias de

manejo de cuencas podría contribuir a conservar hábitats remanentes, mejorar la calidad del hábitat ribereño y fortalecer procesos de recuperación ecológica en matrices productivas altamente simplificadas.

DISPONIBILIDAD DE DATOS Y CÓDIGO

Los datos que sustentan los resultados de este estudio están disponibles en el repositorio Zenodo:
<https://doi.org/10.5281/zenodo.18719412>

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo logístico e institucional del Centro de Estudios Ambientales en Veterinaria (CEAV) y la colaboración de estudiantes y asistentes de campo.

BIBLIOGRAFÍA

Alba-Tercedor, J., & Sánchez-Ortega, A. (1988). Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnetica*, 4, 51–56.

Allan, J. D. (2004). Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems.

Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 35, 257–284.

<https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122>

Allan, J. D., & Castillo, M. M. (2007). *Stream ecology: Structure and function of running waters* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5583-6>

Armitage, P. D., Moss, D., Wright, J. F., & Furse, M. T. (1983). The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research*, 17(3), 333–347. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(83\)90188-4](https://doi.org/10.1016/0043-1354(83)90188-4)

Bernhardt, E. S., & Palmer, M. A. (2011). River restoration: The fuzzy logic of repairing reaches to reverse catchment scale degradation. *Ecological Applications*, 21(6), 1926–1931. <https://doi.org/10.1890/10-1574.1>

Biasatti, N. R. (Comp.). (2015). *Las ecorregiones: su conservación y las áreas naturales protegidas de la provincia de Santa Fe*. Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable.

Biasatti, N. R., & Rimoldi, P. G. (2022). Paradojas de la conservación de biodiversidad en los agroecosistemas pampeanos: La fragmentación inversa. *Studies in Environmental and Animal Sciences*, 3(3), 1582–1589. <https://doi.org/10.54020/seasv3n3-021>

- Biasatti, N. R., & Rimoldi, P. G. (2025). *Biodiversidad: Alternativas para su conservación en ecosistemas severamente antropizados: La fragmentación inversa*. Laborde Libros Editor.
- Birk, S., Bonne, W., Borja, Á., Brucet, S., Courrat, A., Poikane, S., Solimini, A. G., van de Bund, W.,
Zampoukas, N., & Hering, D. (2012). Three hundred ways to assess Europe's surface waters: An almost complete overview of biological methods to implement the Water Framework Directive. *Ecological Indicators*, 18, 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.10.009>
- Davidson, N. C. (2014). How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 65(10), 934–941. <https://doi.org/10.1071/MF14173>
- Dodds, W. K., & Oakes, R. M. (2008). Headwater influences on downstream water quality. *Environmental Management*, 41, 367–377. <https://doi.org/10.1007/s00267-007-9033-y>
- Domínguez, E., & Fernández, H. R. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo. <https://lillo.org.ar>
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z. I., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A. H., Soto, D., Stiassny, M. L. J., & Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: Importance, threats and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81(2), 163–182. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z. I., Knowler, D. J., Lévêque, C., ... Sullivan, C. A. (2019). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 94(3), 849–873. <https://doi.org/10.1111/brv.12480>
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., et al. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570–574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Grill, G., Lehner, B., Thieme, M., Geenen, B., Tickner, D., Antonelli, F., Babu, S., Cheng, L., Crochetiere, H., Macedo, H. E., et al. (2019). Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature*, 569, 215–221. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1111-9>
- Heino, J. (2010). Are indicator groups and cross-taxon congruence useful for predicting biodiversity in aquatic ecosystems? *Ecological Indicators*, 10(2), 112–117. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.04.013>
- Heyer, W. R., Donnelly, M. A., McDiarmid, R. W., Hayek, L. A. C., & Foster, M. S. (Eds.). (1994). *Measuring and monitoring biological diversity: Standard methods for amphibians*. Smithsonian Institution Press.
- Hilsenhoff, W. L. (1988). Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *Journal of the North American Benthological Society*, 7(1), 65–68. <https://doi.org/10.2307/1467832>
- Hobbs, R. J., Higgs, E., & Harris, J. A. (2009). Novel ecosystems: Implications for conservation and restoration. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(11), 599–605. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.05.012>
- Johnson, D. H. (2008). In defense of indices: The case of bird surveys. *Journal of Wildlife Management*, 72(4), 857–868. <https://doi.org/10.2193/2007-294>

