



Ministerio
de Ambiente

Evaluación de la calidad del agua en los arroyos Grande del Norte y Grande del Sur

Período 2019 - 2023



Ministerio de Ambiente
División Protección de la Calidad Ambiental
Departamento de Indicadores y Modelos Ambientales Predictivos
Enero 2025

Ministerio de Ambiente

Robert Bouvier

Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental

Eduardo Andrés López

Área Información y Calidad Ambiental

Ing. Eugenio Lorenzo

División Protección de la Calidad Ambiental

Departamento de Indicadores y Modelos Ambientales Predictivos

Biol. Mag. Lizet De León

Departamento de Monitoreo y Evaluación Ambiental

Ing. Quím. Magdalena Hill

División Laboratorio Ambiental

Q.F. Natalia Barboza

Equipo de monitoreo (DMEA)

Lic. Mario Acosta, Oc. PhD. Guillermo Cervetto, Mag. Natalie Corrales, Lic. Carolina Ferrer, Bach. Lucía Gómez, MSc. Facundo Lepillanca, Téc. Agrop. Javier Martínez, Lic. Belén Ocampo y Bach. Mahtías Toledo

Equipo de redacción (DIMAP)

Biol. Mag. Federico Quintans, Lic. Mag. Verónica Sykora*, Biol. Mercedes Gelós, Ing. Mag. Pablo Kok, y Lizet De León. (*Consultora)

Este documento se terminó de elaborar en enero de 2025

DINACEA, Juncal 1385 Montevideo, CP 11100, Uruguay

Teléfono: (+598) 2917 33 80

Número de páginas: 44

ISBN 978-9915-9672-9-5

Imagen en portada: A° Grande del Sur – P° de Lugo (Federico Quintans)

Como citar este documento:

Ministerio de Ambiente-Dinacea. 2025. Evaluación de la calidad del agua en los arroyos Grande del Norte y Grande del Sur. Período 2019-2023. Informe Técnico. División Protección de la Calidad Ambiental-Dpto. de Indicadores y Modelos Ambientales Predictivos. Montevideo. Uruguay.

RESUMEN

El presente informe expone la calidad del agua de los arroyos Grandes del Norte y del Sur entre los años 2019 y 2023. Ambos cursos de agua son tributarios del Río Negro y poseen cuencas similares en cuanto a su tamaño, forma y tipo de suelo, pero poseen una importante diferencia en sus coberturas y usos del suelo. La cuenca del arroyo Grande del Norte se encuentra cubierta por el campo natural, que abarca poco más de la mitad de su territorio, mientras que la restante es utilizada para la agricultura y la forestación aproximadamente en partes iguales. Pero en el caso del arroyo Grande del Sur, más de la mitad de su cuenca se encuentra ocupada por la agricultura.

El monitoreo de calidad de agua no mostró indicios de contaminación por materia orgánica, lo que se evidenció en los bajos valores de DBO₅ y los valores elevados de oxígeno, parámetros que además siempre cumplieron con la normativa aplicable. Los parámetros de calidad de agua indicadores de potencial contaminación urbana o industrial (DQO, coliformes termotolerantes, AOX y fenoles) tuvieron también en ambos cursos de agua concentraciones acordes a lo establecido en las normas y niveles guía aplicables, lo cual concuerda con la ausencia de fuentes puntuales significativas en ambas cuencas.

Por otra parte, se determinaron concentraciones muy elevadas de nitrógeno y principalmente de fósforo en el arroyo Grande del Sur, las cuales son atribuibles a la actividad agrícola en la cuenca. A pesar de la elevada concentración de nutrientes, la producción primaria en el agua no fue elevada probablemente debido al bajo tiempo de permanencia del agua en el curso. Sin embargo, los compuestos presentes en el agua del arroyo Grande del Sur son descargados en el embalse Palmar, en el Río Negro, embalse que también recibe las aguas del río Yí y que es un sitio donde frecuentemente se registran floraciones de cianobacterias durante los meses más cálidos. Por lo tanto, es probable que los nutrientes descargados por el arroyo Grande del Sur contribuyan con el deterioro de la calidad del agua de este embalse del Río Negro.

Se puede concluir que mientras el arroyo Grande del Norte presenta una buena o relativamente buena condición de calidad de agua, en el arroyo Grande del Sur es inferior debido fundamentalmente a la elevada concentración de nutrientes registrada. La situación mencionada amerita estudios de medidas tendientes a disminuir los aportes de nutrientes a los cursos de la cuenca, las cuales deberán estar focalizadas principalmente en las actividades agrícolas y ganaderas que allí se desarrollan.

Contenido

1.	Introducción	5
1.1.	Objetivos	5
1.2.	Generalidades	6
1.3.	Programa de monitoreo de calidad de agua.....	9
2.	Resultados del monitoreo de calidad de agua	12
2.1.	Temperatura.....	12
2.2.	Oxígeno disuelto.....	14
2.3.	pH	15
2.4.	Conductividad	16
2.5.	Turbidez.....	17
2.6.	Sólidos totales	18
2.7.	Nitrógeno total.....	19
2.8.	Nitrógeno amoniacal.....	20
2.9.	Nitrato	22
2.10.	Fósforo total	23
2.11.	Fosfato.....	25
2.12.	Coliformes	26
2.13.	Clorofila <i>a</i>	28
2.14.	DBO ₅	29
2.15.	DQO.....	30
2.16.	Glifosato y AMPA.....	32
2.17.	Otros parámetros de calidad de agua.....	32
	Fenoles	32
	AOX.....	33
	Cationes.....	33
	Arsénico y mercurio	34
3.	Relación entre los parámetros de calidad de agua y los caudales.....	34
4.	Cargas de nitrógeno y fósforo exportadas desde la cuenca	37
5.	Discusión	38
6.	Conclusión	40
7.	Bibliografía	42

1. Introducción

La calidad de los cuerpos de agua está determinada por las características hidrológicas, geológicas y biológicas de su cuenca hidrográfica, así como por las actividades humanas que se desarrollan en esta última. Para implementar una gestión sostenible de los recursos hídricos es necesario conocer las variaciones en el espacio y en el tiempo de la calidad del agua de los ríos y evaluar los principales factores que influyen sobre la misma (GEMS/WATER, 1992).

Los programas de monitoreo de calidad de agua constituyen una herramienta que permite hacer un seguimiento del estado de los cuerpos de agua, registrar los cambios naturales y eventualmente, determinar afectaciones ocasionadas por las actividades humanas en los mismos o en sus cuencas hidrográficas. La evaluación integrada interpreta el estado del ambiente como resultado de la interacción de su dinámica natural junto con las afectaciones que ocasionan las actividades humanas en la cuenca.

El Ministerio de Ambiente (MA) es el organismo responsable de la evaluación y análisis de la calidad de los cuerpos de agua del país, así como también de su preservación y de la comunicación de resultados y propuestas para lograrlo. La Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental (DINACEA, antes DINAMA) del MA, a través de la División Protección y Calidad Ambiental (DPCA), realiza monitoreos de calidad de agua de diversos cursos del territorio, como forma de seguimiento de las condiciones de calidad y vigilancia del ambiente. Los arroyos Grande del Norte (AGdN) y Grande del Sur (AGdS) se encuentran dentro de la cuenca del Río Negro, al igual que otros cursos que también son monitoreados regularmente: el río Tacuarembó y el río Yí. Cada año se realizan reportes con los resultados de los monitoreos de todos estos cursos, así como los de los restantes cursos del territorio nacional monitoreados, los cuales se encuentran disponibles en el Observatorio Ambiental Nacional ([OAN](#)) del Ministerio de Ambiente.

El presente informe ha sido elaborado por el Departamento de Indicadores y Modelos Ambientales Predictivos y reúne un análisis detallado sobre el estado de la calidad del agua. Para ello, se han considerado diversos parámetros físicos, químicos y microbiológicos de los arroyos Grande del Norte y Grande del Sur, basándose en los datos obtenidos durante el período 2019-2023 por el Departamento de Monitoreo y Evaluación Ambiental (DMEA) de la DPCA, con la valiosa asistencia analítica de la División Laboratorio Ambiental. Esta información se complementa con información sobre la cuenca aportada por la División Control Ambiental y por la División Información Ambiental, de forma de hacer un análisis integral de la calidad de agua de estos cursos y de su relación con las actividades que se desarrollan en las cuencas.

1.1. Objetivos

El objetivo de este informe es evaluar y comunicar el estado general de la calidad del agua en los arroyos Grande del Sur y Grande del Norte durante el período estudiado, teniendo en cuenta la

variabilidad natural debido a la estacionalidad o a las precipitaciones, así como a los usos del suelo en la cuenca.

1.2. Generalidades

Los arroyos Grande del Norte y Grande del Sur se encuentran hacia el último tramo del Río Negro (Figura 1). El Arroyo Grande del Sur desemboca en el embalse Palmar, cerca de Andresito y junto a la desembocadura del río Yí, en tanto que el Arroyo Grande del Norte desemboca aguas abajo del embalse. Ambos cursos se encuentran sobre la cuenca baja del Río Negro, una de las regiones de mayor producción agrícola del país.

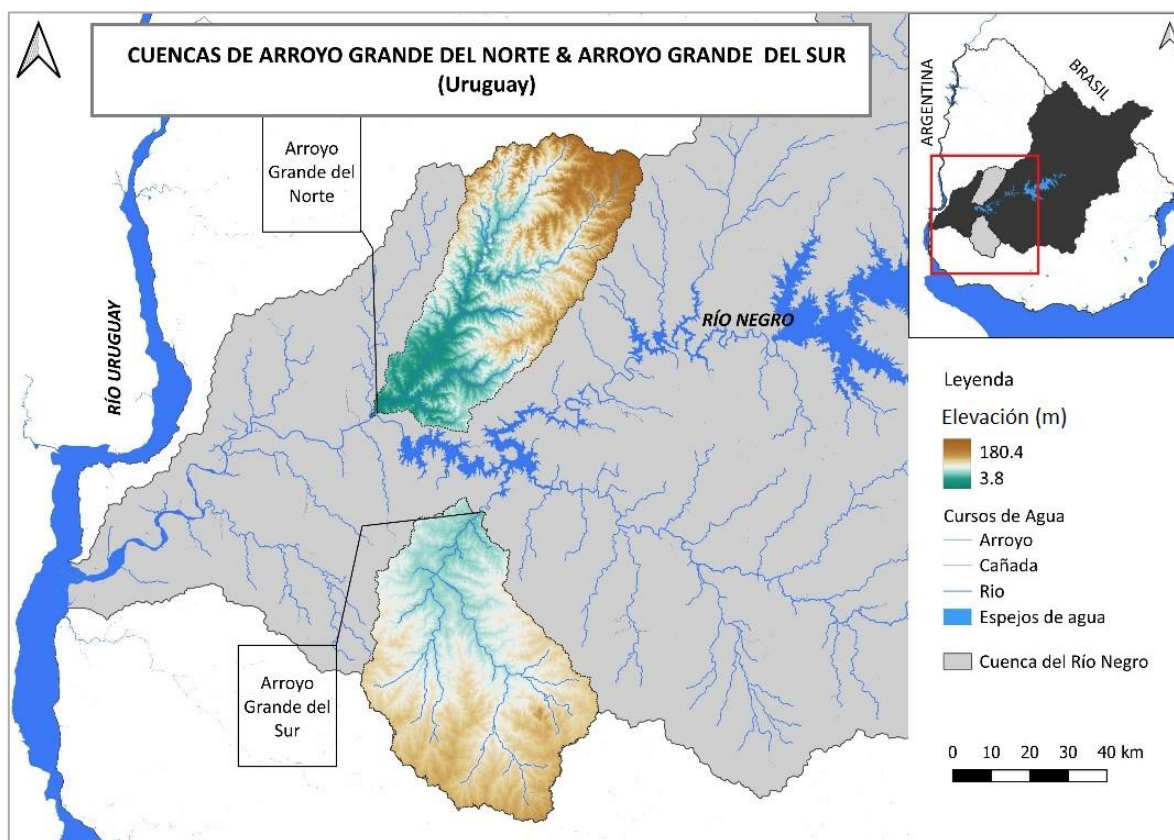


Figura 1 Ubicación de las cuencas de los Arroyos Grandes.

El Arroyo Grande del Sur (AGdS) es un curso fluvial que marca el límite entre los departamentos de Flores y Soriano, en Uruguay. Su cuenca tiene un área aproximada de 3.200 Km². Este arroyo nace en la Cuchilla Grande Inferior (aprox. 170 msnm), sobre el sector norte de Ismael Cortinas y atraviesa la Penillanura Cristalina. Su curso tiene unos 120 kilómetros de longitud y desemboca en el embalse del Palmar, en las inmediaciones de Andresito (aprox. 35 msnm). El principal tributario del AGdS es el Arroyo del Perdido, cuya cuenca se ubica al oeste y corre hacia el norte, en forma paralela al AGdS (Figura 2).

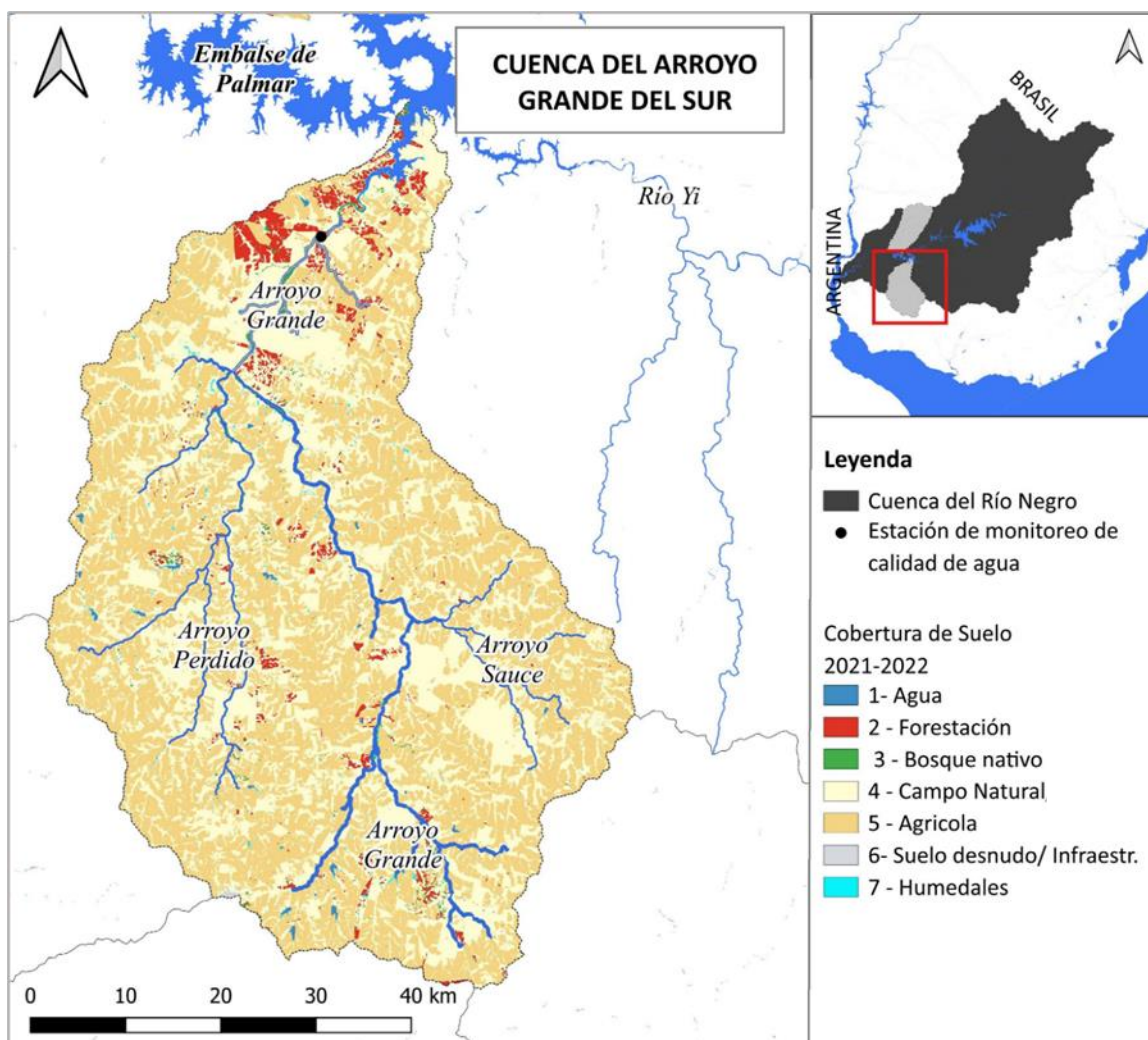


Figura 2 Mapa de la cuenca del AGdS y la red hidrográfica.

