

Riñones del planeta

Humedales: los depuradores naturales del agua

Jezabel Primost



Wetlands
INTERNATIONAL

Riñones del planeta

Humedales: los depuradores naturales del agua

Jezabel Primost

Editado por Gaston Fulquet, Nadia Boscarol, Lucas Gómez Ríos y Vanina Pietragalla

2025

Esta publicación es una síntesis del Informe técnico Primost, J. (coord.), C. Percudani & C. Bernasconi (2023) "Depuración del Agua en los Humedales del Delta del Paraná" (2023), elaborado como documento de trabajo para el Programa Corredor Azul de Fundación Humedales/ Wetlands International por la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata.



Introducción

© 2025 Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales / Wetlands International

El contenido de esta publicación puede ser reproducido libremente para fines de educación, difusión y para otros propósitos no comerciales. Un permiso previo es necesario para otras formas de reproducción. En todos los casos se debe otorgar el crédito correspondiente a la Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales / Wetlands International.

ISBN 978-631-91058-2-7

Esta publicación puede citarse como sigue: Primost J. 2025. Riñones del planeta. Humedales: los depuradores naturales del agua. Fundación Humedales/ Wetlands International

Publicado por la Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales / Wetlands International LAC.

Fundación Humedales
Wetlands International
Tel: (+5411) 45522200
info@humedales.org.ar
lac.wetlands.org

Foto de tapa: CANVA
Foto de contratapa: Pablo Cantador
Diagramación: Marta Biagioli

Impreso en Argentina

El material presentado en esta publicación y las designaciones geográficas empleadas no implican opinión alguna de parte de la Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales / Wetlands International sobre la situación legal de cualquier país, territorio o área, o en relación a la delimitación de sus fronteras.

Primost, Jezabel
Riñones del planeta: humedales: los depuradores naturales del agua / Jezabel Primost ; Editado por Gaston Fulquet ... [et al.]. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales, 2025.
37 p. ; 28 x 20 cm.
ISBN 978-631-91058-2-7
1. Agua Dulce. 2. Agua Potable. 3. Humedales. I. Fulquet, Gaston, ed. II. Título.
CDD 631.7

La Cuenca del Plata abarca más de 3 millones de kilómetros cuadrados, es habitada por 110 millones de personas y genera más del 70 % del PBI de los cinco países que la conforman. La gran disponibilidad de agua de calidad de la cuenca permite su aprovechamiento para diversos usos. Sin embargo, paralelamente, las actividades antrópicas ejercen presiones que pueden afectar su calidad, debido principalmente al ingreso de contaminantes provenientes de fuentes tanto puntuales como difusas y la alteración de la conectividad por obras de infraestructura. Este hecho puede provocar la degradación de los ecosistemas y comprometer, directa o indirectamente, la salud de las personas y los beneficios que estos brindan a la sociedad, incrementándose como consecuencia los costos necesarios para su depuración.

Siendo la segunda mayor cuenca en importancia de Sudamérica, la Cuenca del Plata alberga el sistema de humedales fluviales más extenso del planeta. El Corredor Fluvial Paraná-Paraguay, a lo largo de sus 3.400 km, constituye principal colector de aguas superficiales de la cuenca. Por sus extensas y diversas áreas de humedales, desde el Pantanal, identificado como el humedal más grande del mundo en la alta cuenca del río Paraguay, hasta el Delta del Paraná, ubicado en la porción final de la cuenca.

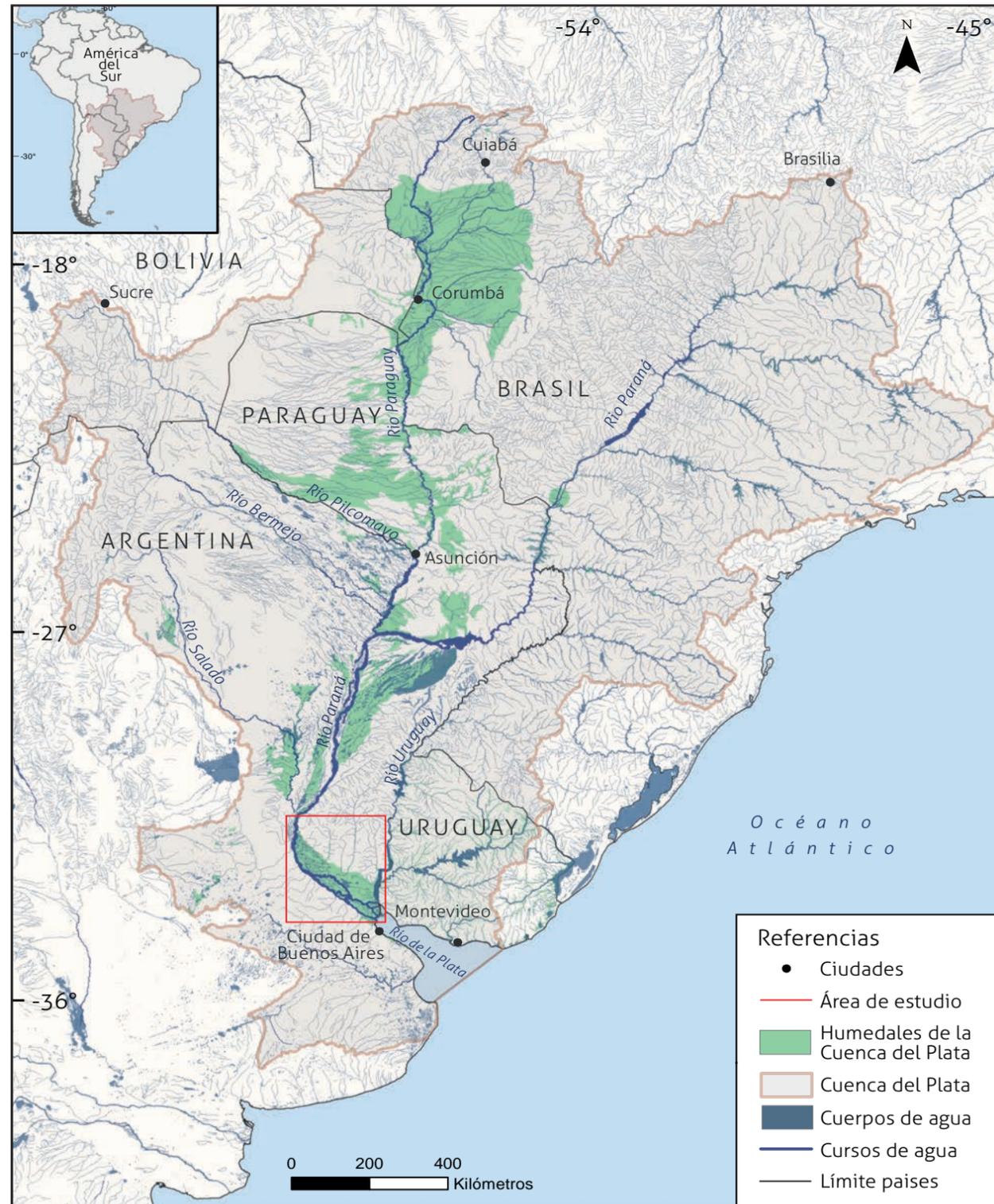
Los humedales son ecosistemas esenciales que presentan numerosas funciones ecosistémicas beneficiosas para la sociedad. Uno de sus roles más importantes (y paradójicamente menos valorado) es la capacidad de depurar el agua a través de diversos procesos físicos, químicos y biológicos que facilitan la retención, transformación y eliminación de contaminantes y exceso de nutrientes.

Los Humedales de la Cuenca del Plata conforman un extenso mosaico que reúne los componentes estructurales fundamentales y el entorno propicio para permitir que se desarrollen con éxito las funciones de depuración del agua.

El presente trabajo propone aportar conocimiento sobre el rol de los humedales de la Cuenca del Plata en el proceso de depuración del agua y resaltar la importancia de su valoración como estrategia para la toma de decisiones y la implementación de políticas públicas y sectoriales que conserven esta función ecosistémica fundamental. A modo ilustrativo, en diferentes secciones, se presentan datos específicos para el Delta del Paraná, considerando que este área de estudio brinda servicios ecosistémicos para una población de más de 5 millones de personas.