- Mazerolle, M. J., Bailey, L. L., Kendall, W. L., Royle, J. A., Converse, S. J., & Nichols, J. D. (2007). Making great leaps forward: Accounting for detectability in herpetological field studies. *Journal of Herpetology*, 41(4), 672–689. <https://doi.org/10.1670/07-061.1>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water Synthesis*. World Resources Institute.
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2015). *Wetlands* (5th ed.). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9781118676820>
- Morse, C. C., Huryn, A. D., & Cronan, C. (2014). Impervious surface area as a predictor of the effects of urbanization on stream insect communities. *BioScience*, 64(9), 832–842. <https://doi.org/10.1093/biosci/biu086>
- Naiman, R. J., Décamps, H., & Pollock, M. (1993). The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *BioScience*, 43(8), 564–576. <https://doi.org/10.2307/1311947>
- Ralph, C. J., Sauer, J. R., & Droege, S. (Eds.). (1995). *Monitoring bird populations by point counts* (General Technical Report PSW-GTR-149). USDA Forest Service.
<https://doi.org/10.2737/PSW-GTR-149>
- Reid, A. J., Carlson, A. K., Creed, I. F., Eliason, E. J., Gell, P. A., Johnson, P. T. J., Kidd, K. A., MacCormack, T. J., Olden, J. D., Ormerod, S. J., Smol, J. P., Taylor, W. W., Tockner, K., Vermaire, J. C., Dudgeon, D., & Cooke, S. J. (2019). Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. *Biological Reviews*, 94(3), 849–873. <https://doi.org/10.1111/brv.12480>
- Rimoldi, P. G. (2015). Diversidad y patrones de distribución de los mamíferos silvestres medianos y grandes de la cuenca del río Carcarañá (provincia de Santa Fe). *Mastozoología Neotropical*, 22(1), 201–210. https://www.sarem.org.ar/wp-content/uploads/2018/11/MN_221_Rimoldi.pdf
- Rimoldi, P. G., & Chimento, N. R. (2018). Diversidad de mamíferos nativos medianos y grandes en la cuenca del río Carcarañá, provincia de Santa Fe (Argentina). *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, Nueva Serie*, 20(2), 333–341.
<https://revista.macn.gob.ar/ojs/index.php/RevMus/article/view/612>
- Rodríguez Capítulo, A., Tangorra, M., & Ocón, C. (2003). Use of benthic macroinvertebrates to assess the biological status of Pampean streams in Argentina. *Aquatic Ecology*, 37, 109–119. <https://doi.org/10.1023/A:1023966603653>
- Soininen, J., Heino, J., & Wang, J. (2015). A meta-analysis of nestedness and turnover components of beta diversity across organisms and ecosystems. *Ecography*, 38(12), 121–129. <https://doi.org/10.1111/ecog.00977>
- Thalmeier, M. B., & Brunetto, E. (2026). Caracterización geomorfológica del Arroyo Canal Candelaria (ACC), Pampa Norte. En P. G. Rimoldi (Ed.), *Caracterización del Arroyo Canal Candelaria: contexto, tensiones y perspectivas* (pp. 31–54). Laborde Libros Editor.
- Tockner, K., Ward, J. V., Arscott, D. B., Edwards, P. J., Kollmann, J., Gurnell, A. M., Petts, G. E., & Maiolini, B. (2003). The Tagliamento River: A model ecosystem of European importance. *Aquatic Sciences*, 65(3), 239–253. <https://doi.org/10.1007/s00027-003-0699-9>
- Tonkin, J. D., Altermatt, F., Finn, D. S., Heino, J., Olden, J. D., Pauls, S. U., & Lytle, D. A. (2018). The role of dispersal in river network metacommunities. *Freshwater Biology*, 63(1), 141–163. <https://doi.org/10.1111/fwb.13016>
- Viglizzo, E. F., Frank, F. C., Carreño, L. V., Jobbágy, E. G., Pereyra, H., Clatt, J., Pincén, D., & Ricard,

-
- M. F. (2011). Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biology*, 17, 959–973. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02293>
- Walsh, C. J., Roy, A. H., Feminella, J. W., Cottingham, P. D., Groffman, P. M., & Morgan, R. P. (2005). The urban stream syndrome: Current knowledge and the search for a cure. *Journal of the North American Benthological Society*, 24(3), 706–723. <https://doi.org/10.1899/04028.1>
- Wohl, E., Lane, S. N., & Wilcox, A. C. (2015). The science and practice of river restoration. *BioScience*, 65(2), 182–193. <https://doi.org/10.1093/biosci/biu235>
- Zedler, J. B., & Kercher, S. (2005). Wetland resources: Status, trends, ecosystem services, and restorability. *Annual Review of Environment and Resources*, 30, 39–74. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144248>