En la cuenca del AGdS existe un importante desarrollo de cultivos extensivos de secano y en menor proporción de cultivos bajo riego, intercalados con zonas dedicadas a la ganadería a campo natural en zonas donde hay afloramientos de basalto. También se registran algunos establecimientos de cría de ganado en forma intensiva, tanto en *feed lots* como en praderas. A excepción de Ismael Cortinas (1075 hab.), no existen centros urbanos sobre el cauce ni en la cuenca del AGdS.

El Arroyo Grande del Norte (AGdN) o Arroyo Grande, nace en las estribaciones del suroeste de la Cuchilla del Haedo y recorre alrededor de 100 km hacia el suroeste hasta desembocar en el Río Negro. La cuenca de este arroyo tiene un área aproximada de 2.800 Km² y se encuentra exclusivamente en el departamento del Río Negro. Hacia la mitad del curso principal se anexa el A° Averías Grande, el cual es el tributario más importante del sector este de la cuenca. Hacia el oeste no existen tributarios relevantes dada la proximidad del límite de la cuenca demarcado por la Cuchilla del Ombú. Unos 10 km antes de la desembocadura del AGdN en el Río Negro desde el sector

este también se incorpora el A° de las Flores, cuya cuenca es de algo más de 500 Km². Debido a que la única estación de muestreo del AGdN se encuentra aguas arriba de esta confluencia, ese sector de la cuenca no es tenido en cuenta en este estudio (Figura 3).

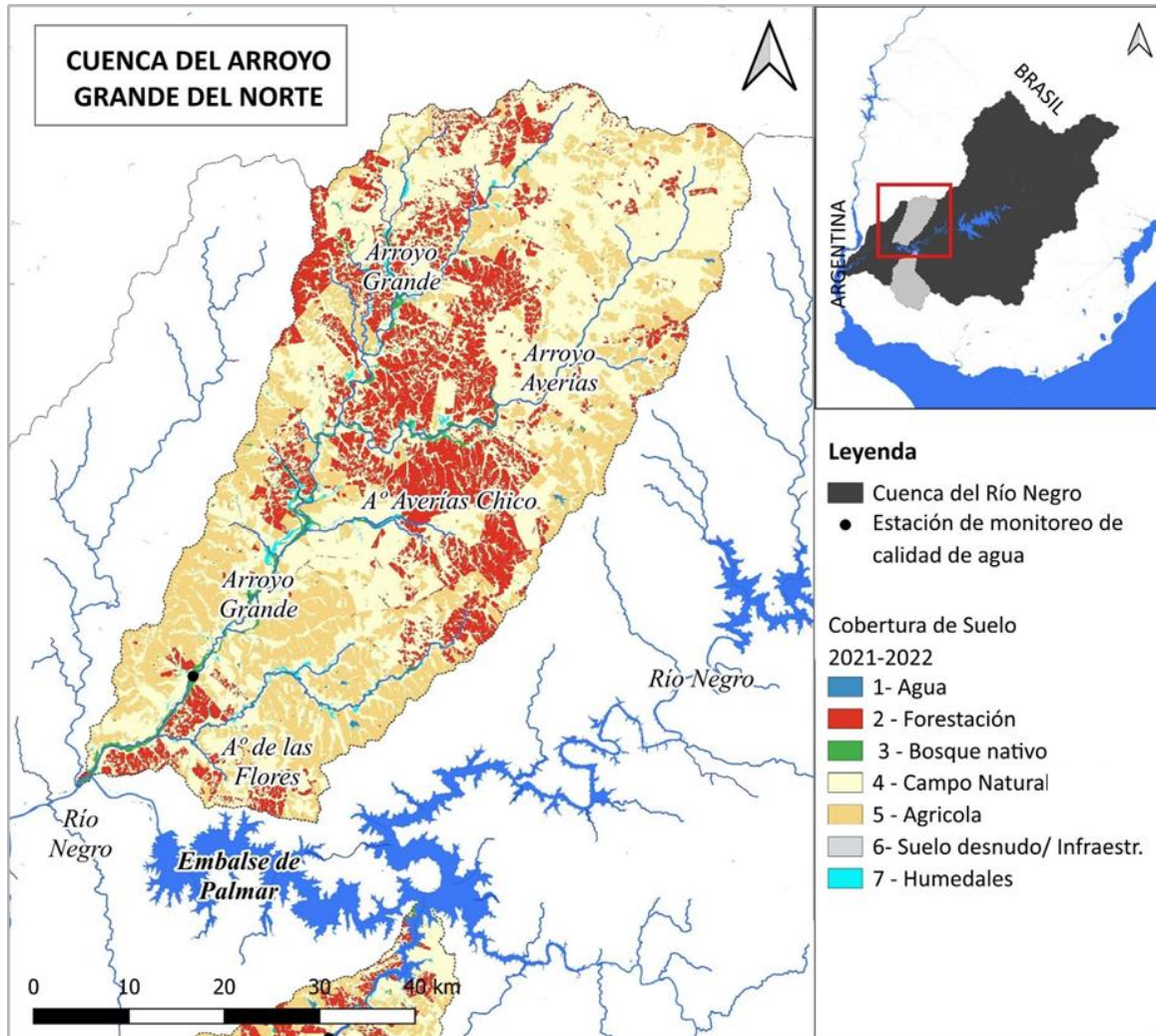


Figura 3 Mapa de la cuenca del AGdN y la red hidrográfica.

El relieve de la cuenca del AGdN es más escarpado que la del AGdS y se caracteriza por un terreno ondulado que se desarrolla sobre la parte superior de mesetas que caen abruptamente sobre los cursos de agua, formando valles de unos 20 m de profundidad. En la parte alta de su cuenca (100 a 160 msnm), hacia el noreste el paisaje dominante es el campo natural, en tanto que en la cuenca media se extienden grandes plantaciones forestales de eucaliptus, siendo ésta la principal actividad en la cuenca. Sobre la parte baja (15 a 100 msnm) se destacan los cultivos de secano, tanto de oleaginosas como de cereales. De manera similar que en la cuenca del AGdS, en esta área no se encuentran centros poblados de envergadura ni actividades industriales con vertidos registrados al curso de agua.

Las cuencas de ambos arroyos son de similar extensión y tipo de suelo (con alto porcentaje de Argiudolls), pero presentan diferencias importantes en su ocupación (MGAP, 2020). Según la cobertura nacional anual 2021-2022 del [OAN](#), mientras en el AGdN el uso del suelo mayoritario corresponde al campo natural (54,1%), en el AGdS el uso predominante corresponde a la agricultura (52,4%) (Tabla 1). En el sistema de clasificación empleado, las pasturas (superficies sembradas con especies vegetales destinadas a la ganadería) se encuentran incluidas dentro de la agricultura.

Tabla 1 Principales coberturas y usos de suelo (Km²) determinados para las cuencas de los AGdN y AGdS a partir de la información extraída de los mapas de cobertura nacional anual 2021-2022 del OAN.

Cobertura/uso de suelo	AGdN	AGdS
Forestación	518,4	92,9
Bosque Nativo	64,3	44,4
Campo natural	1473,6	1414,1
Agrícola	664,8	1710,4

1.3. Programa de monitoreo de calidad de agua

El programa de monitoreo de calidad de agua de estos arroyos comenzó en setiembre de 2019 y dada la proximidad geográfica, para optimizar las operaciones logísticas se realiza junto con el monitoreo de calidad de agua del río Yí y se ejecuta con una frecuencia estacional, aunque debido a diferentes situaciones en algunos momentos dicha frecuencia no pudo ser cumplida. Desde su inicio y hasta fines de 2023 se realizaron un total 12 campañas de monitoreo (Tabla 2). Ambos cursos cuentan con una única estación de monitoreo: en el AGdN se ubica sobre la ruta 3 (Paso de los mellizos) y en el AGdS sobre la ruta 14 (Paso de Lugo) (Figuras 2 y 3). La toma de muestras y mediciones se hacen de forma subsuperficial, directamente sobre los cursos y no desde los puentes.

Tabla 2 Fechas de monitoreo del programa de Arroyos Grandes.

Año	Fecha de muestreo
2019	05/09/2019
	31/10/2019
2020	04/06/2020
	06/08/2020
	19/11/2020
2021	11/02/2021
	06/10/2021
2022	10/02/2022
	27/10/2022
2023	19/01/2023
	25/07/2023
	24/10/2023

Este programa comprende el análisis de 33 parámetros de calidad de agua, dentro de los que se incluyen parámetros generales medidos *in situ*, nutrientes, estimadores de materia orgánica (DBO₅) y materia oxidable químicamente, distintos tipos de sólidos presentes en el agua, pigmentos algales,

bacterias indicadoras de contaminación fecal, cationes y glifosato y su principal metabolito (AMPA) (Tabla 3). La mayor parte de estos parámetros cuentan con estándares o niveles guía existentes en distintos documentos, ya sean vinculantes (Decreto 253/79 vigente para cuerpos de agua Clase 3) o de valor técnico (GESTA, 2014 y MTA, 2017).

Tabla 3 Parámetros determinados, límites y niveles guía de calidad de agua aplicables.

Parámetro	Unidad	Dec. 253/79	GESTA 2014	MTA 2017
Temperatura	°C			
Turbidez	NTU	50		
Conductividad	µS/cm			
Oxígeno disuelto	mg/L	>5		
Saturación de oxígeno	%			
Potencial de hidrogeno (pH)	-	6,5 - 8,5		
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L			
Sólidos suspendidos totales	mg/L			
Sólidos totales	mg/L			
Sólidos totales fijos	mg/L			
Sólidos totales volátiles	mg/L			
Clorofila a (medición en laboratorio)	µg/L			30
Feofitina (medición en laboratorio)	µg/L			
Nitrógeno total	mg N/L			1
Amoníaco Libre	µg/L	20		
Nitrógeno Amoniacal (amonio)	mg NH ₄ -N/L		0,5	
Nitrato	mg NO ₃ -N/L	10	5	
Nitrito	mg NO ₂ -N/L		0,1	
Fósforo total	µg P/L	25	25	70
Fosfato (ortofosfato)	µg PO ₄ -P/L			
Demanda biológica de oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	10		
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L			
Coliformes Termotolerantes (Fecales) (Determinados por membrana Filtrante)	UFC/100ml	2000*	1000**	
Arsénico	mg/L	0,005		
Calcio total	mg/L			
Magnesio total	mg/L			
Mercurio total	mg/L	0,0002		
Potasio total	mg/L			
Sodio total	mg/L			
Cianuro total	mg/L	0,005	0,02	
Compuestos Halogenados adsorbibles (AOX)	µg/L			
Sustancias fenólicas	µg/L	200	5	
Glifosato	µg/L		65	
AMPA	µg/L			

(*) No se deberá exceder el límite de 2000 UFC/100 ml en ninguna de al menos 5 muestras debiendo la media geométrica de las mismas estar por debajo de 1000 CF/100 mL. (**) Valor de media geométrica móvil de 5 muestras consecutivas.

Los datos de temperatura, conductividad, oxígeno (disuelto y porcentaje de saturación) y turbidez fueron obtenidos *in situ* mediante sondas de medición. Los análisis de los restantes parámetros fueron realizados en el laboratorio ambiental del MA siguiendo los procedimientos estandarizados que se detallan en el Manual de Procedimientos Analíticos para Muestras Ambientales (MVOTMA – Laboratorio Ambiental, 2017), y que se basan mayormente en el *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water; 21st edition*.

En algunos casos determinados parámetros, debido a limitaciones propias de la técnica de la matriz analítica, si bien fueron detectados, no pudieron ser cuantificados. En esos casos se puede afirmar que dichos parámetros existen en las muestras, pero en una concentración que no puede ser determinada y por tanto se refiere a ellos como inferiores al límite de cuantificación del análisis (<LC). Asimismo, en los casos en que un parámetro no es detectado, al ser el valor de detección de la técnica mayor a cero, no se puede asegurar que la no detección signifique que dicho parámetro efectivamente no exista en la muestra, sino más bien significa que el parámetro puede estar ausente en la muestra o encontrarse en un rango entre el cero y el límite de detección. En esos casos los valores son catalogados como “menores al límite de detección de la técnica” (<LD). Los límites de cada técnica analítica están descritos en el Compendio de Metodologías Analíticas de Referencia y Preservación de Parámetros Ambientales (MA, 2023). En el manejo estadístico de los datos, en ambos casos los parámetros son tomados con el valor equivalente a LD o LC, según corresponda. Es decir, se asume un criterio conservador. Al graficar la evolución temporal de cada parámetro en cada sitio de monitoreo, los valores inferiores al límite de detección (<LD) se señalan con una “x” y los inferiores al límite de cuantificación (<LC) con “+”.

Con el fin de comparar los dos cursos de agua se realizaron para cada parámetro diagramas de cajas a los que le superpusieron los resultados obtenidos de cada muestra (Figura 4). Este tipo de gráfico, también conocido por su nombre en inglés (“boxplot”), permite observar la distribución general de los datos. Para la construcción de estos diagramas los resultados obtenidos para cada parámetro se ordenan de menor a mayor, en este caso verticalmente. La caja o rectángulo principal se delimita por el percentil 25 (cuartil 1 o Q1) y el percentil 75 (cuartil 3 o Q3) de los valores, siendo el percentil el valor por debajo del cual se encuentra un porcentaje dado de valores. La línea que lo atraviesa es la mediana o percentil 50 (la mitad de los datos se encuentra por debajo de la misma y la otra mitad por encima). No debe confundirse con la media o promedio, que se calcula sumando todos los valores en el conjunto de datos y luego dividiendo la suma por el número total de valores, si bien cuando no existen muchos valores extremos ambas medidas son muy similares. El alto de la caja por lo tanto abarca el 50% de los datos y comprende el rango intercuartílico (valores entre el cuartil 1 y el cuartil 3). Por fuera de la caja pueden existir líneas verticales conocidas como “bigotes”, que contienen los valores por fuera de la caja que igualmente se consideran “típicos” o “normales” dentro del grupo de datos. El bigote superior se extiende desde el Q3 hasta el valor más grande,

como máximo hasta 1,5 veces el rango intercuartílico. El bigote inferior en tanto se extiende desde el Q1 hasta el valor más pequeño y como máximo hasta 1,5 el rango intercuartílico. Finalmente en caso de existir valores por fuera de los bigotes, los mismos son considerados “atípicos” (“outliers”).