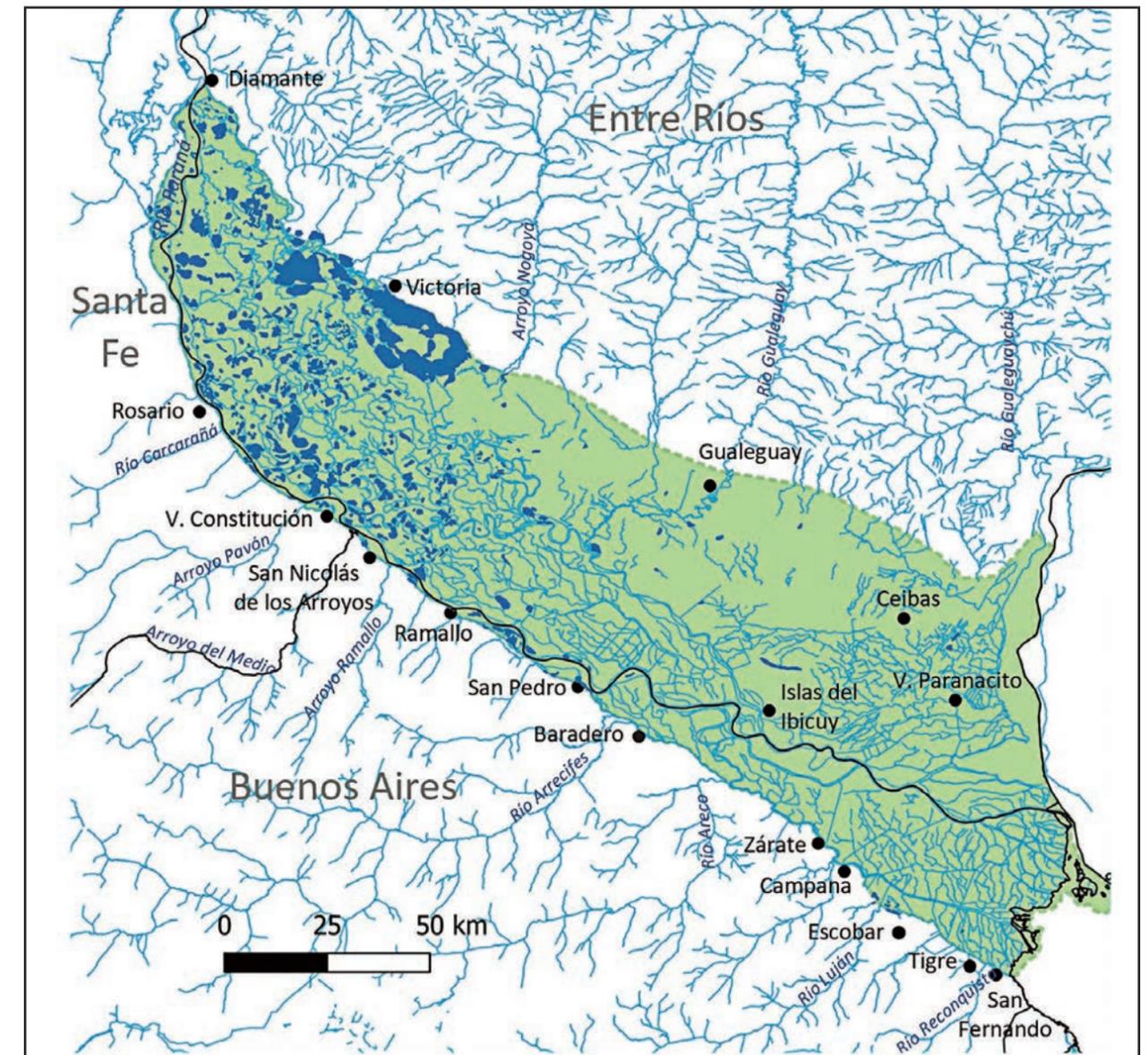
Resulta urgente comprender y valorar el rol de los humedales en la depuración del agua, así como su capacidad para amortiguar o mitigar los excesos de contaminantes. El reconocimiento de estas funciones ecosistémicas ha dado lugar a la implementación de numerosos proyectos de restauración en todo el mundo. Valorar el servicio de depuración del agua en los humedales implica no solo reconocer sus beneficios, sino también gestionar adecuadamente los recursos hídricos para garantizar su disponibilidad y calidad en el futuro.

¿Cómo circula el agua en la Cuenca del Plata?



La Cuenca del Plata constituye una de las reservas de agua dulce más importantes del planeta y el Corredor Fluvial Paraná-Paraguay es el principal colector de aguas superficiales de ese sistema hídrico. Se extiende desde latitudes tropicales hasta el Río de la Plata, atravesando grandes extensiones de humedales y regiones de diferentes climas, geología, ecología y culturas. Este corredor de biodiversidad, liderado por el Río Paraná con un caudal medio de 17.000 m³/s recoge el agua de otros ríos importantes como el Paraguay, Bermejo, Pilcomayo, Iguazú y numerosos ríos secundarios y cursos de agua menores en toda su extensión.

En la última porción del corredor fluvial Paraná-Paraguay, el Delta del Paraná actúa como uno de los "filtros" o "riñones" naturales del agua que circula por su vasta extensión de humedales antes de su descarga en el Río de la Plata y finalmente en el Atlántico Sur. El régimen de circulación del agua en el Delta, está gobernado principalmente por los flujos superficiales horizontales, está íntimamente relacionado con la función de retención y estabilización de sedimentos debido a la disminución de la velocidad del agua, lo que favorece los procesos de depuración y permite por un lado retener y almacenar sólidos, nutrientes y materia orgánica necesarios para el mantenimiento de del ecosistema, y por otro, regular excesos/déficits hídricos (Canevari y col. 1999).

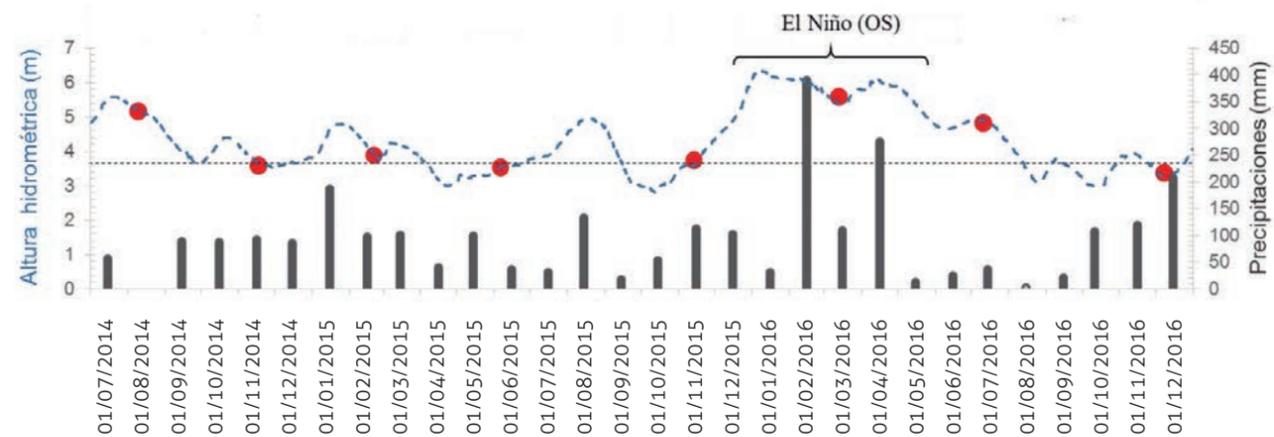
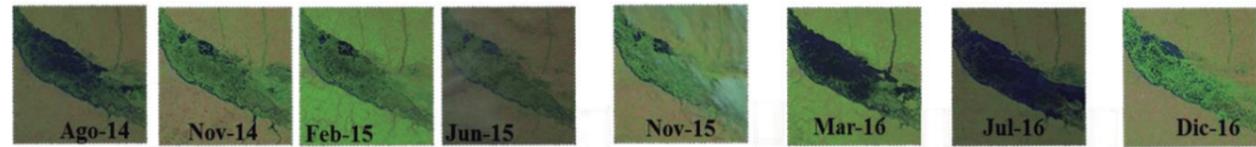


¿Qué es la conectividad hidrológica?

La conectividad hidrológica se refiere a la transferencia de materia y energía mediada por el agua entre los elementos de una cuenca. El corredor fluvial Paraná-Paraguay presenta fases de inundación y sequía.

En la **fase de inundación** hay una mayor conectividad hidrológica y se produce el movimiento horizontal del agua del río hacia la planicie de inundación generando un mayor intercambio de sólidos, nutrientes, materia orgánica y otros compuestos. En algunos sectores del corredor, las áreas anegables se extienden ampliamente por fuera del cauce principal. Por ejemplo, en el Delta del Paraná, estas ocupan aproximadamente un 80 % de la superficie total. Durante la **fase de sequía**, el flujo de materiales ocurre desde la planicie hacia el río, observándose una desconexión paulatina de los cuerpos de agua de la planicie, hasta una nueva fase de inundación.

El grado de conectividad entre el río y los humedales que forman parte de la llanura de inundación, depende no solo de la altura hidrométrica del río, sino además del origen y de la posición de dichos ambientes respecto del cauce principal.



La región sudeste de América del Sur presenta una fuerte respuesta al **fenómeno El Niño Oscilación Sur (ENSO)**, con un incremento considerable en las precipitaciones sobre la alta Cuenca del Plata que se traduce a su vez en un aumento de los caudales de los ríos Paraguay, Paraná y Uruguay. Particularmente el pico de creciente desencadenado por las lluvias en la alta cuenca del Paraguay-Paraná se desplaza por el Río Paraná provocando numerosos desbordes en sus valles de inundación (humedales).



Humedales fluviales y depuración del agua: *componentes estructurales*

Las funciones ecosistémicas de depuración del agua (y los beneficios asociados) dependen, esencialmente, de la existencia de los componentes estructurales del humedal, y de las características o condiciones de estos.

Estos componentes estructurales incluyen el emplazamiento geomorfológico, el régimen hidrológico y la conectividad hidrológica entre ambientes; la vegetación y sus estructuras vegetales; los organismos y microorganismos asociados; las características de suelos, sedimentos o sustratos donde se emplazan los humedales; el origen y las características del agua, entre otros componentes, como las condiciones climáticas propias.

La Cuenca del Plata presenta una vasta extensión de humedales que reúne los componentes estructurales fundamentales para permitir que se desarrollen con éxito las funciones de depuración. En el Delta del Paraná en particular, las distintas Unidades de Paisaje de Humedales del complejo fluvio-litoral del Bajo Paraná también desempeñan esas funciones fundamentales.