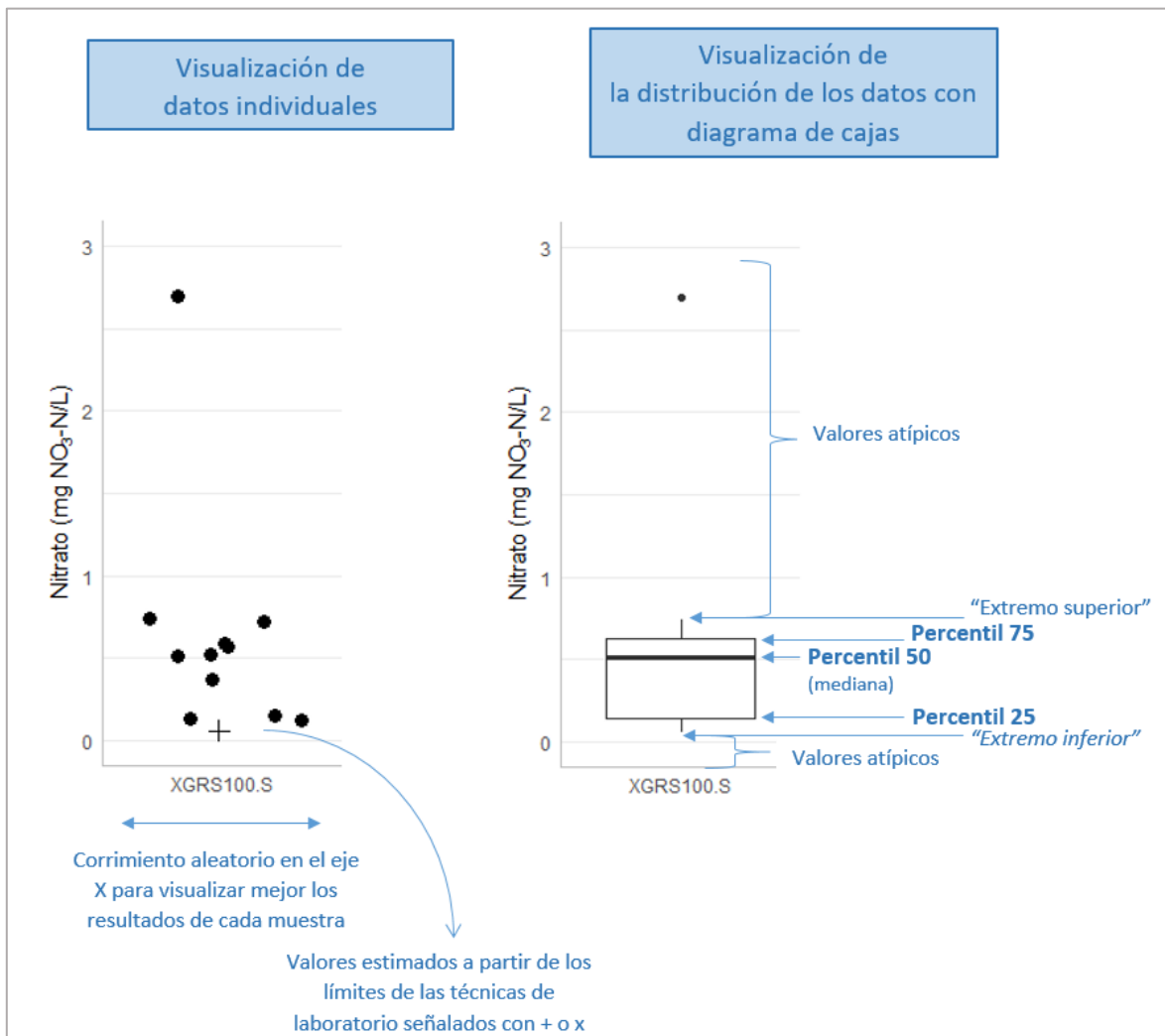


Figura 4 Ejemplo de la visualización de datos por sitio de monitoreo.

2. Resultados del monitoreo de calidad de agua

2.1. Temperatura

La temperatura de los cursos de agua de Uruguay refleja la estacionalidad del clima. Las temperaturas promedio en invierno se encuentran en el entorno de los 14°C y durante el verano alrededor de los 26°C. En los arroyos Grande la temperatura estuvo marcada por la estacionalidad,

presentando mínimas en el entorno de los 12°C y máximas en el entorno de los 28°C, siendo estas últimas levemente superiores en el AGdN (Figura 5 y Figura 6). Esta pequeña diferencia probablemente se deba a las diferencias entre los sitios de muestreo, siendo el del AGdN un lugar más abierto y soleado que el sitio del AGdS. La temperatura media sin embargo no mostró diferencias entre los sitios, con valores en el entorno a los 20°C.

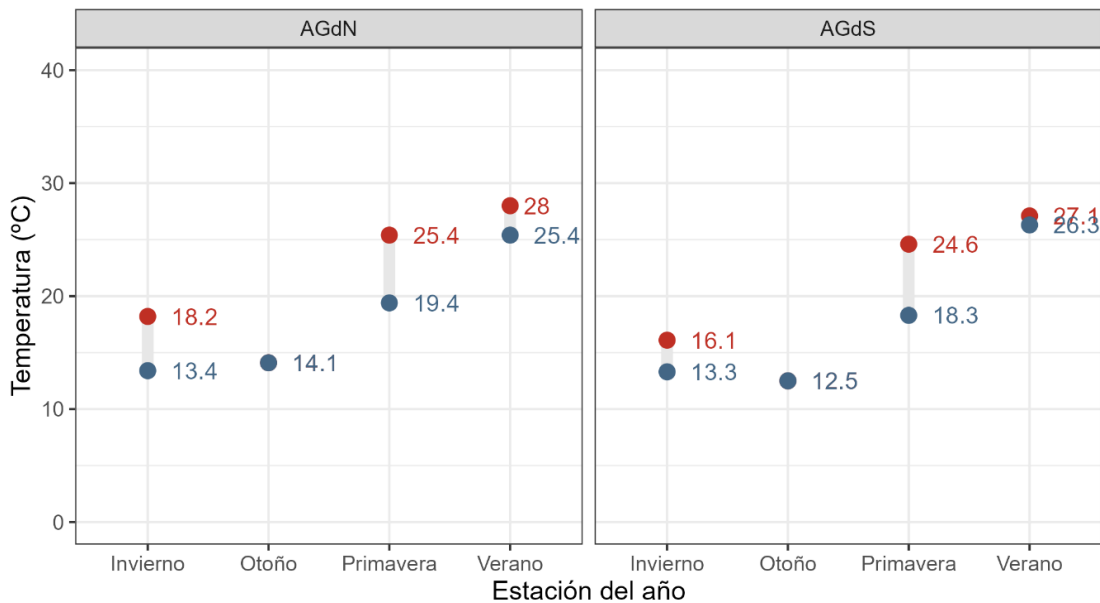


Figura 5 Rango de temperaturas registradas en el AGdN y AGdS en las diferentes estaciones del año. En azul se señala la mínima y en rojo la temperatura máxima

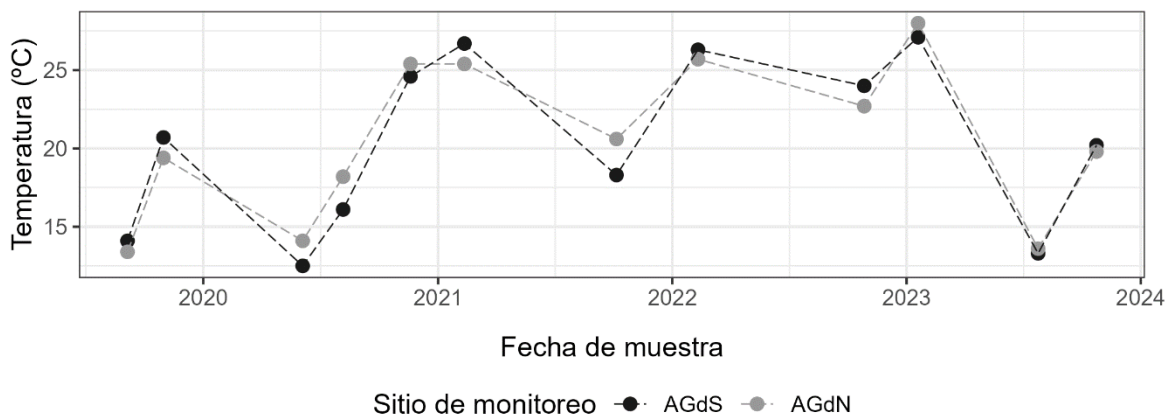


Figura 6. Variación temporal de la temperatura registrada en los AGdS y AGdN.

2.2. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (OD) en el agua proviene de la atmósfera y de la fotosíntesis de las algas y plantas acuáticas. Su consumo ocurre por la respiración de los seres vivos y la descomposición de la materia orgánica. Por otra parte, la solubilidad de este gas aumenta conforme la temperatura del agua disminuye. Por este motivo en invierno existe una tendencia a registrar mayores concentraciones de oxígeno que en verano. Pero en general, sin dejar de lado que cada ambiente tiene sus particularidades, valores que indican buena calidad de agua son aquellos que registran concentraciones por encima de los 7 u 8 mg/L, en tanto que valores por debajo de 5 mg/L, en este sistema, indican altas concentraciones de materia orgánica cuya descomposición consume oxígeno. Asimismo, el decreto 253/79 establece un mínimo aceptable de 5 mg/L en los cursos de agua naturales.

La concentración de oxígeno en el agua en ambos cursos presentó valores razonables y esperables para cursos de agua que no reciben cargas de materia orgánica. La misma presentó un rango aproximado entre 6 y 11 mg/L y un promedio entre 8 y 9 mg/L en ambos cursos (Figura 6, izquierda). A modo comparativo, estos valores son similares a los observados en el río Yí, donde el promedio fue de 8,2 mg/L. Las variaciones observadas respondieron mayoritariamente a la temperatura del agua, acompañando así la estacionalidad (Figura 7). No obstante, en algunas ocasiones en el AGdS se registraron porcentajes de saturación más bajos que en AGdN (Figura 7, derecha).

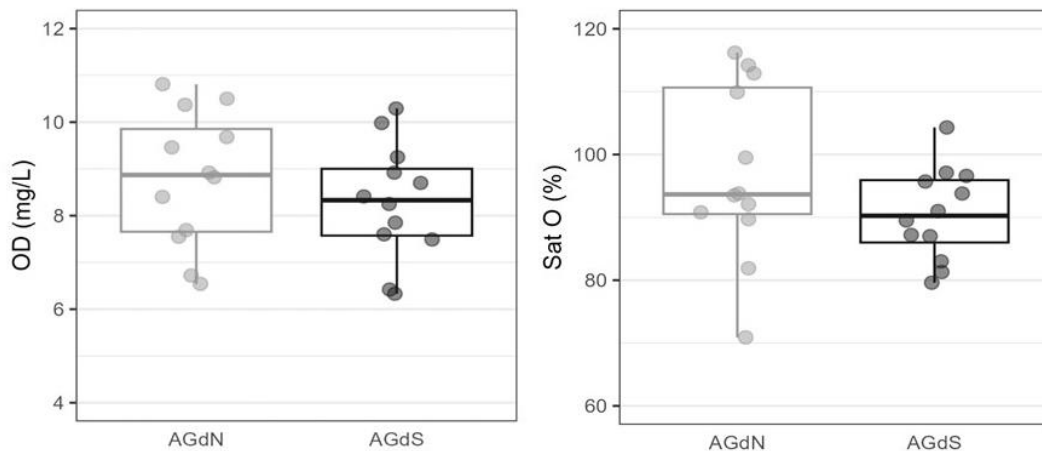


Figura 6 Distribución de los valores de oxígeno disuelto (izquierda) y saturación (derecha) en el AGdN y el AGdS.

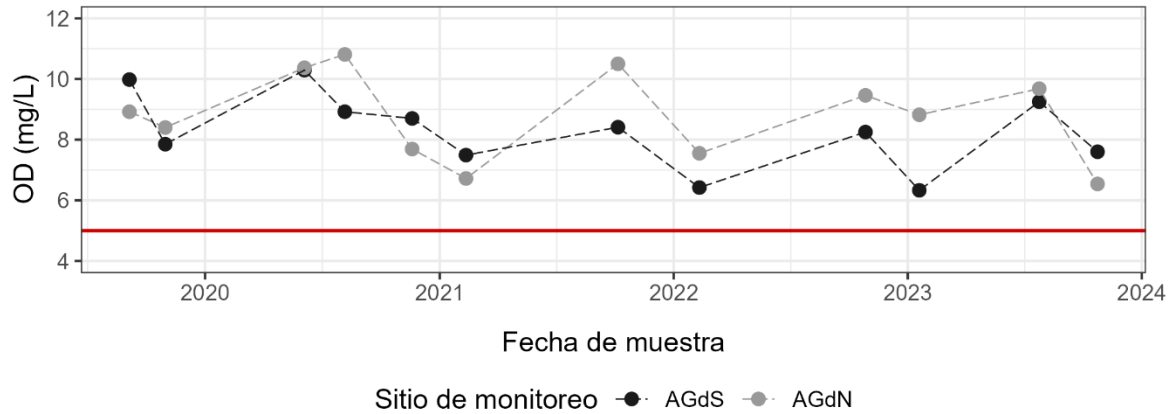


Figura 7 Variación temporal de las concentraciones de OD (mg/L) medidas en el AGdS y AGdN. La línea roja indica el límite establecido en el Dec. 253/79.

2.3. pH

El pH (indicador de la concentración de iones de hidrógeno) da cuenta del nivel de acidez del agua. Este factor es muy importante para los procesos bioquímicos naturales. Bajo concentraciones normales de oxígeno, el pH de los cursos de agua naturales (6,5 a 7,5) es ligeramente superior a la neutralidad, tendiendo a ser menores en ambientes donde hay mayor cantidad de materia orgánica en descomposición.

El valor promedio de pH en los arroyos grande fue de 7,9 y 7,8 (Norte y Sur, respectivamente) y osciló entre 6,9 y 8,5 en el caso del AGdS y 7,3 y 8,9 en el caso del AGdN (Figura 8). En ambos casos, los valores se mantuvieron mayormente dentro del rango de la normativa, aunque en el AGdS hubo un valor ligeramente por encima del máximo permitido y en el AGdN, dos valores fuera de rango de un total de 12 registrados (Figura 10).

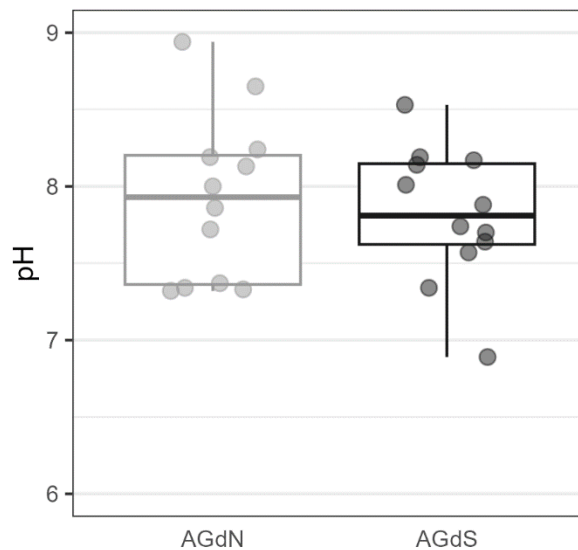


Figura 8 Distribución de los valores de pH en el AGdN y el AGdS.

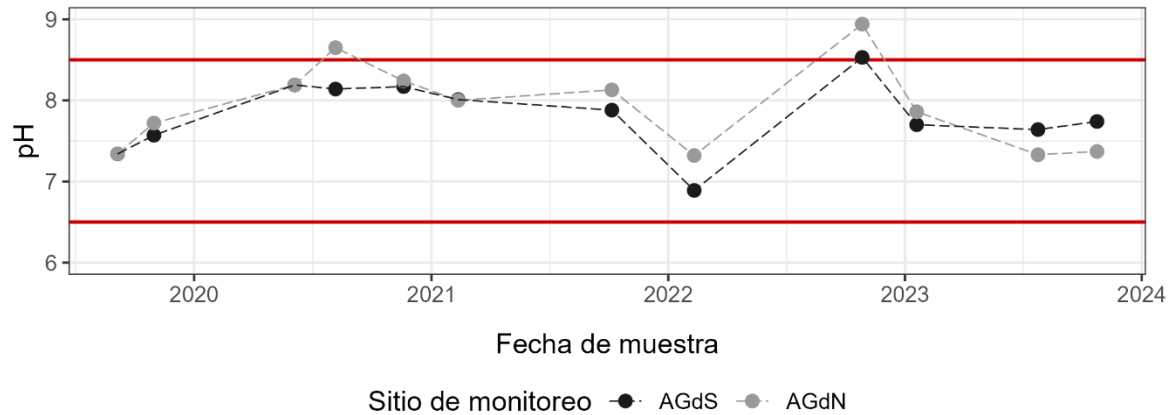


Figura 9 Variación temporal de las concentraciones de pH medidas en el AGdS y AGdN. Las líneas rojas indican el rango del Decreto 253/79.

2.4. Conductividad

La conductividad eléctrica es un indicador de la cantidad de iones libres en el agua. Este parámetro es mayor en aguas mineralizadas o que reciben materiales provenientes de los suelos.

La conductividad en el AGdS (promedio 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mín: 227 - máx: 593 $\mu\text{S}/\text{cm}$) fue algo superior a la registrada en el AGdN (promedio 322 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mín: 166 - máx: 482 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Figura 10). A modo comparativo, la conductividad en el río Yí presentó valores promedio de 161,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el mismo período. Si bien en la serie temporal se observó una importante variabilidad, en algunos períodos (mediados de 2021 a mediados de 2023) ambos cursos se comportaron de forma semejante (Figura 11).

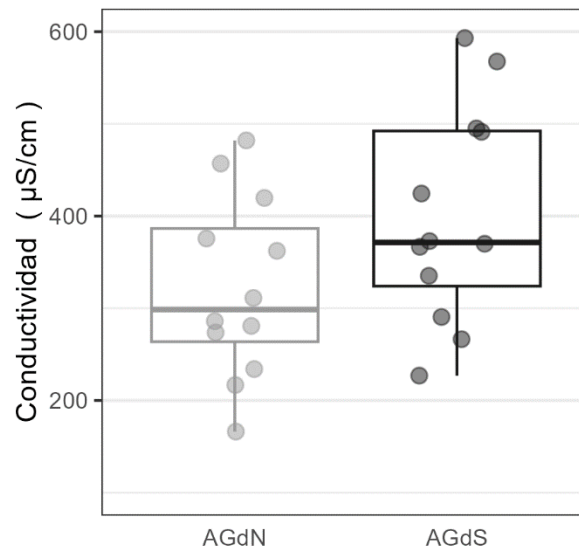


Figura 10 Distribución de los valores de conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en el AGdN y el AGdS.

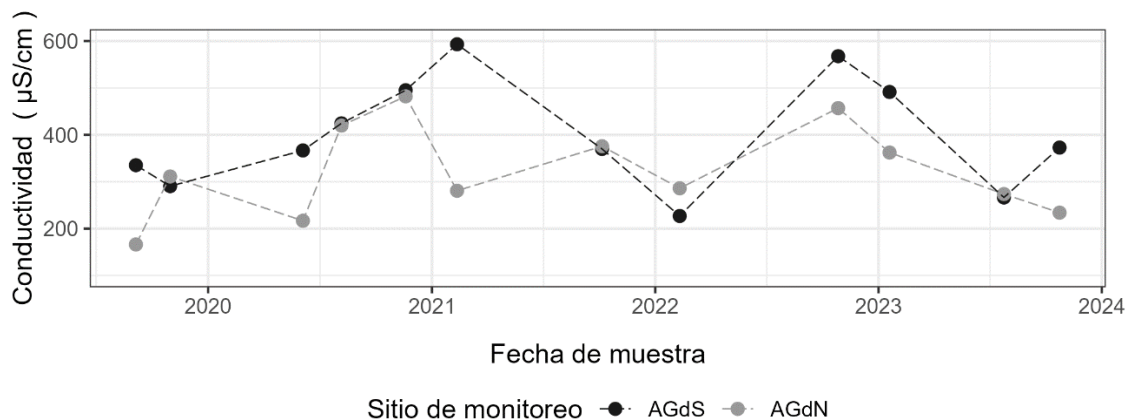


Figura 11 Variación temporal de la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) medidas en el AGdS y AGdN.

2.5. Turbidez

La turbidez afecta la transparencia, que tiene incidencia en la penetración de la luz en el agua. Este parámetro guarda una estrecha relación con las partículas en suspensión, que en su mayoría comprenden a las microalgas (fitoplancton), los sedimentos (mayoritariamente provenientes de la erosión de los suelos) y la materia orgánica.

La turbidez en el AGdS fue ligeramente superior a la del AGdN, siendo el valor de la mediana el que mostró la diferencia más notoria (8,4 NTU en AGdN y 10,2 NTU en AGdS) (Figura 12). En la serie temporal destacan los valores de octubre de 2019 en ambos cursos de agua, los cuales representaron los máximos registrados y siendo a su vez prácticamente iguales (Figura 13), aunque sin incumplir en ningún caso con el estándar establecido en el Decreto 253/79.

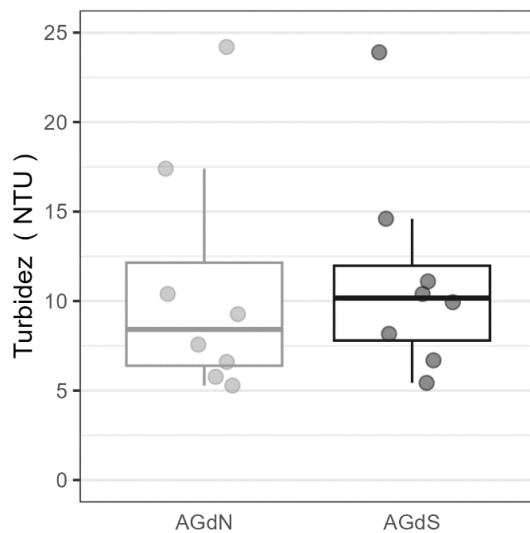


Figura 12 Distribución de los valores de turbidez (NTU) en el AGdN y el AGdS.

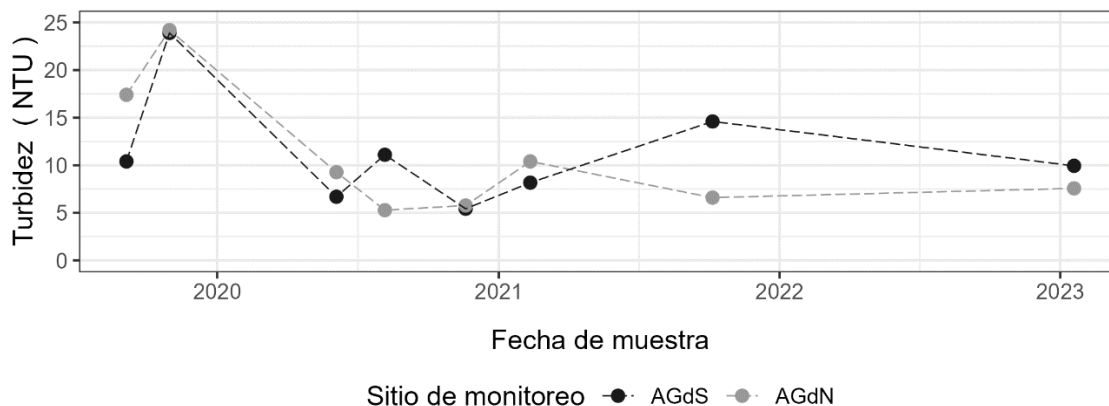


Figura 13 Variación temporal de las concentraciones de turbidez (NTU) medidas en el AGdS y AGdN. El límite de 50 NTU establecido en el Decreto 253/79 no se marca en la figura por estar fuera del rango de variación de los datos.

2.6. Sólidos totales

Los sólidos totales (ST) comprenden a todas las partículas, orgánicas e inorgánicas, suspendidas o coloidales presentes en el agua. La mayor parte proviene del arrastre de los suelos, aunque también pueden provenir del aporte de efluentes.

El promedio de ST en el AGdS (332,5 mg/L) fue mayor que en el AGdN (286,7 mg/L). Los valores del AGdS fueron entre un 10 y un 20% superiores a los valores del AGdN (Figura 14). En comparación con el río Yí próximo a su desembocadura en el Río Negro (210,1 mg/L), ambos promedios resultaron superiores. La serie temporal mostró importantes oscilaciones, siendo las mismas semejantes entre ambos cursos durante la mayor parte del tiempo (Figura 15).

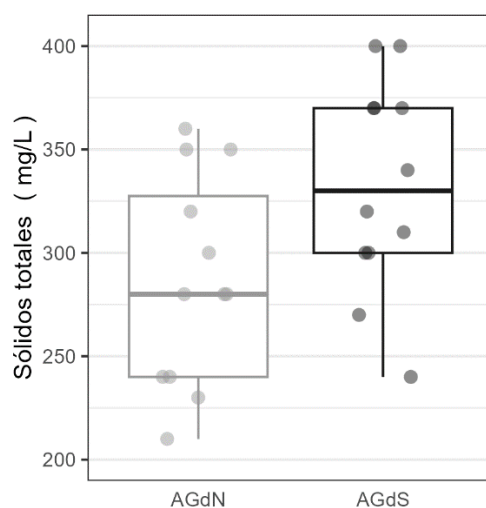


Figura 14 Distribución de los valores de STT (mg/L) en el AGdN y el AGdS.

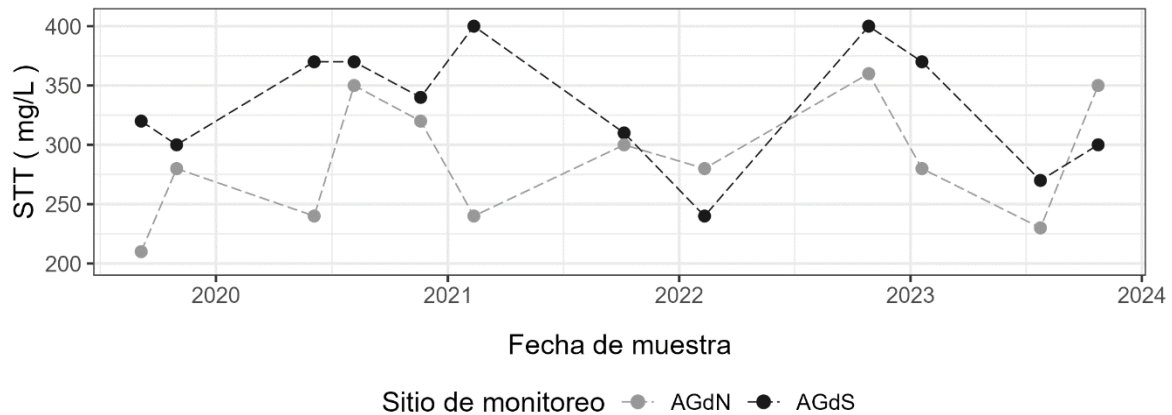


Figura 15 Variación temporal de las concentraciones de STT (mg/L) medidas en el AGdS y AGdN.

2.7. Nitrógeno total

El nitrógeno es, junto con el fósforo, un nutriente clave en los ambientes acuáticos porque ambos generalmente son los que limitan la productividad en tales ambientes. El nitrógeno total (NT) comprende a todas las formas en que este nutriente se encuentra, tanto en moléculas disueltas en el agua como en partículas orgánicas.

Los valores promedio de NT fueron 0,93 y 1,54 mg/L en el AGdN y AGdS, respectivamente, siendo el del AGdS un 65% superior al del AGdN. Esta diferencia se hace mayor en los máximos registrados (Figura 16). La concentración de NT en el AGdN es semejante a la encontrada en otros cursos de agua de similares características, pero la concentración registrada en el AGdS se considera algo elevada. A modo comparativo, la concentración promedio de NT en el río Yí para el mismo período fue de 1,34 mg/L.

En la serie temporal se observó un patrón de variaciones con tendencias similares en ambos cursos (Figura 17). Por otra parte, una importante proporción de los registros resultó en valores superiores al máximo recomendado en la MTA (1 mg/L), particularmente en el AGdN).

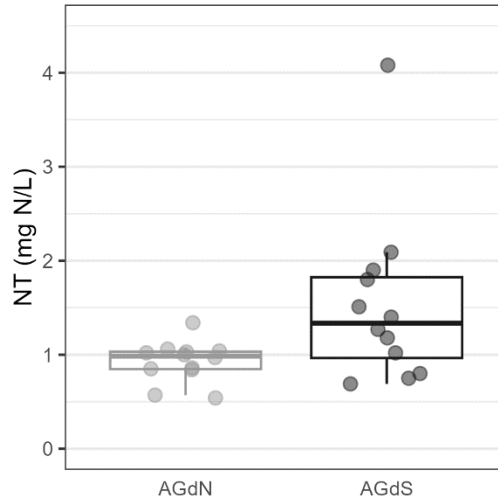


Figura 16 Distribución de los valores de NT (mg/L) en el AGdN y el AGdS.

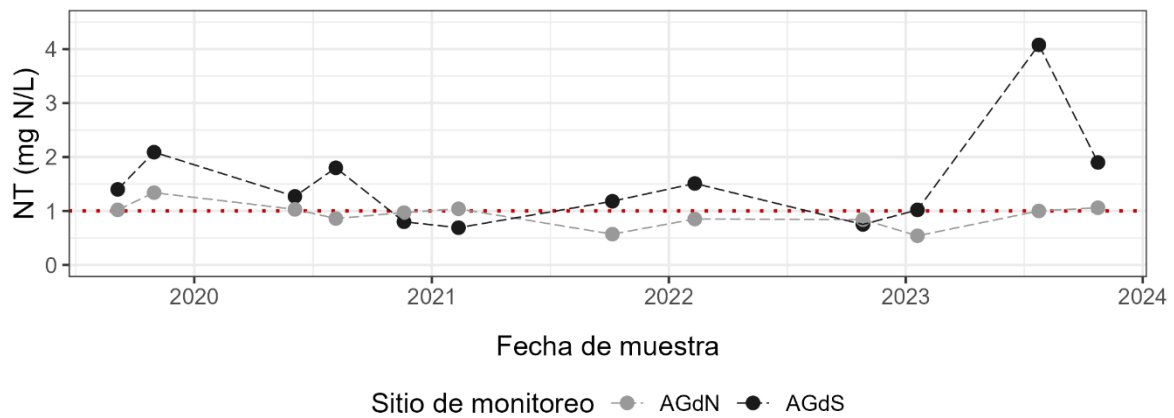


Figura 17 Variación temporal de las concentraciones de NT (mg/L) medidas en el AGdS y AGdN. La línea roja punteada indica el valor de referencia de la MTA (2017).

2.8. Nitrógeno amoniacal

En sus formas más reducidas, el nitrógeno inorgánico disuelto se encuentra en un equilibrio entre el ion amonio (NH_4^+) y el amoníaco (NH_3). Ambos iones provienen de excreciones de los organismos, o resultan fruto de la descomposición de proteínas y otros componentes de la materia orgánica. En general, a temperatura ambiente y pH neutro la proporción de amoníaco es muy baja y casi todo el nitrógeno amoniacal se encuentra en forma de NH_4^+ . El nitrógeno amoniacal (N amoniacal) integra ambas formas moleculares pero por lo antedicho, en condiciones de temperatura y pH normales, está integrado prácticamente en su totalidad por el ion amonio, que es menos tóxico que el amoníaco. Los cursos de agua en estado natural presentan concentraciones muy bajas de nitrógeno

amoniacal (del orden de las décimas de miligramos por litro), el cual por ser producto directo de la descomposición de la materia orgánica es un indicador de probable contaminación orgánica, como son las aguas servidas o las excreciones de ganado que acceden al curso y también aportes de urea de origen agrícola. Por otra parte, en ambientes con buenas condiciones de oxígeno el amonio es convertido en nitrato. Ambas formas son biodisponibles y metabolizables por los microorganismos (incluido el fitoplancton), por lo cual la permanencia del N amoniacal en forma libre en el agua es breve.