La vegetación está representada por más de 700 especies de plantas vasculares y la vegetación herbácea cubre más del 80 % de la superficie (Kandus y col. 2019). Tienen un rol fundamental en la depuración del agua, además de ser altamente productivos, de secuestrar carbono en el suelo y generar biomasa (Pratolongo y col. 2007; Ceballos y col. 2013).



Los suelos y sedimentos presentan características propias como el contenido de minerales, la humedad, la proporción de materia orgánica, de nutrientes, de metales y de microorganismos, el pH y el contenido de oxígeno disuelto, que tienen implicancias en distintos procesos fisicoquímicos y biológicos. Los cambios en el uso del suelo impactan directamente sobre estas características y capacidades, volviéndolos menos eficientes en los procesos de depuración del agua.



Los microorganismos presentes en todas las matrices de los humedales son indispensables en el ciclado, la degradación, descomposición y/o eliminación de compuestos. En el Paraná medio se determinaron más de 8900 tipos de bacterias (Unidades taxonómicas operativas) en 4 tipos de ambientes representativos de la llanura aluvial, en distintas condiciones hidrológicas (Huber y col. 2020). Estos microorganismos asociados a los distintos componentes del humedal permiten (en gran medida) llevar a cabo los procesos de depuración del agua.



El emplazamiento geomorfológico, el régimen hidrológico y la conectividad hidrológica como **componentes estructurales**, o de existencia, son factores determinantes. La conexión entre el cauce principal del río con la llanura de inundación genera un intercambio de sólidos, nutrientes y materia orgánica, que mantiene los procesos que regulan a los humedales, incluyendo los procesos de depuración. Las áreas anegadas o fácilmente anegables en el Delta ocupan un 80 % de la superficie, mientras que el 20 % restante corresponde mayormente a los albardones (Bonetto y Hurtado 1999). Se ha demostrado que los cambios en el uso del suelo (y, en consecuencia, de la conectividad hidrológica) de los humedales debido a las actividades antrópicas, reduce la capacidad de mantener o mejorar la calidad del agua (Bodoque y col, 2016).

El mantenimiento y conservación de estos componentes es esencial para asegurar las funciones de depuración del agua, ya que son el soporte para que se lleven a cabo numerosos procesos. La presencia y el buen estado de estos elementos garantizan que los mecanismos naturales de purificación y transformación de contaminantes puedan realizarse de manera efectiva. Sin su conservación adecuada, estos procesos de depuración se ven comprometidos, afectando negativamente la calidad del agua y el equilibrio del ecosistema.

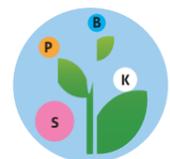
¿Cómo logran los humedales depurar el agua?

Los humedales tienen la capacidad de mejorar la calidad del agua gracias a una serie de mecanismos o **procesos físicos, químicos y biológicos** que, en conjunto, permiten procesar, regular, retener y/o transformar sustancias tales como sólidos, nutrientes y contaminantes.

La combinación de todos los factores, procesos e interacciones entre los componentes representa el motor que permite que los humedales actúen como filtros vivos, mejorando la calidad del agua para sus distintos usos y proporcionando un hábitat adecuado para diversas especies.



Entre los mecanismos físicos, la sedimentación juega un papel fundamental, ya que permite la retención y/o acumulación de partículas y sólidos en el humedal. Esto tiene una gran importancia en términos de almacenamiento de materiales y de mejora en la calidad del agua.



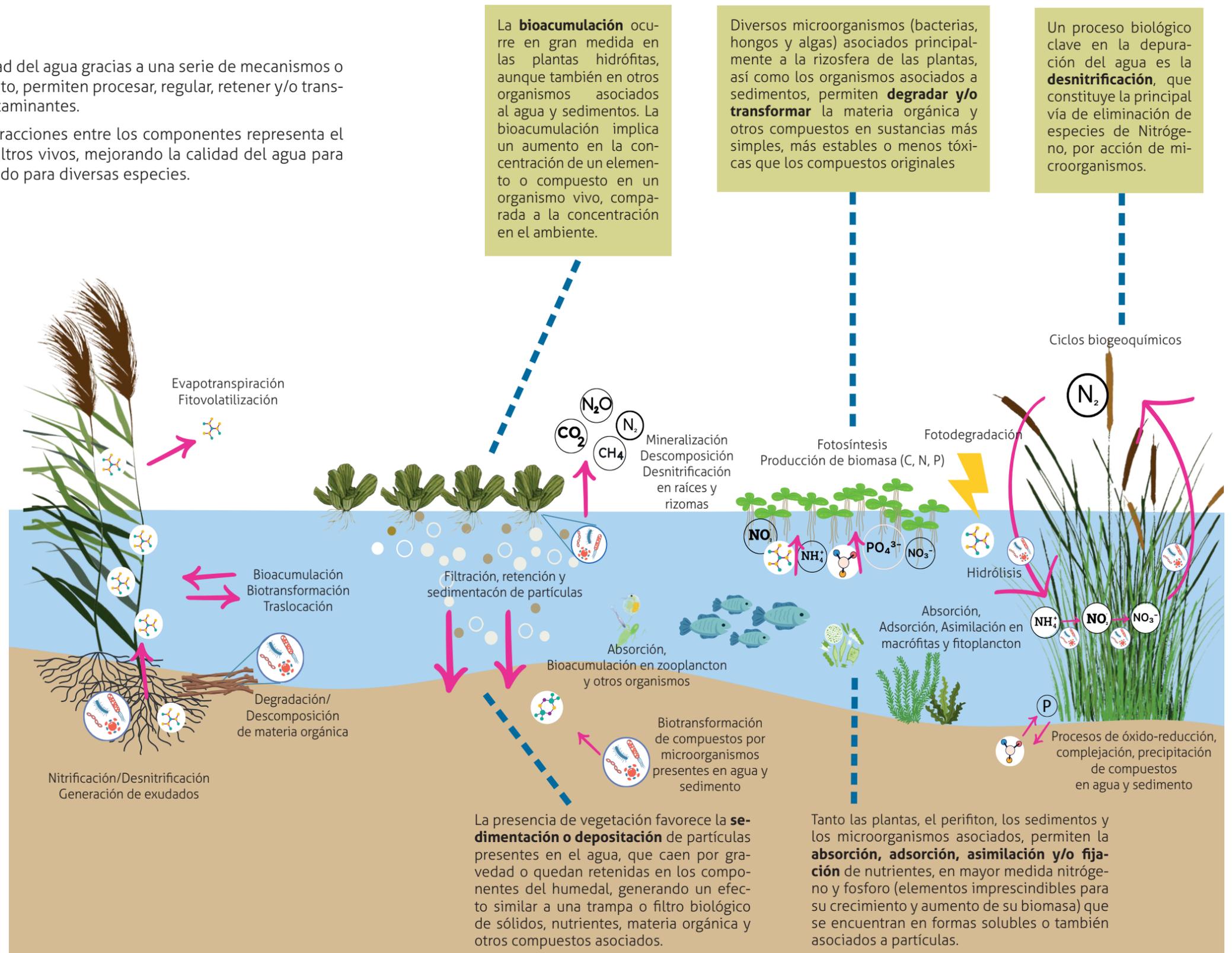
Los procesos químicos en los humedales incluyen la absorción, adsorción, precipitación de nutrientes y contaminantes, que se adhieren a las superficies de sus componentes, así como reacciones que favorecen la formación de compuestos menos solubles y tóxicos, facilitando su eliminación o transformación.



Entre los aspectos biológicos, se destacan los procesos metabólicos, la incorporación de contaminantes y otros compuestos en raíces, tallos y hojas (bioacumulación) y movilización entre sus estructuras (traslocación). Los microorganismos y otros organismos descomponen la materia orgánica, absorben nutrientes y biotransforman los contaminantes.

Esta capacidad natural de los humedales ha sido utilizada para el tratamiento de efluentes urbanos, industriales, cloacales, entre otros, imitando o reproduciendo con gran éxito este servicio en humedales artificiales.

Procesos físicos, químicos y biológicos



Beneficios asociados a los procesos de depuración

Los procesos que intervienen en la función de depuración de agua de los humedales generan beneficios que repercuten positivamente sobre la salud de los ecosistemas y la salud humana.

Sebastián Ingrassia



Disminución de la contaminación y sus efectos

Los procesos de depuración, en conjunto, permiten procesar y/o transformar contaminantes para generar compuestos más simples, más estables o menos tóxicos que los originales, lo cual beneficia a la salud de los ecosistemas y reduce los riesgos para la salud humana, en un contexto de creciente contaminación de aguas continentales y marinas.



Retención / Provisión de alimento, o sustrato para el desarrollo de la biodiversidad

Los procesos de sedimentación natural, además de clarificar el agua, favorecen la provisión de nutrientes y compuestos orgánicos esenciales para el desarrollo de la biodiversidad. Estos procesos facilitan el crecimiento de organismos y microorganismos que desempeñan un papel clave en la degradación de otros compuestos y contribuyen a la autoregulación de los ecosistemas, reduciendo la contaminación y promoviendo la resiliencia ambiental.