La concentración promedio del N amoniacal en el AGdS (0,07 mg/L) fue superior a la del AGdN (0,05 mg/L). Si bien los valores mínimos en ambos arroyos fueron similares, se observa una mayor dispersión de datos en el AGdS, con un valor máximo (0,2 mg/L) que duplica el del AGdN (0,1 mg/L).

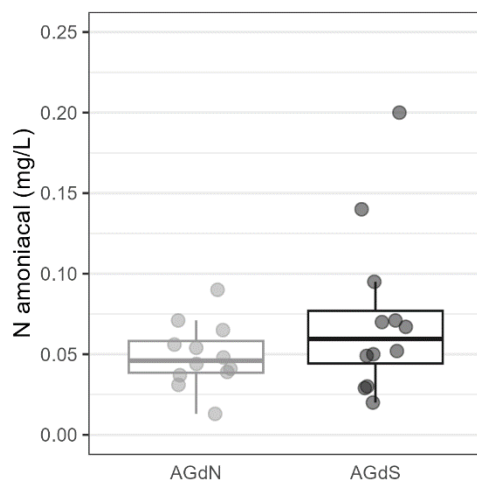


Figura 18 Distribución de los valores de nitrógeno amoniacal (mg/L) en el AGdN y el AGdS.

La serie temporal de ambos cursos muestra un patrón similar, destacándose un valor máximo en el AGdS en julio de 2023. Asimismo, durante el último monitoreo de 2020 y el primero de 2021 las concentraciones de N amoniacal en el AGdN fueron superiores a las del AGdS en dichas fechas (Figura 20).

En ambos cursos de agua tanto las concentraciones de nitrógeno amoniacal como las de amoníaco libre cumplieron en todo el período estudiado con el límite establecido ($20 \mu\text{g NH}_3/\text{L}$ según Dec 253/79) y el nivel guía aplicable ($0,5 \text{ mg N}_{\text{amoniacal}}/\text{L}$ según GESTA). En el AGdN el amoníaco libre registró un promedio de $2,82 \mu\text{g/L}$ y un máximo de $11,52 \mu\text{g/L}$, en tanto que en el AGdS fueron $2,04$ y $7,59 \mu\text{g/L}$.

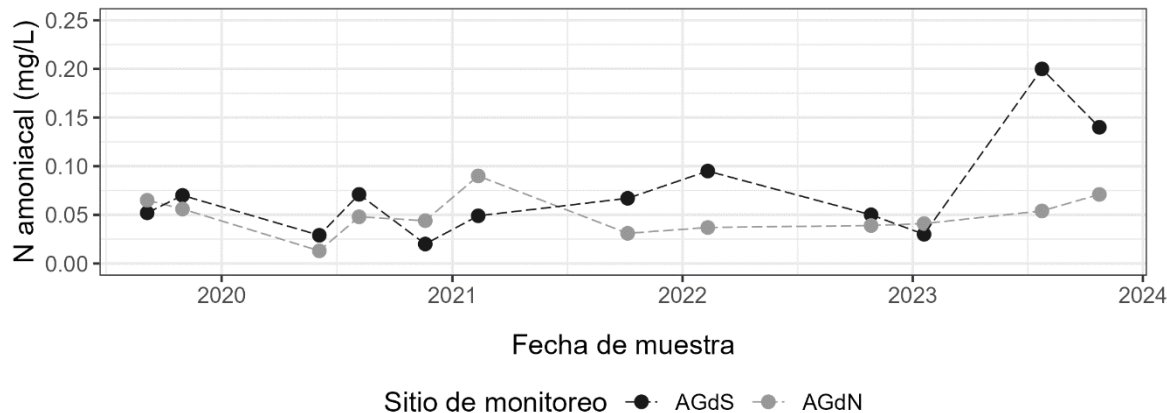


Figura 19 Variación temporal de las concentraciones de nitrógeno amoniacal (mg/L) medidas en el AGdS y AGdN. El valor guía de 0,5 mg/L establecido en el GESTA (2014) no se señala por estar fuera del rango de variación.

2.9. Nitrato

El nitrato es la forma más oxidada y abundante del nitrógeno inorgánico disuelto en el agua y es también una de las formas más asimilables por los organismos. El promedio de nitrato en el período fue 0,18 mg/L en el AGdN y 0,60 mg/L en el AGdS. Al igual que en el caso del N amoniacal, los valores mayores fueron notablemente superiores en el AGdS (Figura 20 y Figura 21).

La diferencia en las concentraciones de nitrato no sólo se observó en su magnitud sino también en la proporción que éste representa en el total del nitrógeno del agua. Mientras que en el AGdN el nitrato representa en promedio el 19% del NT, en el AGdS éste representó casi un tercio (32%). Nuevamente a modo de comparación, durante el mismo período la concentración promedio de nitrato en el río Yí fue de 0,30 mg/L, lo que deja en evidencia los elevados valores de este parámetro en el AGdS.

(PT) es un parámetro que reúne todas las formas disponibles de fósforo, tanto disueltas como particuladas, presentes en el agua.

Las concentraciones de PT en el AGdS (promedio: 330 $\mu\text{g/L}$) fueron notablemente mayores a las registradas en el AGdN (promedio: 139 $\mu\text{g/L}$). Los valores registrados en el AGdS también son muy superiores a los registrados por la DPCA durante el mismo período en el Río Negro (promedio de todas las estaciones: 116 $\mu\text{g/L}$) y en algunos de sus afluentes como el río Yí (promedio en todas las estaciones: 146 $\mu\text{g/L}$) y el río Tacuarembó (promedio en todas las estaciones: 126 $\mu\text{g/L}$) (Figura 22).

Temporalmente, en el AGdS se observan concentraciones generalmente más altas de fósforo en los últimos años de muestreo (Figura 23). Esto se evidencia en que, por ejemplo, hasta el año 2022 las concentraciones estuvieron por debajo del promedio y en los años siguientes prácticamente todos los registros se ubicaron por encima del promedio. Por otra parte, en el AGdN se observaron concentraciones entre los 50 a 200 $\mu\text{g/L}$ en todos los años analizados, destacándose como excepción la última muestra obtenida a fines de 2023 que tuvo una concentración mayor a 300 $\mu\text{g/L}$. No se observó que los caudales asociados a las fechas de los muestreos guardaran una relación con las concentraciones de PT.

La concentración de fósforo total en ambos cursos de agua resultó en incumplimientos del límite de 25 $\mu\text{g/L}$ establecido en el Decreto 253/79 para todas las muestras analizadas. Una situación similar ocurre al comparar las concentraciones de fósforo con el nivel guía sugerido por la MTA de 70 $\mu\text{g/L}$, dado que solamente un 25% de las muestras del AGdN cumple con el valor sugerido (Tabla 4).

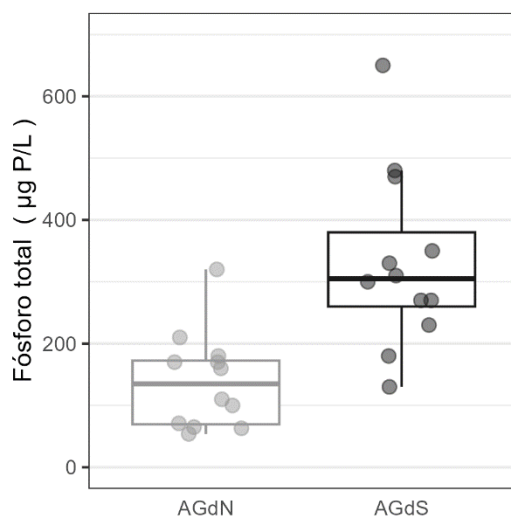


Figura 22 Distribución de los valores de fósforo total ($\mu\text{g/L}$) en el AGdN y el AGdS.

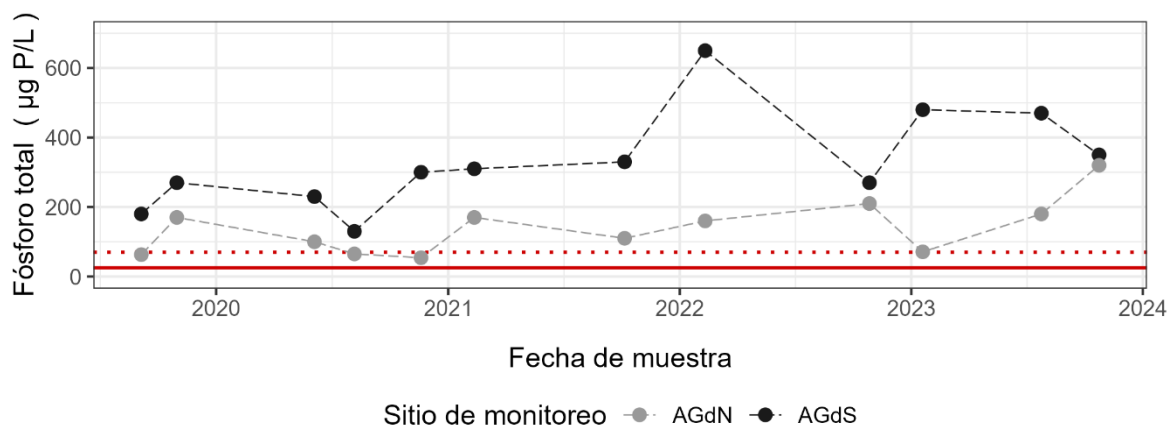


Figura 23 Variación temporal de las concentraciones de fósforo total ($\mu\text{g/L}$) medidas en el AGdS y AGdN. La línea roja continúa indica el límite del Decreto 253/79 mientras que la línea punteada indica el nivel guía de la MTA.

Tabla 4 Incumplimientos de fósforo total según los valores máximos establecidos en el Decreto 253/79 y la MTA 2017. N incumplimientos= número de incumplimientos, N muestras= número de muestras, % incumplimiento= porcentaje de muestras con incumplimiento, valor de comparación= valor máximo establecido por la normativa o nivel guía (en $\mu\text{g/L}$).

Sitio	N muestras	N incumplimientos	% incumplimiento	Valor de comparación	Norma
AGdN	12	12	100	25	Dec 253/79
AGdS	12	12	100	25	Dec 253/79
AGdN	12	9	75	70	MTA 2017
AGdS	12	12	100	70	MTA 2017

2.11. Fosfato

El fósforo total presente en el agua puede encontrarse de manera particulada formando parte de la materia orgánica o de minerales o en forma disuelta, siendo el fosfato (PO_4^{3-}) la forma disuelta más abundante. El monitoreo de fosfato por ello es de suma importancia, ya que es la forma en la que el fósforo se encuentra disponible para ser utilizado por las algas y plantas. El fosfato es la forma molecular presente en los fertilizantes fosfatados.

De manera similar a lo comentado para el fósforo total, las concentraciones de fosfato fueron mayores en el AGdS (promedio: $298 \mu\text{g/L}$) que en el AGdN (promedio: $86 \mu\text{g/L}$) (Figura 24). Se destaca además que los rangos de variación de los arroyos casi no se solapan. Los datos también muestran una diferencia en la proporción que el fosfato representa respecto al total de fósforo contenido en la muestra, encontrándose que en promedio en el AGdS casi todo el fósforo (91%) se encuentra como fosfato, mientras que en el AGdN representa la mitad (55%).

En cuanto a la variación de las concentraciones de fosfato a lo largo de los 5 años de monitoreo, se observa un incremento de los valores con el tiempo más notorio en el AGdS que en el AGdN (Figura

25). En el AGdS puede observarse que las concentraciones siempre estuvieron por debajo de los 300 $\mu\text{g/L}$ hasta 2021, mientras que en los años posteriores el valor fue superado en la mayoría de las muestras. Para el AGdN aplica la misma observación que la realizada para el fósforo total en cuanto a que el rango de variación fue constante desde el comienzo de los monitoreos, exceptuando la última muestra tomada a fines de 2023.

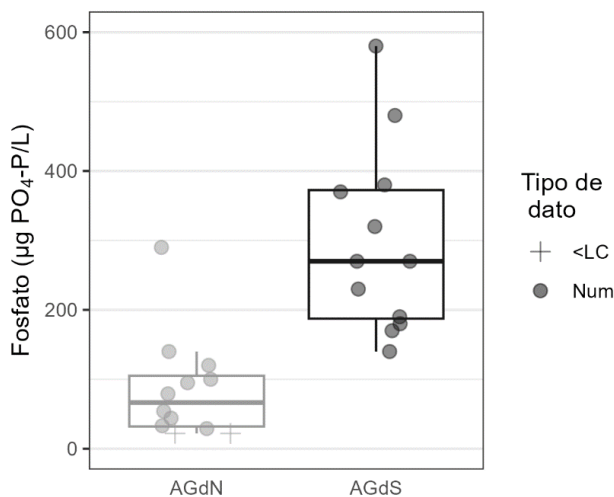


Figura 24 Distribución de los valores de fósforo ($\mu\text{g/L}$) en el AGdN y el AGdS.

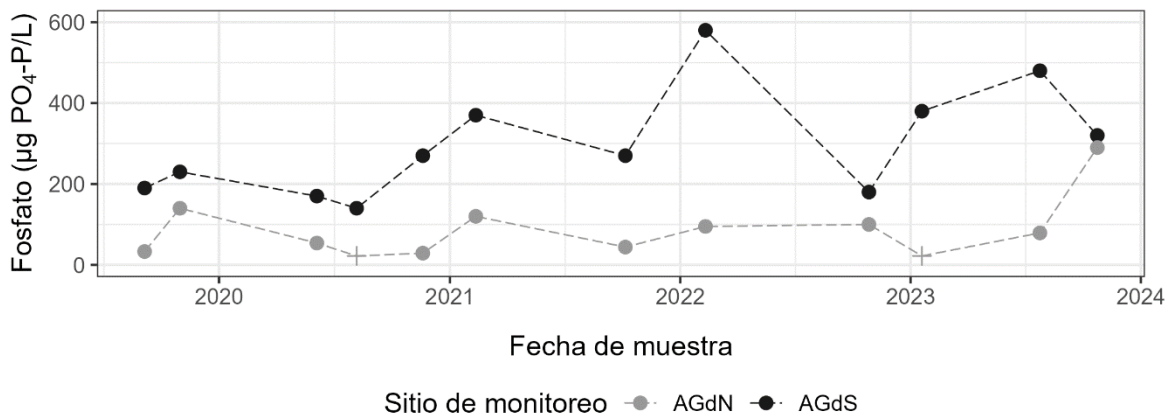


Figura 25 Variación temporal de las concentraciones de fósforo ($\mu\text{g/L}$) medidas en el AGdS y AGdN.

2.12. Coliformes

Los coliformes termotolerantes son un grupo de bacterias que incluye a *E. coli* así como también a otros organismos presentes en el tracto intestinal de organismos de sangre caliente. Es por ello que este parámetro es utilizado como indicador de contaminación fecal de los cursos de agua.

Las concentraciones de coliformes determinadas en ambos arroyos en general fueron bajas y similares entre ambos cursos (Figura 26). Estos valores son similares a los determinados en el mismo período en otros programas de monitoreo, como los de la cuenca del río Tacuarembó (mediana: 81 UFC/100ml) y del cauce principal del Río Negro (mediana: 32 UFC/100ml).

La concentración de coliformes termotolerantes se encontró siempre por debajo del límite establecido en el Decreto 253/79 (<2000 UFC/100ml), con excepción de la muestra tomada en el AGdS en octubre de 2023, la que tuvo una concentración de 5600 UFC/100ml (Figura 27).

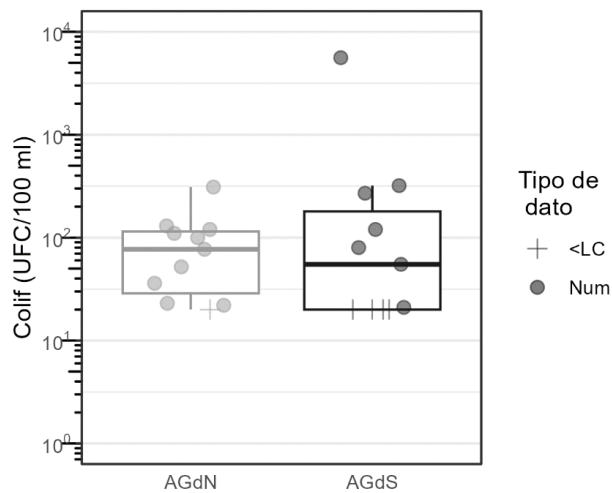


Figura 26 Distribución de los valores de coliformes termotolerantes (UFC/100ml) en el AGdN y el AGdS.

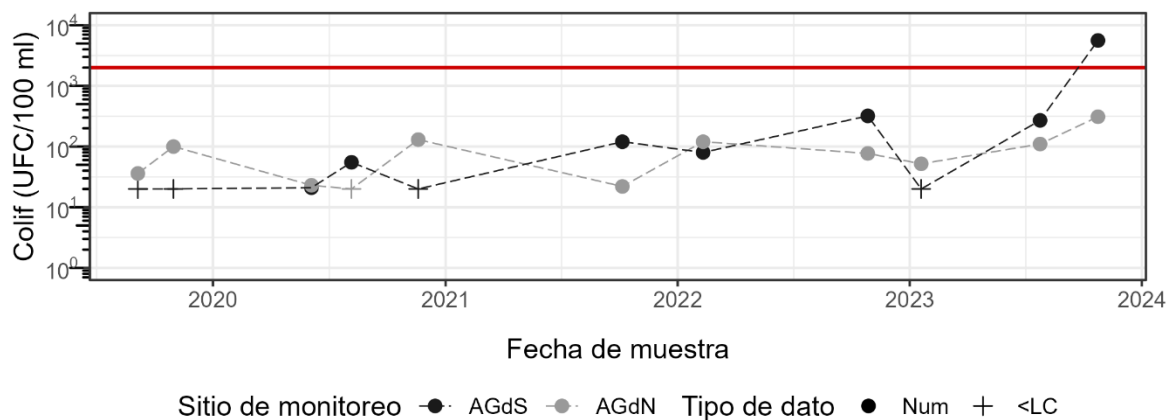


Figura 27 Variación temporal de las concentraciones de coliformes termotolerantes (UFC/100ml) medidas en el AGdS y AGdN. La línea roja sólida índice el límite establecido en el Decreto 253/79.

2.13. Clorofila *a*

La clorofila es una sustancia presente en los seres vivos que hacen fotosíntesis, y en el agua es encontrada en algas y cianobacterias. Su concentración en la columna de agua es utilizada como estimador de la biomasa de fitoplancton y por lo tanto del nivel de productividad primaria del cuerpo de agua. Concentraciones excesivas de clorofila son indicadoras de eutrofización. La concentración de clorofila en los cursos de agua suele ser menor a la de las aguas represadas (embalses, tajamares, lagunas, etc), debido a que en los primeros el flujo turbulento no favorece el desarrollo de los organismos y además son transportados aguas abajo, en tanto que en los segundos la mayor estabilidad del ambiente favorece su crecimiento y acumulación. Específicamente, la molécula analizada es la clorofila-*a*.

Las concentraciones de clorofila-*a* en el AGdN variaron entre 2,2 y 33 $\mu\text{g/L}$, siendo este último un valor atípico (Figura 28), mientras que en el AGdS los valores fueron entre 0,7 y 10 $\mu\text{g/L}$. Tanto la media como la mediana en el AGdS fueron menores que en el AGdN (3,16 y 2,2 $\mu\text{g/L}$, frente a 6,06 y 2,6 $\mu\text{g/L}$, respectivamente).

El monitoreo de clorofila-*a* en ambos arroyos mostró concentraciones similares a lo largo de todo el período estudiado (Figura 29). En una alta proporción de muestras las concentraciones del pigmento se encontraron por debajo de los límites de detección o cuantificación de la técnica analítica. Estas concentraciones son similares a las determinadas en otros tributarios del Río Negro, como los de la cuenca del río Tacuarembó (cuya mediana de todas las muestras en el mismo período es de 4,4 $\mu\text{g/L}$) o las del río Yí (2,4 $\mu\text{g/L}$).

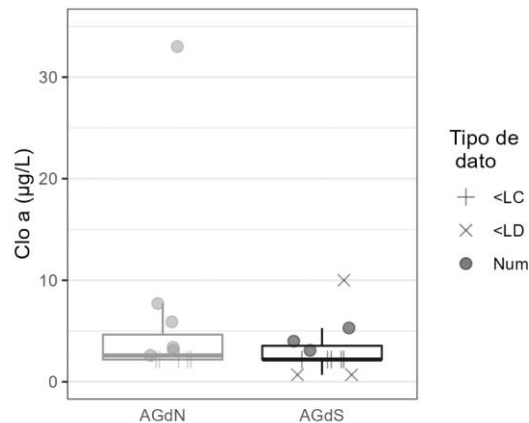


Figura 28 Distribución de los valores de clorofila *a* ($\mu\text{g/L}$) en el AGdN y el AGdS.

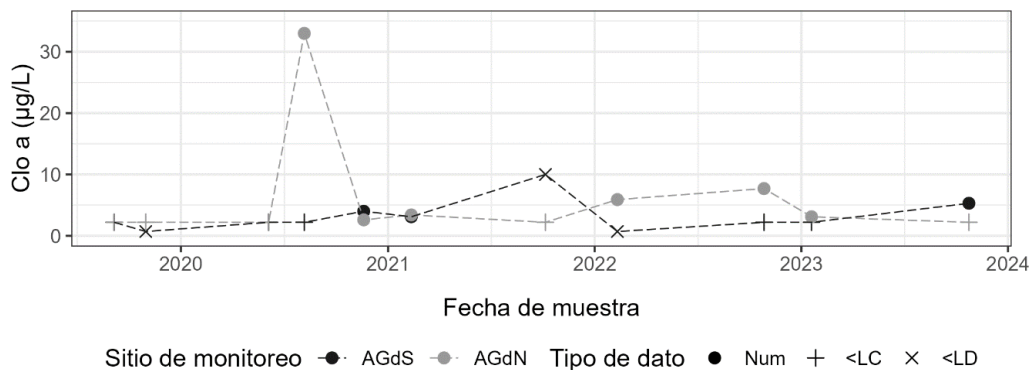


Figura 29 Variación temporal de las concentraciones de clorofila ($\mu\text{g/L}$) medidas en el AGdS y AGdN.

2.14.DBO₅

La demanda biológica de oxígeno (DBO) es un indicador de la cantidad de materia orgánica presente en el agua. Mide la cantidad de oxígeno consumido por microorganismos para degradar la materia orgánica contenida en una muestra de agua durante cinco días de incubación.

La DBO₅ en ambos cursos de agua fueron similares, encontrándose casos en los que no se alcanzó a superar el límite de detección de la técnica (Figura 30 y Figura 31). Las determinaciones de DBO₅ siempre fueron menores a 5 mg O₂/L, cumpliendo así en todos los casos con el límite de 10 mg O₂/L definido en el Decreto 253/79.

Por otra parte, se observa una mínima diferencia en la magnitud de la DBO₅ entre los sitios de monitoreo, dado que el promedio para el AGdS (2,5 mg O₂/L) es ligeramente mayor al del AGdN (2,1 mg O₂/L). Es importante notar que los resultados para el AGdN obtenidos desde fines de 2021 provienen de valores que se asumen en base a los límites de la técnica analítica, por lo que los valores reales pueden haber sido menores.

Al comparar los valores determinados en los arroyos Grandes con aquellos obtenidos en el mismo período en otros programas de monitoreo de la cuenca del Río Negro se observan valores similares, siendo el promedio de los valores del río Tacuarembó 2,5 mg O₂/L y el del río Yí 2,6 mg O₂/L.

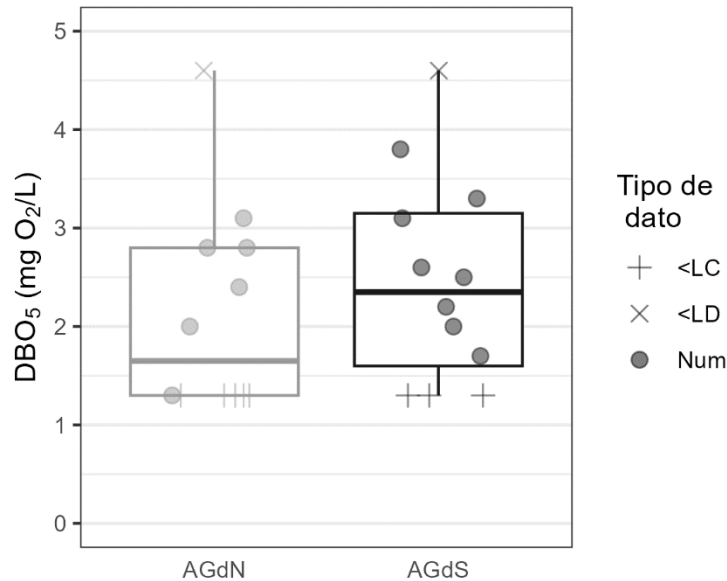


Figura 30 Distribución de los valores de Demanda biológico de oxígeno (mg/L) en el AGdN y el AGdS.

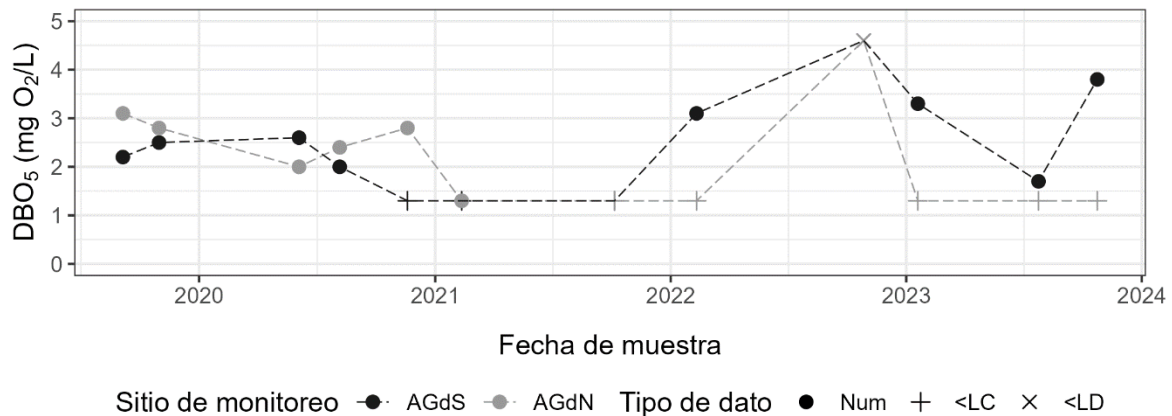


Figura 31 Variación temporal de las concentraciones de demanda biológica de oxígeno (mg/L) medidas en el AGdS y AGdN. El límite de 10 mg/L del Decreto 253/79 por estar fuera del rango de variación.

2.15.DQO

Al igual que la DBO₅, la demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que indica el consumo de oxígeno requerido para la oxidación de la materia disponible, pero además de la materia biológicamente degradable en 5 días incluye a aquella oxidable químicamente. Si bien el mayor contribuyente a la DQO suele ser la materia orgánica biológicamente degradable, este parámetro también incluye la concentración de aquellos compuestos orgánicos más recalcitrantes y a los inorgánicos pasibles de oxidación.

El valor promedio de DQO fue algo superior en el AGdS (29,4 mg O₂/L) respecto al AGdN (23,4 mg O₂/L), así como también la mayor parte de los registros en el AGdS fueron mayores (el percentil 75

en el AGdS fue de 36,5 mg O₂/L, mientras que en el AGdN fue 26,5 mg O₂/L (Figura 32). La relación de DBO₅/DQO fue baja y similar para ambos sitios. La DBO₅ en el AGdS representó el 9,2% de la DQO, en tanto que la del AGdN representó el 11% de la DQO. Esto último indica que la materia oxidable estuvo representada mayormente por compuestos recalcitrantes, en ambos cursos.

Los valores de DQO de estos cursos se mostraron en el rango de otros cuerpos de agua de la cuenca del Río Negro. El promedio de DQO del AGdN fue ligeramente mayor al del río Tacuarembó (20,4 mg O₂/L), en tanto que el del AGdS fue muy similar al del río Yí (28,8 mg O₂/L). A lo largo del período los valores de DQO fueron mayormente similares entre los dos cursos (Figura 33).

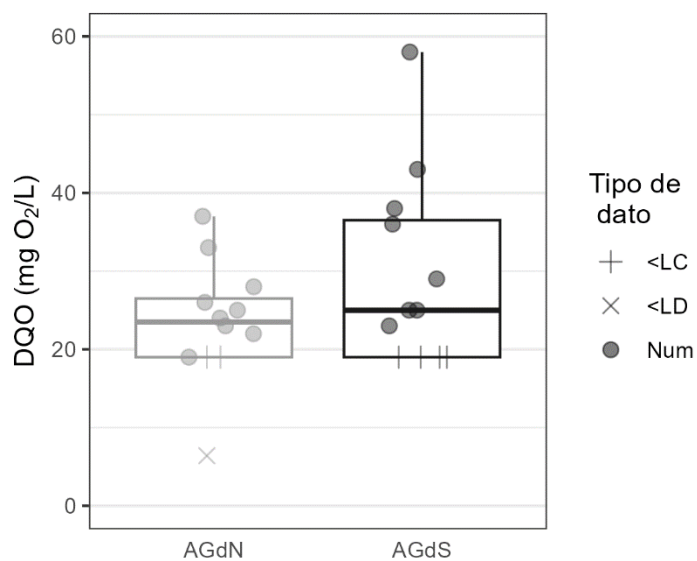


Figura 32 Distribución de los valores de Demanda química de oxígeno (mg/L) en el AGdN y el AGdS.

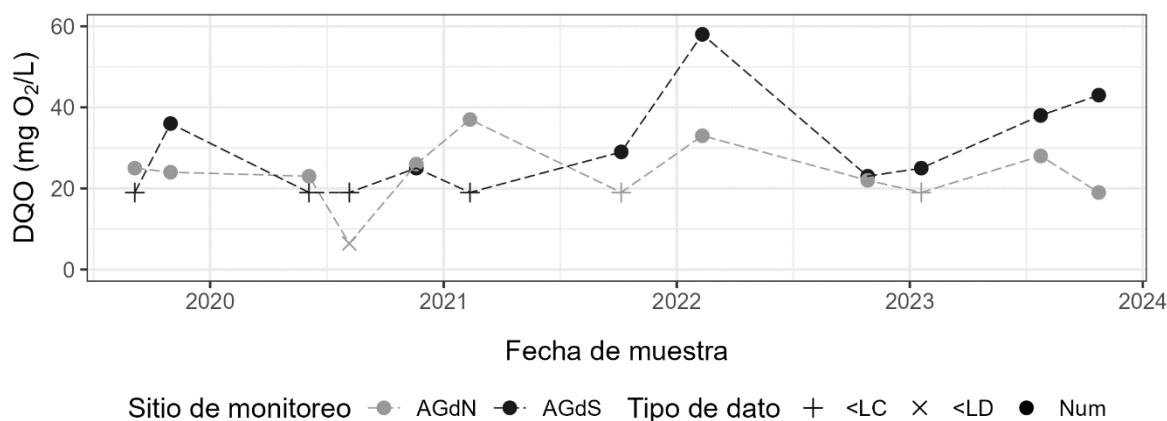


Figura 33 Variación temporal de las concentraciones de DQO (mg/L) medidas en el AGdS y AGdN.