Reciclado de elementos a través de los ciclos biogeoquímicos

El ciclado de elementos esenciales como nitrógeno, fósforo, carbono, a través de los organismos, el suelo, el agua y la atmósfera tiene un rol fundamental para el crecimiento, la reproducción y el metabolismo de los seres vivos. Pero además contribuye a la depuración del agua amortiguando los excesos de nutrientes que pueden provocar eutrofización y blooms algales, evitando así el deterioro de la calidad del agua para sus distintos usos. La desnitrificación tiene beneficios a escala global, siendo el proceso estrella que permite convertir toneladas de nitrógeno reactivo (presente en la fabricación de fertilizantes y otros compuestos) en nitrógeno gaseoso que retorna a la atmósfera.

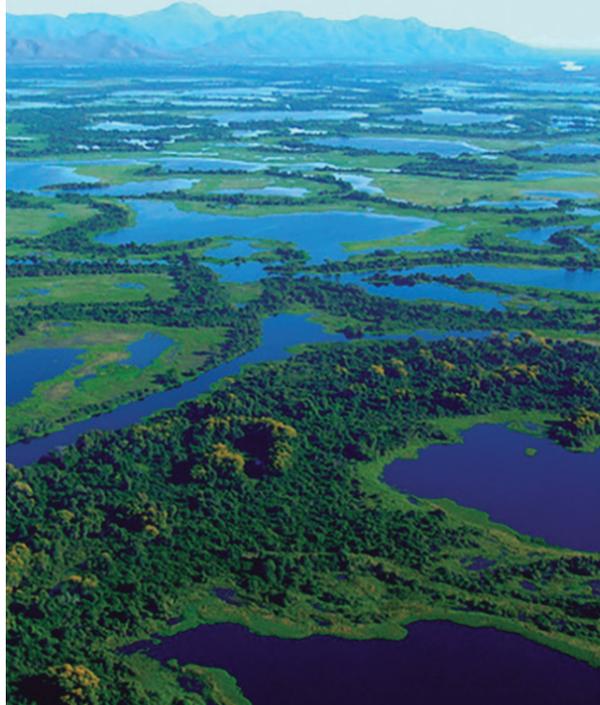


Mejora de la calidad del agua para distintos usos

Los procesos de depuración mejoran la calidad del agua al reducir o estabilizar los niveles de contaminantes que ingresan e interactúan con los componentes del humedal. Esto tiene beneficios directos para la sociedad, ya que facilita el acceso a agua de calidad para diversos usos. En el extremo sur del corredor fluvial Paraná-Paraguay, el Delta del Paraná concentra el principal polo urbano-industrial del país, rodeado de una extensa matriz agrícola-forestal-ganadera que demanda grandes cantidades de agua para satisfacer las necesidades de millones de habitantes.

Indicadores

Los procesos de depuración pueden ser evidenciados mediante indicadores y/o mediciones que permiten dimensionar su funcionamiento. Aunque cuantificar la eficiencia de estos procesos a gran escala espaciotemporal puede resultar complejo, existen estimaciones en escalas más pequeñas, como en humedales artificiales o áreas específicas de cuencas fluviales, que permiten registrar su efectividad y los beneficios relacionados. Algunos de estos indicadores incluyen:



Walfredo Tomas

Tasa/capacidad de desnitrificación

La desnitrificación es la principal vía de eliminación de nitrógeno del agua, a partir de microorganismos como *pseudomonas*, *azospirilo*, y otros, que convierten finalmente a formas gaseosas como N_2O y N_2 (gas más abundante del aire) mediante enzimas específicas. La capacidad de desnitrificar depende de muchos factores y existen diversos métodos para estimarla. Para tomar como referencia, un estudio que utilizó modelos de desnitrificación en llanuras aluviales del Amazonas, con bajo impacto antrópico, estima una tasa de desnitrificación total ($N_2-N + N_2O-N$) de hasta 140 kg N por hectárea por año (Guilhen y col. 2020). Otros ejemplos para las llanuras aluviales del Garona y el Rin, muestran que la desnitrificación alcanza los 130 kg N/ha/año (Sun y col. 2017) y 653 kg N/ha/año (Sánchez Pérez y col. 1999).

Tasas de sedimentación y/o retención de sólidos

Este indicador permite conocer cuánto material sólido puede quedar retenido en un humedal. La acumulación de sedimento en los humedales ribereños (o de llanura de inundación) depende principalmente de cuatro factores: hidrológicos, morfométricos, biológicos y geoquímicos. La carga sedimentaria en el Delta alcanza los 160 millones tn/año, distribuida granulométricamente en un 28 % de arcillas, un 56 % de limos y un 16 % de arenas (Sarubbi 2007).

Eficiencias de remoción de contaminantes

Estas medidas dan cuenta de la capacidad de los humedales para retener, acumular o eliminar estas sustancias. Existe un amplio conocimiento reportado, utilizando diversas especies de plantas entre las que se encuentran especies acuáticas o hidrófitas, donde disminuye significativamente la concentración de estos componentes del agua al atravesar el humedal, mejorando su calidad.

Las eficiencias son muy variables dependiendo el tipo de humedal, las especies y sustratos, el tiempo de retención y otros factores. En cuanto

a la remoción del exceso de **nutrientes**, se conoce que los humedales tienen una gran capacidad para remover nitrógeno y fósforo del agua en sus distintas especiaciones, con eficiencias mayores al 60 %. Se evidencian altas tasas de remoción de **materia orgánica** medidas como DQO (demanda química de Oxígeno), DBO (Demanda Biológica de oxígeno (≥ 90 %)) y de sólidos (> 60 %) (Vera y col. 2010; Aguilar y col. 2021).

En cuanto a la remoción de **metales** existe una vasta evidencia científica (más de 10.000 artículos) que demuestra la capacidad de plantas flotantes, sumergidas y emergentes para remover metales pesados del agua como Cadmio, Cromo, Cobre, Manganeseo, Mercurio, Plomo, Arsénico, Zinc, Hierro, entre otros, debido a la bioacumulación de hasta más de 1450 veces la concentración de estos elementos en el agua, sobre todo en raíces y hojas.

Respecto a la remoción de **hidrocarburos** (compuestos derivados del petróleo), diferentes tipos de plantas, incluyendo *Scirpus* (junco) *Eichhornia* (jacinto de agua) *Typha* (totoro) y *Phragmites* (junco común), reducen el contenido oleoso, el contenido de hidrocarburos totales, hidrocarburos aromáticos y compuestos específicos como benceno, pireno, fenol, con altos % de remoción (> 70 % en la mayoría de los estudios relevados) (Abdullah y col. 2020). La degradación microbiana por microorganismos asociados a la rizosfera es probablemente el mecanismo más importante de degradación de hidrocarburos.

Respecto a la remoción de **plaguicidas**, Vymazal y Březinová (2015) revisaron 47 estudios de distintas partes del mundo en los que se analizó la eliminación de 87 plaguicidas utilizando humedales construidos. Según lo recopilado por estos autores, las remociones promedio más altas se lograron para los plaguicidas del grupo de los organoclorados (97 %), el grupo de las estrobilurinas/estrobilas (96 %), seguidos de los plaguicidas organofosforados (94 %), y piretroides (84 %). Los principales procesos de eliminación de plaguicidas en humedales construidos son los procesos físicos (sedimentación, floculación, absorción, coprecipitación, precipitación), químicos (oxidación, reducción, intercambio catiónico, hidrólisis, fotólisis), biológicos (absorción y metabolismo de las plantas) o bioquímicos (degradación microbiana).

Producción de biomasa

La **producción de biomasa** es una de las formas más comunes de medir la asimilación de nutrientes en los ecosistemas. Este proceso implica la conversión de nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) en tejido vegetal a través del crecimiento y desarrollo de las especies que habitan el ecosistema.

Algunos estudios realizados en el Delta del Paraná estimaron la producción primaria neta de vegetación de distintas áreas, que varían de acuerdo a la disponibilidad de recursos y las condiciones climatológicas. Por ejemplo, Villar y col. (1996) determinó este parámetro en dos sitios, cerca de la orilla del río Paraná y a 800 m dentro del valle inundable, ambos sitios dominados por las especies *Scirpus californicus* (totoro) y *Cyperus giganteus* (peri-junco). La producción primaria neta estimada fue de 28 Tn/ha.año y 17 Tn/ha.año para ambos sitios respectivamente, y los contenidos de Nitrógeno y Fósforo en el tejido vegetal de 0,62 y 0,45 % N y 0,18 a 0,14 % P, respectivamente. Por otro lado, Pratolongo y col. 2008 estudiaron 2 pajonales de *Schoenoplectus californicus* en sitios del bajo Delta del Paraná, con mayor y menor influencia fluvial-mareal. Los resultados mostraron una productividad primaria neta aérea entre 12,9 y 19,9 Tn/ha.año.

Tasas de mineralización y/o degradación

Estas medidas dan cuenta de la capacidad de los microorganismos para destruir, (desintegrar) materiales orgánicos de origen animal, microbiano o vegetal y convertirlos en compuestos más simples como sales o gases como N_2 o CO_2 . Estos procesos son claves para las funciones de depuración y a la vez son complejos ya que se manifiestan a nivel de comunidad, involucrando a múltiples organismos a distintas escalas espaciales y temporales. Los estudios funcionales sobre el papel de la descomposición en los ecosistemas de humedales son muy escasos, a pesar de las implicaciones que esto puede tener especialmente para los humedales, que constituyen uno de los sistemas más productivos del planeta y donde la mayoría de carbono se acumula en forma de materia orgánica.

Principales actividades antrópicas que impactan sobre la calidad del agua en la Cuenca del Plata

Las principales actividades antrópicas en la Cuenca del Plata están vinculadas a la agricultura, la ganadería, la actividad forestal, la minería, la industria, la generación de energía, la urbanización, la pesca, el turismo, la apicultura, entre otras de menor escala.