2.16. Glifosato y AMPA

El glifosato es un herbicida ampliamente utilizado en la agricultura y la horticultura para el control de vegetación indeseada. Su principal producto de degradación es el ácido aminometilfosfónico (AMPA) el cual también es un metabolito de los fosfonatos, los que son ingredientes de compuestos de uso doméstico y detergentes. Tanto el glifosato como el AMPA son tóxicos para diferentes tipos de organismos acuáticos.

El glifosato fue cuantificado en 2 de las 11 muestras analizadas del AGdS -en las correspondientes a los muestreos de enero y octubre de 2023 se registraron concentraciones de 25,4 µg/L y 1,5 µg/L respectivamente-. Por su parte en el AGdN los resultados fueron similares, dado que se determinó el compuesto únicamente en la muestra de enero de 2023 con concentración 13,6 µg/L.

Estas concentraciones son mucho menores a las establecidas como valores guía para glifosato en la propuesta modificatoria del Decreto 253/79 (GESTA, 2008) donde se plantea que la máxima concentración admisible permitida para la protección del ecosistema acuático es de 65 µg/L. A nivel internacional, la guía canadiense establece una concentración máxima en el agua 800 µg/L (CCME, 2012) mientras que la guía desarrollada por los gobiernos de Australia y Nueva Zelanda establece un nivel máximo de glifosato en agua de 320 µg/L para la protección de la biota acuática (ANZG, 2021).

Por otra parte, el AMPA alcanzó concentraciones cuantificables únicamente en el AGdS durante los muestreos de octubre de 2019 (0,8 µg/L), febrero de 2022 (1,1 µg/L) y octubre de 2023 (0,6 µg/L). Estas concentraciones son muy inferiores a las sugeridas para la protección de la biota por el Centro Suizo de Ecotoxicología (2013) de 1500 µg/L, y por el gobierno de los Países bajos de 79,7 µg/L (Traas & Smit 2003). En el caso del AGdN las concentraciones siempre se encontraron por debajo de los límites de detección (0,25 µg/L) o de cuantificación (0,5 µg/L) de la técnica analítica.

2.17. Otros parámetros de calidad de agua

Fenoles

Las sustancias fenólicas son un conjunto de compuestos aromáticos que contienen el grupo hidroxilo (OH⁻) como grupo funcional y son potencialmente tóxicos para los organismos acuáticos. Estos compuestos pueden encontrarse naturalmente en bajas concentraciones en los sistemas acuáticos por ejemplo como resultado de la descomposición de la materia orgánica, aunque diferentes actividades industriales o domésticas pueden aumentar su concentración en el agua.

Las concentraciones de sustancias fenólicas en ambos cursos de agua fueron similares, con una mediana de 2,2 µg/L en el AGdN y de 2,0 µg/L en el AGdS. Las concentraciones máximas determinadas en el período de estudio fueron 3,5 µg/L en el AGdN y 4,2 µg/L en el AGdS, cumpliendo por lo tanto en todos los casos con el límite de 200 µg/L establecido en el Dec. 253/79 y con el objetivo de calidad de agua de 5 µg/L sugerido en el GESTA (2014).

AOX

Los compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX) comprenden un grupo muy amplio de sustancias orgánicas que contienen halógenos (cloro, bromo o yodo) y pueden ser adsorbidos en carbón activado. Estos compuestos pueden estar presentes naturalmente en los cuerpos de agua como resultado de la degradación de materia orgánica o de incendios forestales. Los AOX son muy persistentes en el medio ambiente y con tendencia a bioacumularse y si bien la mayoría de estos compuestos son tóxicos para los organismos acuáticos, sus concentraciones naturales normalmente no son un problema. El valor de AOX de una muestra analizada proporciona la concentración de una "caja negra" de compuestos presentes en la misma. Al desconocerse los compuestos específicos que lo componen y sus proporciones, este parámetro no indica claramente la toxicidad de la muestra pero más bien sirve como un indicador de contaminación antrópica.

Los AOX en el AGdN fueron cuantificados en una sola muestra en una concentración de 20 µg/L, mientras que en el AGdS se cuantificaron en 5 ocasiones, en concentraciones entre 18 µg/L y 77 µg/L. Este último es un valor elevado, que también fue registrado en otros programas de monitoreo de la DPCA, como el caso del Río Negro, aunque en baja frecuencia.

Cationes

Las aguas superficiales contienen minerales solubilizados del suelo y de las rocas. Por tanto, la composición química del agua superficial comprende minerales que son incorporadas como resultado de procesos erosivos y de lixiviados de los suelos. El monitoreo de los cationes prioritarios en el agua permite identificar la ocurrencia de estos procesos y sus dinámicas a lo largo del tiempo.

En el AGdN los cationes determinados en orden descendente (promedios) fueron: Ca (53,5 mg/L) > Na (14,9 mg/L) > Mg (7,6 mg/L) > K (1,9 mg/L). El mismo patrón se observó en el AGdS, donde los promedios de las concentraciones fueron en orden descendente: Ca (45,8 mg/L) > Na (33,3 mg/L) > Mg (9,8 mg/L) > K (3,4 mg/L).

Las concentraciones de Ca, Na y Mg en ambos arroyos fueron superiores a las observadas en cursos de otras subcuencas del Río Negro. En el caso del K, sólo la concentración determinada en el AGdS fue superior a la encontrada en otros cursos de la cuenca del Río Negro (Tabla 5). Este ion presentó un comportamiento muy similar en ambos cursos y una tendencia temporal creciente, en particular en el AGdS (Figura 35). A pesar de que la dinámica observada en ambos cursos es muy semejante, no se observó un patrón asociado a los caudales.

Tabla 5: Mediana de las concentraciones de cationes prioritarios en el río Negro

Programa	Ca	K	Mg	Na
AGdN	58,5	1,8	7,2	12,5
AGdS	47	3,3	11	35
Río Negro	9,5	2,3	2,9	5,2
Tacuarembó	11	1,8	3,5	5,6
Yí	12	2,2	4,6	13

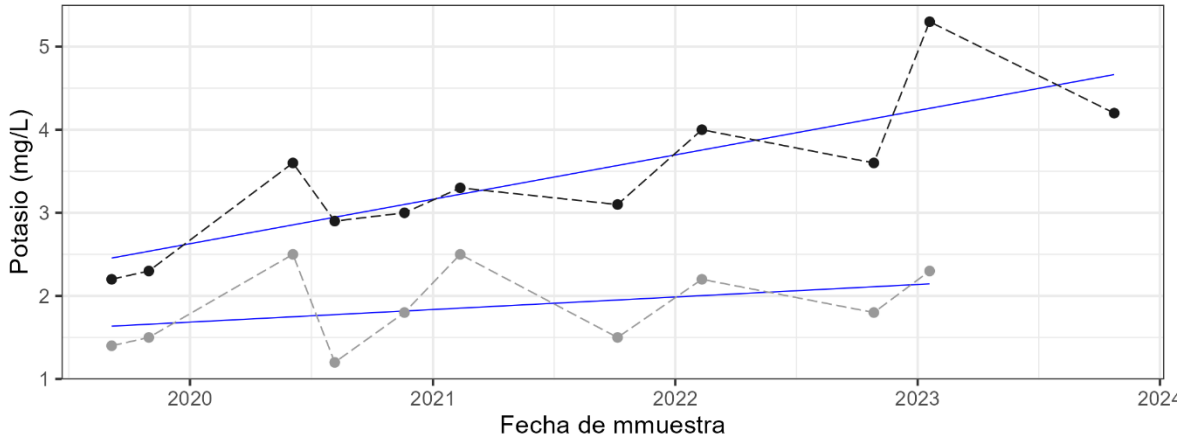


Figura 35 Variación temporal de las concentraciones de potasio (mg/L) medidas en el AGdS (círculos negros) y AGdN (círculos grises). Las líneas azules corresponden a la regresión lineal de los datos.

Arsénico y mercurio

El arsénico y el mercurio son sustancias que se encuentran naturalmente en los cuerpos de agua debido mayoritariamente a la disolución y a la erosión de rocas y suelos que los contienen. Ambos compuestos pueden aumentar su concentración debido a actividades antrópicas y son tóxicos para diferentes organismos acuáticos por lo que sus concentraciones en cuerpos de agua están reguladas en el Decreto 253/79.

Las concentraciones de arsénico fueron similares en el AGdS y el AGdN (promedio de ambos: 0,01 mg/L). Estos valores son superiores a los registrados en el mismo período en otras subcuencas del Río Negro, que tuvieron un promedio de 0,0026 mg/L correspondiente al límite de cuantificación de la técnica. El mercurio por su parte nunca alcanzó concentraciones cuantificables en ninguno de los dos sitios de monitoreo, cumpliendo en todos los casos con el límite máximo de 0,0002 mg/L que se establece en la normativa aplicable (decreto 253/79).

3. Relación entre los parámetros de calidad de agua y los caudales

La escorrentía del agua de lluvia arrastra sustancias particuladas y disueltas en el suelo que terminan en los cursos de agua. La forma en que varían las concentraciones de las sustancias en el agua ayuda a comprender su origen. Por ejemplo, las concentraciones de sustancias provenientes de efluentes disminuyen en forma exponencial con el incremento del caudal, en contraste con la concentración de aquellas sustancias provenientes de los suelos que pueden aumentar ligeramente, mantenerse constante o disminuir levemente con el aumento del caudal en los cursos de agua.

Para evaluar el comportamiento de algunos parámetros en relación al caudal, se contó con información de caudales de las estaciones hidrométricas de P° de los Mellizos en el AGdN y de P° de Lugo en el AGdS. Ambas estaciones cuentan con un registro diario, la primera a cargo del MA (Dinagua) y la segunda a cargo de UTE.

Los sólidos totales y la conductividad presentaron una tendencia a disminuir su concentración conforme los caudales se incrementan, aunque estadísticamente tal observación es débil (los coeficientes de determinación de las regresiones lineales fueron bajos). Asimismo, la tendencia de la disminución en la conductividad fue apreciablemente mayor en el AGdS respecto al AGdN. En caso de la turbidez el comportamiento fue inverso, con una tendencia a aumentar su valor con el incremento del caudal. En todos los casos la pendiente de la regresión de estos parámetros con el caudal fue mayor en el AGdS (Figura 36).

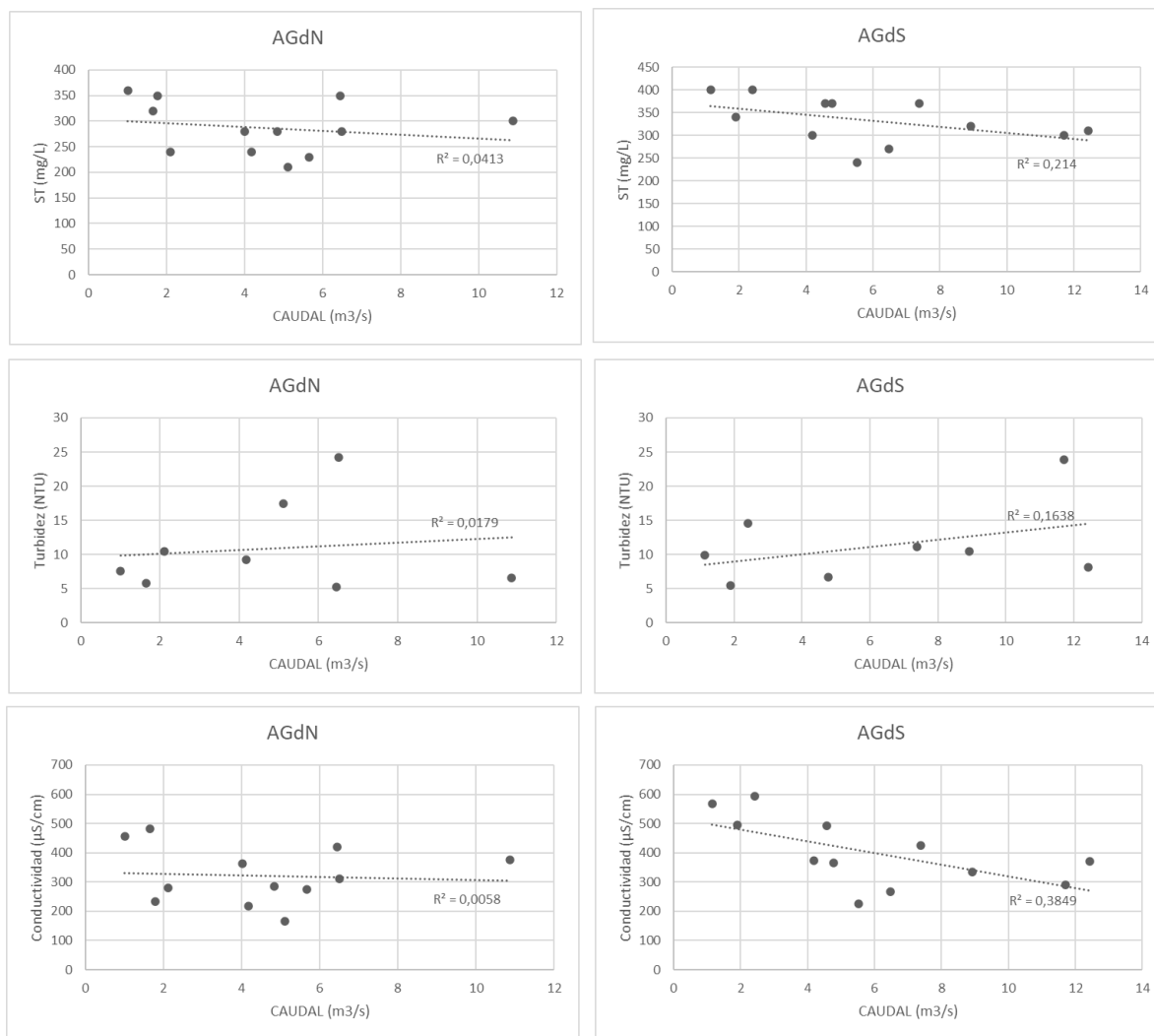


Figura 36. Comportamiento de la turbidez y la conductividad del AGdN (izquierda) y AGdS (derecha) en relación a los caudales.

En cuanto a los nutrientes, en el AGdN se observó una ligera tendencia a disminuir las concentraciones con los caudales, que fue más notoria en el caso del fósforo total y el fosfato (Figura 37). En el AGdS se observó también una ligera tendencia a disminuir las concentraciones de fósforo y fosfato conforme se incrementa el caudal, pero no así en el caso de las concentraciones de

nitrógeno total y nitrato, las cuales aumentaron con el incremento del caudal. Igualmente, desde el punto de vista estadístico estas tendencias no son concluyentes debido a que los coeficientes de regresión determinados en cada caso fueron bajos.