En términos de generación de efluentes y contaminantes, las más relevantes son: la actividad industrial, debido a los vertidos provenientes de los procesos productivos; la actividad urbana, principalmente por el vertido de efluentes cloacales; la actividad agrícola, a raíz del uso de insumos químicos como fertilizantes y plaguicidas; y la ganadería, por la generación de desechos de excretas y otros insumos utilizados; la actividad minera (desechos de los procesos de extracción).

Además, las actividades que requieren de obras de infraestructura y modificación del paisaje alteran o pueden alterar las funciones de depuración de agua por la disminución de la conectividad hidrológica, la pérdida de vegetación, entre otros impactos indirectos que afectan los servicios ecosistémicos que ofrece el sistema de humedales.

ÁREA DE ESTUDIO

Actividades antrópicas en el Delta del Paraná



Actividad Industrial

Ingreso de efluentes de más de 400 industrias principalmente metalmecánicas, metalúrgica, siderúrgica, fundición y automotriz, cuyos desechos se asocian a contaminantes como metales pesados; de industrias químicas que incluye las petroquímicas, productoras de biodiesel, y la industria plástica, que implican tanto el vertido de hidrocarburos como de una amplia variedad de compuestos químicos.



Actividad Urbana: Efluentes cloacales

Ingreso de nutrientes, materia orgánica, compuestos emergentes, patógenos, por efluentes cloacales. Se estima que cada habitante descarga entre 200 y 400 litros de efluentes al día, lo que contribuye a una carga contaminante creciente. Más del 50 % de los municipios de la región no cuentan con plantas de tratamiento de efluentes cloacales.



Actividad Agrícola

Ingreso de nutrientes y plaguicidas provenientes de actividades agrícolas que llegan por distintos mecanismos de transporte. En la campaña 2020/21 se utilizaron aproximadamente **190.000** toneladas de fertilizantes en la región, y en 2016 se aplicaron más de **320 millones de litros/kilos** de plaguicidas a nivel nacional. Las provincias de Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos y Buenos Aires concentran la mayor parte del consumo.



Actividad Ganadera

Ingreso de nutrientes, materia orgánica y fármacos por actividades ganaderas. En el Delta, la ganadería ocupa unas 170.000 hectáreas, con aproximadamente 270.000 cabezas de ganado vacuno, lo que genera una gran cantidad de estiércol.



Transporte

Esta es la zona portuaria agro-industrial más importante del país, responsable de alrededor del 70 % de las exportaciones argentinas de granos, aceites vegetales y subproductos.



Otros ingresos

Ingreso de nutrientes, plaguicidas, fármacos y otros contaminantes por afluentes. Los humedales y cursos de agua sin presencia de actividades antrópicas en su cercanía pueden verse afectados por el transporte de contaminantes que ingresan a través de la conexión con otros cursos de agua.

Calidad y usos del agua en la cuenca

A lo largo y ancho de la Cuenca del Plata el agua es utilizada con múltiples finalidades. En relación con la calidad, las características físicas, químicas y biológicas del agua determinarán las posibilidades de uso.

En la región se destacan 4 usos más importantes: Uso para **abastecimiento de agua**, es decir el uso como agua de consumo y saneamiento para las personas; el uso recreativo, que tiene que ver con su uso para actividades que impliquen inmersión o contacto con el agua ambiente; uso como **protección de biota acuática**, relacionado al hábitat natural de especies de flora y fauna, y los niveles de compuestos aceptables para su supervivencia en pos de su protección, y el uso para el **desarrollo de actividades productivas y extractivas**, relacionado al uso del agua para los requerimientos y demandas de actividades pecuarias (uso como agua de bebida para el ganado), la agricultura y forestación (uso de agua para riego fundamentalmente), la industria (uso para procesos industriales), minería (uso en los procesos extractivos), generación de energía (fundamentalmente para represas hidroeléctricas) y la navegación como medio de transporte para el comercio de *commodities*.

En la mayoría de los casos, estos usos tienen asociados niveles normativos o niveles guía, que son niveles por encima de los cuales la calidad no es apta para tal utilización.

ÁREA DE ESTUDIO

Usos del agua en el Delta del Paraná



Provisión de agua para consumo y uso doméstico

Más de 12 localidades linderas al Delta, así como población isleña hacen uso de al menos 510.000 m³ diarios del agua superficial para este uso, principalmente con tratamiento primario.



Provisión de agua para actividades productivas

Por ejemplo, en el Bajo Delta del Paraná (Buenos Aires) se encuentra la mayor extensión de bosques plantados de álamo (*Populus spp.*) y sauce (*Salix spp.*) de la Argentina. En toda la región del Delta se han relevado más de 80.000 hectáreas de salicáceas plantadas (Dirección de Producción Forestal del MAGyP), que demandan grandes cantidades de agua para su crecimiento.



Provisión de agua para uso recreativo/ turístico

Más de 100 emplazamientos turísticos asociados al Delta hacen uso y/o requieren agua de calidad ya sea por inmersión o contacto con el agua ambiente. En estos se desarrollan actividades recreativas, turísticas, deportivas que tienen acceso a los cursos de agua superficial y de una u otra forma hacen uso de ello, incluyendo principalmente playas y/o balnearios, deportes náuticos, pesca deportiva, clubes de fomento y educativos, reservas y paseos ecológicos, miradores, sin considerar la totalidad de hosterías, cabañas, sitios de acampe.



Protección de biota acuática

Relacionado al hábitat natural de especies de flora y fauna, y los niveles de compuestos aceptables para su supervivencia en pos de su protección.



Apreciación e integración sociocultural

Asociado a los valores de tipo terapéutico, recreativo, de patrimonio, espiritual. La calidad del agua está estrechamente vinculada con la calidad habitacional, el valor paisajístico, la integración social con su entorno.

¿Qué contiene el agua que circula en los humedales del Delta del Paraná en el tramo final de la cuenca?

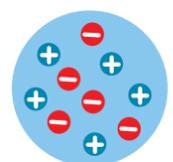
El agua que circula por los humedales del Delta presenta características físicas, químicas y biológicas que varían tanto de manera espacial como temporal, aunque están principalmente determinadas por el Río Paraná, que actúa como la fuente principal de agua para los humedales del Delta. Algunos de los componentes son:



Sólidos en suspensión. El agua contiene partículas finas que permanecen suspendidas. Una gran parte del transporte de fósforo y materia orgánica está asociado a este material. La carga principal de sólidos en suspensión en el Río Paraná es aportada por la cuenca del río Bermejo, que proporciona el 50–70 % de la carga de Sólidos del tramo inferior de Paraná (Depetris y col. 2003). Los sólidos en suspensión generan turbidez, que tiene una incidencia directa en la entrada de luz y la producción de fitoplancton. La composición, el transporte y la concentración de sólidos en suspensión de los ríos están determinadas tanto por las características de sus respectivas cuencas de drenaje, incluyendo la geología, el clima, erosión y la biota presente, como también por los impactos de las actividades humanas (Depetris y col. 2003) como obras de infraestructura, efluentes urbanos e industriales, deforestación, agricultura, etc. En las aguas del Delta, en general se observa una turbidez entre 20 y 100 NTU con casos por encima de estos en las 3 regiones.

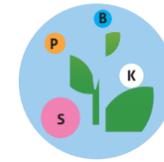


Materia orgánica disuelta y particulada. Proveniente de la descomposición de material vegetal, algas y bacterias, así como de desechos y efluentes de actividades humanas. Un exceso de materia orgánica puede causar la disminución en las concentraciones de oxígeno disuelto, alterar el equilibrio ecosistémico y disminuir la calidad del agua. La materia orgánica del agua del Delta presenta niveles entre 10 y 40 mg/L (Demanda química de Oxígeno) y entre 0,1 y 4 mg/L (Demanda Biológica de Oxígeno) siendo hasta 4 veces mayores en los cursos con actividad antrópicas del Delta bonaerense y en arroyos tributarios.

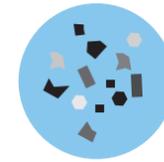


Sales. Principalmente iones carbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos, sodio, potasio, calcio y magnesio. Proviene de la disolución de minerales y otras sustancias. Su concentración varía dependiendo de factores como el tipo de geología de la cuenca, las actividades humanas y las condiciones climáticas. En el Delta, algunos cursos tributarios y zonas cercanas a urbanización y otras actividades antrópicas la salinidad aumenta entre el doble y hasta 1 orden de magnitud. El agua subterránea también puede influir en estas variaciones, sobre todo en épocas de bajante del río, aumentando la salinidad.

Los niveles de estas sustancias o parámetros físico-químicos y biológicos asociados definen la calidad para ser utilizada con distintos fines. Cuando estos niveles superan o no cumplen con los niveles de referencia, el agua presenta baja calidad para un determinado uso.



Nutrientes. Principalmente fosfatos y nitratos, aunque también en forma particulada como compuestos orgánicos de nitrógeno, fósforo, azufre, carbono. Un excesivo ingreso de nutrientes a través de fertilizantes, detergentes, u otros compuestos puede degradar la calidad del agua o generar eutrofización. En el Delta los nutrientes (representados como nitrato amonio y fósforo), presentan menores niveles donde la extensión de humedales es mayor y se encuentra relativamente menos impactada, y mayores niveles tanto en el Delta bonaerense y cursos tributarios, sobre todo en sectores con alto impacto antrópico, como en los tributarios superiores del Delta como la cuenca del Río Gualeguay, A° Cle y A° Nogoyá, entre otros (Primost *et al.*, 2019).



Metales. Principalmente Hierro, Manganeso, Arsénico, Cromo, Cobre, Níquel, Plomo, Zinc, aunque también trazas de mercurio u otros elementos. Un exceso es peligroso para la vida de organismos y para la salud humana. En agua y sedimentos del Delta se detectan niveles elevados de metales, principalmente en sitios cercanos canales aliviadores y zonas densamente pobladas, en comparación con cursos internos de la planicie de inundación o el propio cauce del Paraná que presentan niveles más bajos.



Oxígeno disuelto. Parámetro importante de calidad del agua y la vida acuática. Un déficit puede peligrar el desarrollo de los organismos. La contaminación por efluentes cloacales sin tratamiento previo puede disminuir el oxígeno en el agua y generar consecuencias negativas. Alrededor de un 80 % de las aguas del Delta y cursos asociados presentan niveles de Oxígeno Disuelto (OD) entre 4 y 12 mg/l. Los cursos con niveles menores a 4 mg/l corresponden a cursos con un alto impacto antrópico. Se conoce que los niveles de OD necesarios para sostener la vida de organismos acuáticos varían de una especie a otra. Numerosos estudios sugieren que 4-5 mg/l de OD es la mínima cantidad que soporta una gran y diversa población de peces y organismos. Los niveles de oxígeno que permanecen en 1-2 mg/l pueden resultar mortales para muchos de ellos.



Microorganismos. Desempeñan funciones clave en la descomposición de materia orgánica y en los ciclos de nutrientes. Sin embargo, también se encuentran presentes microorganismos patógenos, como *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, distintos virus, etc, que pueden ingresar a través de efluentes domiciliarios, actividades agroindustriales, residuos urbanos y agrícolas, entre otros. Su presencia puede afectar la calidad del agua, siendo un indicador de contaminación, y generar riesgos para la salud humana y la biodiversidad acuática. En muchas localidades, el agua cloacal se vuelca sin tratamiento previo al río, donde se verifica contaminación microbiológica en ríos y arroyos incluyendo sitios con uso recreativo y como fuente para agua de consumo. Sobre todo, en épocas de aguas bajas, esto implica un riesgo para la salud, siendo cada vez más preocupantes teniendo en cuenta el aumento de la población y las bajantes de los ríos.



Otros compuestos. En el agua superficial, en sedimentos y en tejidos de organismos acuáticos de la región se han detectado plaguicidas, hidrocarburos, fármacos, microplásticos y otros compuestos, asociados a diversas actividades antrópicas. La presencia de estos compuestos disminuye la calidad del agua para sus distintos usos y ponen en riesgo la salud.



Tanto la información bibliográfica disponible como la obtenida de análisis químicos realizados, sugiere que a pesar de la enorme cantidad de contaminantes que llegan al Delta, los sitios con menor impacto antrópico inmersos en el valle aluvial conformado por una vasta extensión de humedales, mantiene una comparativamente buena calidad de agua. Sin embargo, en zonas con mayor impacto urbano-industrial, su calidad desmejora, resultando imperioso generar acciones que por un lado tiendan a preservar la capacidad auto depuradora de los humedales en este escenario de ingresos de contaminantes, y por otro, que tienda a disminuir los ingresos de contaminantes en zonas con alto impacto urbano-industrial.

En general, en los cursos distributarios del Río Paraná, los niveles de nutrientes, sólidos y materia orgánica son todavía similares o menores a otros ríos y deltas del mundo, excepto Amazonas y Orinoco en zonas no impactadas. Sin embargo, en los cursos afluentes que atraviesan zonas con mayor impacto antrópico se presenta una disminución de su calidad, observando niveles de concentraciones mayores de diversos parámetros. En varios de estos cursos afluentes se observan contaminantes como plaguicidas, fármacos, hidrocarburos y metales, tanto en agua como en sedimento.

Conectividad hidrológica y depuración de agua en los humedales

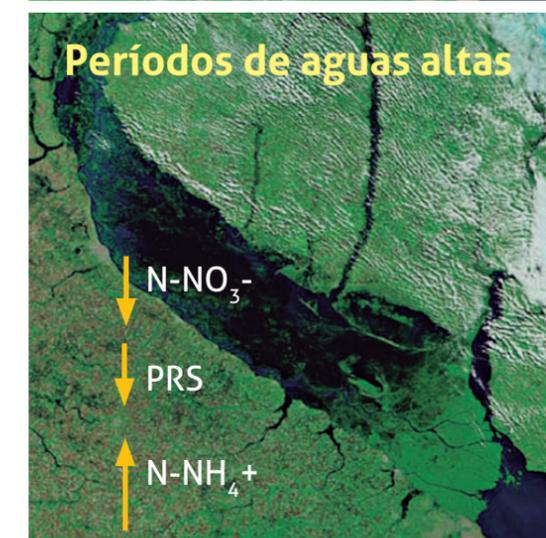
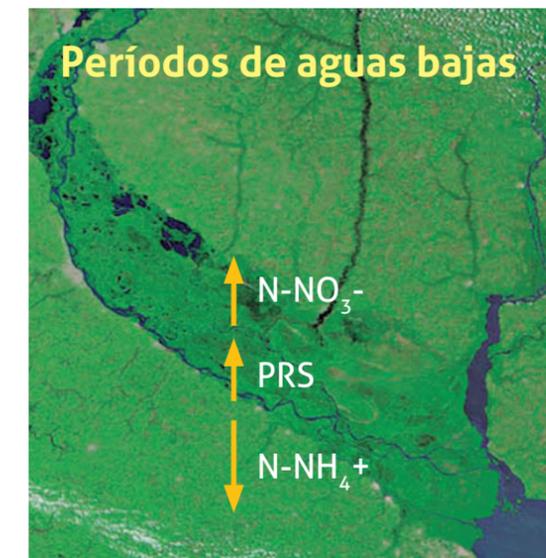
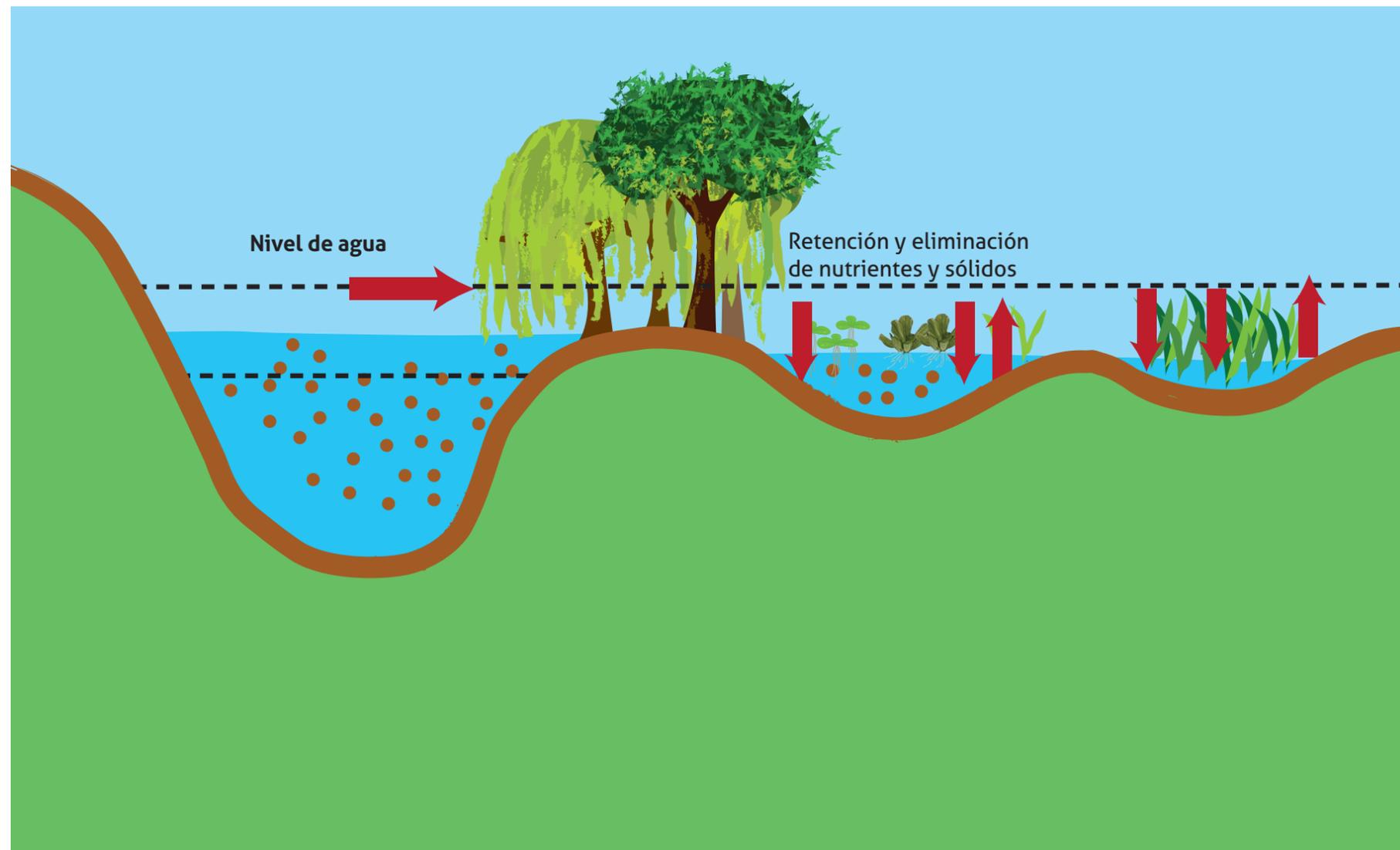
El grado de conectividad o de aislamiento del curso principal con los humedales depende de los pulsos de inundación y puede influenciar tanto la composición del agua, como los procesos ecológicos, debido a su comportamiento dinámico.

En época de aguas altas, el agua del cauce principal ingresa al valle de inundación, aumenta el área de drenaje de forma abrupta generando una mayor interacción con los humedales adyacentes. Existe un

gradiente de disminución de nitrógeno, fósforo y sólidos en suspensión desde el cauce del río hacia el valle aluvial, atribuido fundamentalmente a la alta tasa de desnitrificación, a la sedimentación, u otros procesos fisicoquímicos existentes en los pastizales y bañados (Unrein, 2001). En ese escenario, se favorecen los procesos de depuración del agua que atraviesa por los humedales de la llanura de inundación. La rápida absorción de nitrógeno y fósforo por macrófitas, bacterias y algas puede ser otra causa del abrupto descenso de la concentración de estos compuestos hacia el valle de inundación.

En cambio, durante la fase de agua baja del río, ocurre una desconexión paulatina de los humedales de la planicie con el agua del río, lo que limita la renovación de nutrientes y la capacidad de depuración de los humedales. Esta desconexión reduce la interacción entre el agua del río y el valle de inundación, lo que provoca una menor renovación del agua y puede generar un estancamiento en la calidad del agua de los humedales. En esta fase, los humedales tienden a ser más susceptibles a la acumulación de nutrientes, como nitrógeno y fósforo, y a la concentración de sólidos en suspensión.

Interacción con la planicie de inundación



Primost *et al.*, 2022.

Efectos de los cambios de uso del suelo en la conectividad hidrológica

La construcción de terraplenes, canalizaciones y endicamientos creados para las distintas actividades que se desarrollan en la región, modifican el régimen hidrológico del humedal y constituyen una amenaza para los procesos de depuración de agua.

Estas construcciones establecen una barrera al paso del agua, disminuyen el área de vegetación de los humedales, disminuyen la conectividad hídrica, lo que puede impactar en la función de depuración.

Generalmente, la canalización se asocia a una importante pérdida de materia orgánica y de nutrientes. Mientras que el endicamiento produce un cambio drástico en la estructura y el funcionamiento del humedal ya que interrumpe la entrada del agua hacia las islas.

Todos estos cambios atentan contra el rol de los humedales de regulación hidrológica, amortiguadores de las crecientes, retentores de nutrientes y sedimentos, almacenadores de agua dulce y hábitat de muchas especies. Diversos tipos de coberturas vegetales como pajonales, bosques, juncuales, pastizales, han sido afectados por estas construcciones.

La disminución del área de humedales tiene consecuencias en la capacidad de depuración.

EVIDENCIA

Degradación de la calidad del agua por pérdida de humedales a nivel global

Las principales áreas de humedales templados del norte de Europa presentan importantes presiones y alteraciones por estar altamente industrializados y urbanizados, con modificaciones por canalizaciones, represas, agricultura y por exceso de nutrientes. Ejemplos de ello son el río Rin y su Delta, el Río Po y su Delta, Danubio, Sena, Loire, Volga y otras importantes zonas de humedales.

El río Mississippi y su Delta, en América del norte, es un claro ejemplo del impacto antrópico, tal vez el más disturbado por acciones humanas de todos los grandes humedales, con niveles altísimos de nutrientes, con una degradación importante en la calidad del agua y una importante fragmentación de los humedales, principalmente a causa de la agricultura.

El aumento de nutrientes, especialmente por NO_3^- , ha causado hipoxia en una extensa área en el Golfo de México, adyacente al Delta del Mississippi, con graves consecuencias ambientales y económicas para la región. La situación ha llevado a invertir mucha cantidad de dinero en la implementación de distintas alternativas tecnológicas para la disminución de nutrientes y la restauración de los humedales.

La conectividad hidrológica está siendo alterada a una tasa sin precedentes, contribuyendo a una pérdida dramática a nivel global en la biodiversidad y en integridad de estos ecosistemas. En la cuenca del río Danubio, por ejemplo, entre el 70 y el 80 % de las antiguas llanuras aluviales se han desconectado o convertido en tierra cultivable; la cuenca del río Mississippi presenta una importante reducción de las llanuras de inundación estimulada por el avance de la agricultura, donde se estima que un 66 % del valle de inundación original fue modificado por prácticas agrícolas y que solamente un 23 % de la llanura aluvial mantiene las condiciones naturales.

La disminución de la conectividad, las presiones antrópicas y los cambios en el uso del suelo conllevan a una disminución de la capacidad de depuración del agua que circula en los humedales. Ante esta situación, algunos países de Europa y América del Norte han comenzado a invertir grandes recursos para restaurar las zonas de humedales degradadas. Resulta de máxima importancia entender que la degradación paulatina y creciente de los humedales, conducirá a un estado ecológico deteriorado, muchas veces muy difícil de revertir.

Un claro ejemplo de la importancia de la conectividad en los procesos de depuración

El estudio de Bodoque y col. (2017) determinó la capacidad de atenuación de la contaminación de los humedales asociados al río Tajo, en España, donde predomina la agricultura de regadío y donde la conexión hidráulica de la llanura aluvial con el río es prácticamente inexistente. Luego de realizar mediciones de parámetros hidráulicos, fisicoquímicos, bacterianos y biológicos durante un año, los autores observaron que, por ejemplo, el proceso de eliminación de Nitrógeno (desnitrificación) se redujo drásticamente por la supresión de los pulsos de inundación, siendo casi inexistente. Las condiciones óptimas como las condiciones hídricas del suelo, la limitación de oxígeno, fueron inadecuadas para llevar a cabo tal proceso, y por tanto no fue eficiente el proceso de depuración, concluyendo que la modificación del régimen hidrológico por acciones humanas puede reducir la capacidad de los humedales para mejorar la calidad del agua.

El Delta del Paraná: un refugio de calidad hídrica frente a las presiones antrópicas

Si bien el Delta del Paraná presenta presiones antrópicas las evidencias sobre los niveles de nutrientes y contaminantes del agua, a diferencia de los reportados para otros Deltas y grandes humedales del mundo (excepto Amazonas), en general todavía muestran un estado de la calidad del agua conservado, donde no existe un aumento significativo de la concentración de nutrientes aguas abajo en el cauce principal a pesar de los aportes que recibe. La extensa planicie de inundación, aún conservada en gran parte, y actúa como amortiguadora de las presiones que recibe, siendo capaz de contrarrestar el aumento de la carga de nutrientes provenientes de las distintas fuentes, a lo largo de las últimas décadas.



Rubén Quintana

Aportes para la valoración socioeconómica y ambiental

El conocimiento y la valoración respecto a la función de depuración del agua y a los procesos asociados aún son muy incipientes para los grandes sistemas fluviales de América del Sur. Valorar, particularmente, el servicio de depuración de agua implica reconocer, describir, estimar y/o medir los beneficios que tienen para la sociedad y para la integridad de los ecosistemas.

El camino hacia la valoración integra una serie de acciones clave, tales como:



Nadia Boscarol



Desafíos y recomendaciones

Conservación de humedales naturales



Es fundamental conservar (preservar, usar sosteniblemente, y/o restaurar) los humedales y minimizar las modificaciones del paisaje que afectan su régimen hidrológico, su conectividad hídrica y los componentes naturales que facilitan la depuración y mejora de la calidad del agua. La alteración de estos ecosistemas puede reducir significativamente su capacidad para purificar el agua a distintas escalas.

Acciones

- Promover la definición de una metodología común a nivel de los países de Cuenca del Plata que permita avanzar nacionalmente los procesos de Inventario Nacional de Humedales en los 5 países de la cuenca con el objetivo de identificar, caracterizar, delimitar y conservar los humedales en diferentes escalas o niveles.
- Fomentar a partir de esa información la incorporación de los humedales en las estrategias nacionales de ordenamiento ambiental del territorio con el fin de planificar un uso racional y formas de ocupación adaptadas a las particularidades y funcionamiento de estos ecosistemas.
- Desarrollar planes de acción para la valoración ambiental y socioeconómica de servicios ambientales.

Control y reducción de contaminantes



Fortalecer las capacidades para controlar y minimizar los vertidos de contaminantes tanto de fuentes puntuales (industriales, urbanas) como difusas (escorrentías urbanas, agrícolas, otros usos del suelo), para mantener la eficacia de los humedales en la depuración de aguas, implementando a su vez mejores prácticas en el uso del agua.

Acciones

- Establecer y reforzar regulaciones para controlar los vertidos industriales, urbanos y agrícolas en todas las jurisdicciones.
- Desarrollar y mejorar la operación de plantas de tratamiento de aguas residuales para asegurar que los efluentes sean adecuadamente tratados antes de ingresar a los cursos de agua superficiales y humedales, incorporando tecnologías que eliminen contaminantes orgánicos e inorgánicos, así como organismos patógenos.
- Implementar infraestructuras verdes y soluciones basadas en la naturaleza para mejorar al tratamiento de efluentes domésticos (humedales artificiales) y para reducir las escorrentías urbanas, y agrícolas.
- Implementar estrategias de reutilización del agua, el manejo eficiente de las cuencas y la protección de las fuentes de agua.

Monitoreo y seguimiento ambiental



Mantener y expandir las redes de monitoreo de la calidad del agua a nivel local y regional para poder realizar una evaluación constante del estado del agua, así como la identificación temprana de posibles problemas de contaminación.

Acciones

- Armonizar normativas y desarrollar criterios para la evaluación de la calidad del agua (estándares/niveles guía).
- Expandir mediciones de calidad del agua en puntos estratégicos de la Cuenca aún no atendidos (Bajo Paraguay) para obtener una visión integral de la calidad del agua en la Cuenca,
- Reforzar los monitoreos estacionales a nivel local en los sitios más cercanos a las principales fuentes de contaminación.
- Crear una red de estaciones de monitoreo entre municipios y otras instituciones en puntos estratégicos de la Cuenca capaces de medir parámetros físicos, químicos y biológicos, así como detectar eventuales episodios de contaminación.

Fortalecimiento de los sistemas de alerta



Incrementar los esfuerzos en el desarrollo de sistemas de alerta temprana, para gestionar de manera más eficiente los riesgos asociados a la contaminación y los cambios en los ecosistemas acuáticos.

Acciones

- Desarrollar plataformas accesibles para la población local y los responsables de la gestión ambiental, que proporcionen información actualizada sobre la calidad del agua, posibles riesgos de contaminación y las acciones a tomar en caso de emergencia.

Promoción de la investigación y la tecnología



Es fundamental seguir aportando evidencias científicas para ampliar el conocimiento sobre las funciones de depuración del agua, su eficiencia y alcance.

Acciones

- Fomentar el desarrollo de investigaciones científicas centradas en la capacidad de los humedales para depurar diferentes tipos de contaminantes (químicos, biológicos, físicos).
- Fomentar la implementación de tecnologías avanzadas, como sensores remotos, sistemas de monitoreo en tiempo real y herramientas basadas en inteligencia artificial, para evaluar de manera eficiente y precisa los cambios en la calidad del agua y los riesgos asociados a la contaminación.
- Crear y promover el uso de indicadores específicos para evaluar la capacidad de depuración de los humedales.

Capacitación y concientización pública



Es necesario producir evidencia, informar y sensibilizar a la población sobre los beneficios ambientales de los humedales, promoviendo su valor no solo como ecosistemas naturales, sino también como aliados en la mejora de la calidad del agua.

Acciones

- Desarrollar programas educativos dirigidos a gestores, técnicos y comunidades locales, con el objetivo de brindarles conocimientos sobre los procesos de depuración que realizan los humedales y cómo estos ecosistemas contribuyen a la salud pública y al bienestar ambiental.
- Impulsar programas dirigidos a funcionarios gubernamentales y tomadores de decisiones en políticas públicas, enfocados en las contribuciones de los humedales a la depuración del agua y la necesidad de protegerlos y gestionarlos adecuadamente.
- Desarrollar investigaciones y difundir información sobre enfermedades de origen hídrico.
- Fomentar la educación ambiental como herramienta clave en la sensibilización y acción sobre estos temas.



Bibliografía

- Abdullah S.R.S., Al-Baldawi I.A., Almansoori A.F., Purwanti I.F., Al-Sbani N.H., Sharuddin S.S.N. (2020). Plant-assisted remediation of hydrocarbons in water and soil: Application, mechanisms, challenges and opportunities. *Chemosphere* 247. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125932>
- Aguilar L., Gallegos Á., Martín Pérez L., Arias C.A., Rubio R., Haulani L., García Raurich J., Pallarés M., de Pablo J., Morató J. (2021). Effect of intermittent induced aeration on nitrogen removal and denitrifying-bacterial community structure in Cork and gravel vertical flow pilot-scale treatment wetlands. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering* 56:1121-1130. <https://doi.org/10.1080/10934529.2021.1967652>
- Bodoque J.M., Ladera J., Yela J.L., Alonso-Azcárate J., Brito D., Antigüedad I., Duran R., Attard E., Langa B., Sánchez-Pérez J.M. (2017). Recovering hydromorphological functionality to improve natural purification capacity of a highly human-modified wetland. *Ecological Engineering* 103:332-343. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.02.013>
- Bonetto A.A., Hurtado S. (1999). Cuenca del Plata. En: Canevari P., Blanco D.E., Bucher E.H., Castro G., Davidson (eds) *Los humedales de la Argentina: clasificación, situación actual, conservación y legislación*. Wetlands International, pp 31-72.
- Canevari P., Blanco D., Bucher E., Castro G., Davidson I. (1999). Los humedales de la Argentina. *Clasificación actual, conservación y legislación*. Buenos Aires, pp 208.
- Depetris P.J., Probst J.L., Pasquini A.I., Gaiero D.M. (2003). The geochemical characteristics of the Paraná River suspended sediment load: an initial assessment. *Hydrological processes* 17:1267-1277.
- Guilhen J., Al Bitar A., Sauvage S., Parrens M., Martinez J.-M., Abril G., Moreira-Turcq P., Sánchez-Pérez J.-M. (2020). Denitrification, carbon and nitrogen emissions over the Amazonian wetlands. *Biogeosciences Discussions*: 1-22. <https://doi.org/10.5194/bg-2020-3>
- Huber P., Metz S., Unrein F., Mayora G., Sarmiento H., Devercelli M. (2020). Environmental heterogeneity determines the ecological processes that govern bacterial metacommunity assembly in a floodplain river system. *Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology* 14:2951-2966. <https://doi.org/10.1038/s41396-020-0723-2>
- Kandus P., Quintana R.D., Minotti P.G., Oddi J., Baigún C., González Trilla G., Ceballos D. (2011). Ecosistemas de humedal y una perspectiva hidrogeomórfica como marco para la valoración ecológica de sus bienes y servicios. *Valoración de servicios ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Buenos Aires: INTA:265-290.
- Kandus P., Minotti P., Morandera N., Gayol M. (2019). Inventario de Humedales de la Región del Complejo Fluvio-Litoral del Bajo Paraná. Programa Corredor Azul. Fundación Humedales/Wetlands International y Universidad Nacional de San Martín. Buenos Aires, Argentina
- Pratolongo P., Kandus P., Brinson M.M. (2007). Net aboveground primary production and soil properties of floating and attached freshwater tidal marshes in the Río de la Plata Estuary, Argentina. *Estuaries and Coasts* 30:618-626. <https://doi.org/10.1007/BF02841959>
- Primost J.E. (2019). Dinámica de nutrientes en aguas superficiales del Delta del Paraná. Impactos del desarrollo productivo regional en la sustentabilidad del ecosistema. Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata.
- Primost J.E., Peluso L., Sasal M.C., Bonetto C.A. (2022). Nutrient dynamics in the Paraná River Delta: Relationship to the hydrologic regime and the floodplain wetlands. *Limnologia* 94:125970. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2022.125970>
- Sánchez Pérez J.M., Trémolières M., Takatert N., Ackerer P., Eichhorn A., Maire G. (1999). Quantification of nitrate removal by a flooded alluvial zone in the Ill floodplain (Eastern France). *Hydrobiologia* 410:185-193. <https://doi.org/10.1023/A:1003834014908>
- Sarubbi A. (2007). Análisis del Avance del Frente del Delta del Río Paraná. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, pp.
- Schell H., Cumini M.L., Cislighi A.M., Bujía D. (2010). Información de la actividad avícola de Entre Ríos, período enero-mayo 2010.
- Sun X., Bernard-Jannin L., Sauvage S., Garneau C., Arnold J.G., Srinivasan R., Sánchez-Pérez J.M. (2017). Assessment of the denitrification process in alluvial wetlands at floodplain scale using the SWAT model. *Ecological Engineering* 103:344-358. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.098>
- Unrein F. (2001). Efecto de los nutrientes y el pH sobre el crecimiento y la estructura del fitoplancton en ambientes de la llanura aluvial del Paraná Inferior. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires, pp.
- Vera L., Martel G., Márquez M., 2010. First year performance of a new constructed wetland on the island of Gran Canaria: A case study. Conference: 12nd IWA International Conference on Wetland System for Water Pollution. Water Department, Instituto Tecnológico de Canarias (ITC).
- Villar C.A., de Cabot L., Bonetto C.A. (1996). Macrophytic primary production and nutrient concentrations in a deltaic floodplain marsh of the Lower Paraná River. *Hydrobiologia* 330:59-66. <https://doi.org/10.1007/BF00020824>
- Vymazal J., Březinová T. (2015). The use of constructed wetlands for removal of pesticides from agricultural runoff and drainage: A review. *Environment International* 75:11-20. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.026>

Esta publicación se terminó de imprimir
en el mes de junio de 2025 en
SAN Insumos Digitales,
Joaquín V. González 3154,
Ciudad Autónoma de Buenos Aires,
Argentina.

Se realizaron 100 ejemplares
sobre papel ilustración de 115 g y tapas
en cartulina ilustración de 300 g.



Wetlands
INTERNATIONAL

Fundación Humedales

Wetlands International LAC
Cap. Gral. Ramón Freire 1512
CP 1426 Buenos Aires, Argentina
Tel: +54 (11) 45522200
info@humedales.org.ar
lac.wetlands.org

ISBN 978-631-91058-2-7



9 786319 105827

Esta publicación se elaboró en el marco del Programa Corredor Azul de Wetlands International