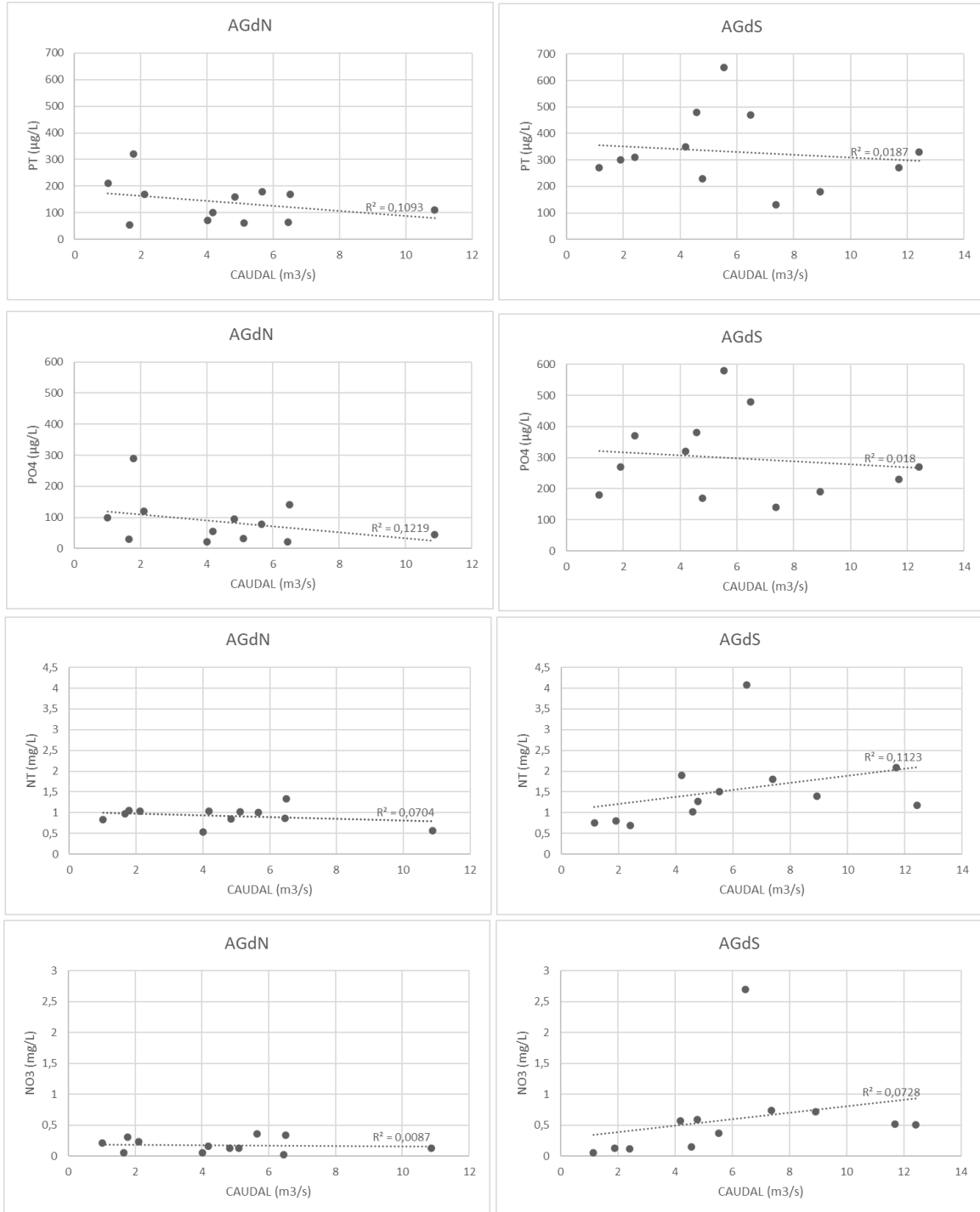


Figura 37. Comportamiento del fósforo total, fosfato, nitrógeno total y nitrato en el AGdN (izquierda) y AGdS (derecha) en relación a los caudales.

Por otra parte, se observó una mayor variabilidad de las concentraciones de nutrientes en el AGdS respecto al AGdN. Analizando la situación del AGdS para el caso del fósforo total y del fosfato, los mayores valores fueron registrados con caudales intermedios, pero además también se observaron valores menores de estos parámetros en todo el rango de caudales medidos. En el caso del nitrógeno total y del nitrato los valores se ordenaron mejor en torno a la recta de tendencia, aunque se detectó un valor extraordinario para ambas formas del nitrógeno, que también coincide con un registro extraordinario de N amoniacal (el cual no se muestra aquí) y que puede obedecer a un aporte puntual ocasional de materia orgánica. Si se obvia ese registro, la tendencia de incremento de la concentración del NT y del NO_3^{2-} pasa a ser aún mayor.

4. Cargas de nitrógeno y fósforo exportadas desde la cuenca

La magnitud de la exportación de nutrientes (NT y PT) desde los suelos depende en gran medida del tipo de cobertura o de uso de los mismos. En la cuenca del AGdN la mayor superficie está ocupada por campo natural con una ocupación del 54%, en tanto que en la cuenca del AGdS la mayor cobertura corresponde a la agricultura, con el 52% (Tabla 1 y Figura 38). A grandes rasgos, la proporción de cobertura del campo natural supone alrededor de la mitad en ambas cuencas y la gran diferencia entre ambas radica en que mientras la otra mitad en el AGdN se reparten en fracciones semejantes entre agricultura y forestación, en el AGdS está destinada a la agricultura (Figura 38). Es decir, los suelos bajo uso agrícola en la cuenca del AGdS ocupan proporcionalmente más del doble de territorio que el AGdN.

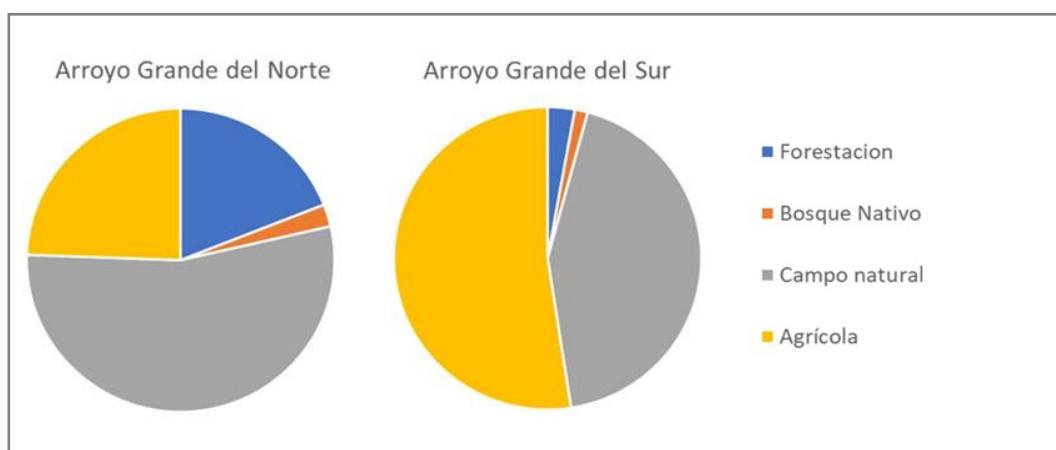


Figura 34. Proporción de usos del suelo en las cuencas de los AGdN y AGdS (2021-2022).

En un trabajo de modelación de cargas para estimar la magnitud de los aportes de los diferentes usos del suelo en las cuencas de los tributarios del Río Negro, se analizaron las cargas exportadas del AGdN y del AGdS (Ministerio de Ambiente, 2022). Para ello se tuvo en cuenta la superficie de las diferentes categorías de usos del suelo y prácticas de manejo agrícola, precipitaciones, topografía, entre otros descriptores físicos. De los usos de suelo considerados, la agricultura es la actividad que

exporta mayor carga de NT y PT a los cursos de agua. Por tanto, a mayor superficie relativa de las cuencas esté destinadas a este uso, habrá mayor exportación de nutrientes al curso de agua respectivo. El modelo de exportación de cargas arrojó que para el período 2021-2022 la exportación de nitrógeno desde los suelos de la cuenca del AGdS fue unas 2,5 veces superior a la de la cuenca del AGdN, en tanto que la de fósforo fue casi el doble (Figura 39). Estas diferencias coinciden en forma aproximada con los promedios de las concentraciones de NT y PT de todos los muestreos registradas entre ambos cursos (2,4 en el caso del NT y 1,7 en el caso del PT).

Asimismo, se puede observar que para ambos casos la mayor parte de los nutrientes provienen de las fuentes difusas, las cuales agrupan la agricultura, la forestación y el campo natural (Figura 39). Las fuentes directas provienen de las deyecciones del ganado sobre los cursos de agua y son secundarias, en tanto que en estas cuencas las puntuales provienen del confinamiento de animales y son despreciables. La estimación de las cargas exportadas durante el período 2021-2022 muestra que el principal factor que explica la exportación de nutrientes es la agricultura.

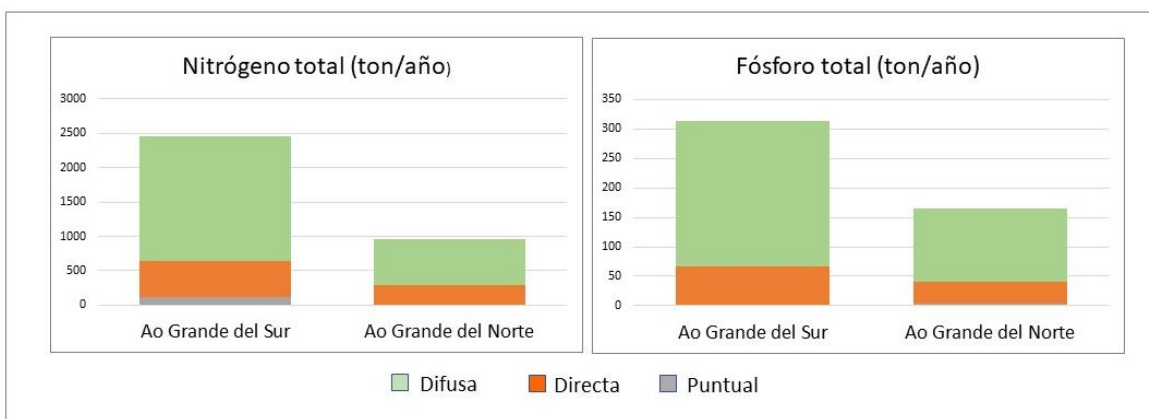


Figura 39 Estimación de cargas de nitrógeno y fósforo a cada curso, estimadas a partir de las coberturas de uso de suelo observadas durante 2021-2022.

5. Discusión

La calidad del agua en los AGdN y AGdS entre 2019 y 2023 mostró diferencias entre ambos cursos. Resulta interesante hacer un análisis comparativo de la calidad del agua de los mismos dado que son similares en longitud y área de sus cuencas, siendo la mayor diferencia entre ambas el uso y cobertura de sus suelos: mientras que la cuenca del AGdN está dominada por campo natural, en la del AGdS el mayor porcentaje de cobertura es agrícola.

Los compuestos analizados por su potencial toxicidad para la biota acuática, como los fenoles, AOX, glifosato, AMPA y mercurio, cumplieron en todos los casos con la normativa y los niveles guía aplicables. Las concentraciones de arsénico en ambos arroyos fueron muy similares y superaron en la mitad de las muestras el límite del decreto 253/79 (5 µg/L). Cabe destacar que a pesar de las diferencias en los usos del suelo entre ambas cuencas, las dinámicas de este compuesto fueron muy similares en ambos arroyos. Por otra parte, este elemento se encuentra en la corteza terrestre y su

presencia natural en el agua ha sido reportada en diferentes zonas del país, aunque en menores concentraciones y generalmente por debajo del límite establecido en la norma.

Los parámetros indicadores de contaminación con materia orgánica, como la DBO₅ y los coliformes termotolerantes, cumplieron en la amplia mayoría de los casos con la normativa aplicable (decreto 253/79). Estos resultados son concordantes con lo esperable para cuencas en donde no se registran centros poblados o actividades industriales de gran envergadura.

Con respecto a los parámetros medidos *in situ* para la caracterización físicoquímica del agua, estos cumplieron mayormente con los límites establecidos en la normativa. Como excepción se destacan algunas excedencias puntuales de pH ocurridas en dos muestreos ocurridos en 2020 y 2022. Estos eventos de pH altos pueden ser atribuibles a una alta producción primaria, dado que en el caso del AGdN coinciden con los picos máximos de clorofila-*a* y con momentos de sobresaturación de oxígeno.

Los parámetros con mayor cantidad de apartamientos de la normativa fueron los nutrientes, en especial el fósforo en el AGdS. Por otra parte, las concentraciones de nitrógeno y fósforo totales fueron notoriamente mayores en el agua del AGdS, pero las diferencias en las concentraciones de nutrientes no sólo fueron cuantitativas, sino que también se observaron en la proporción de las diferentes especies presentes. En el caso del nitrógeno, en el AGdS la proporción del nitrógeno disuelto respecto al total resultó mayor que en el AGdN y mientras que en éste el nitrato representa en promedio el 19% del N total, en el AGdS este representa casi un tercio (32%). De manera similar, el fosfato representó en promedio casi la totalidad del fósforo presente en las muestras del AGdS (91%), mientras que en el AGdN este representó en promedio sólo el 55%. Las relaciones elevadas de nitrato y fosfato respecto al nitrógeno total y fósforo total pueden estar relacionadas con la presencia de fertilizantes en los suelos, así como las excreciones del ganado. El hecho de que en el AGdS estas relaciones sean más altas que en el AGdN concuerda con la mayor actividad agrícola en su cuenca.

Además de los nutrientes, también se encontraron importantes diferencias entre ambos cuerpos de agua en la conductividad, los nutrientes (todas las formas del nitrógeno y fósforo) y los cationes. En todos estos parámetros con excepción del calcio, los valores en el AGdS son mayores que en el AGdN, siendo la diferencia en algunos casos muy notoria, como por ejemplo en el caso del nitrato o el fosfato (más del 300%), o el potasio y el sodio (alrededor del 200%). El potasio es otro nutriente que se agrega a los suelos con la fertilización. Por tanto, la mayor cantidad de potasio en el AGdS también podría estar relacionado con la mayor producción agrícola. En el mismo sentido, la mayor concentración de sólidos totales en el agua del AGdS probablemente encuentre explicación en el supuesto de una mayor carga de sólidos provenientes de la escorrentía debido a la mayor cobertura de cultivos agrícolas, ya que la agricultura presenta mayores tasas de erosión de los suelos que las demás actividades presentes en la cuenca.

En un análisis a mayor escala espacial es importante considerar que las sustancias presentes en el AGdS son transportadas hacia el Río Negro, más precisamente a la zona de Andresito, en el embalse Palmar. El Programa de Monitoreo de Calidad de Agua del Río Negro cuenta con una estación de monitoreo ubicada a unos 38 Km aguas arriba de Andresito, y otra ubicada cerca del dique de Palmar, a unos 39 Km aguas abajo de Andresito. Los registros históricos muestran que las concentraciones de fósforo entre estas estaciones experimentan cierto incremento (MA, 2023 y

MA, 2024). Si se comparan las concentraciones promedio de nutrientes registradas en estas dos estaciones del Río Negro con las de la última estación de muestreo del río Yí, las concentraciones de nitrógeno total y nitrato y de fósforo total y fosfato en el río Yí son 33, 20, 15 y 45% superiores, en tanto que las del AGdS resultaron 43, 70, 154 y 200% superiores. Siendo el río Yí y el AGdS los únicos cuerpos de agua tributarios del Río Negro en este tramo, se puede asumir que las elevadas concentraciones de nutrientes de éstos contribuyen a aumentar la concentración de los mismos en el embalse Palmar, en particular en la zona de Andresito. En los últimos años durante los meses más cálidos las floraciones de cianobacterias son recurrentes y con frecuencia inhabilitan los usos recreativos del embalse. Es altamente probable que la gran concentración de fósforo y nitrógeno registrada en esta zona donde el flujo de agua se enlentece sensiblemente (el tiempo de residencia promedio de Palmar es de dos semanas, pero puede aumentar a varias semanas cuando ocurren bajos caudales), sean los principales factores responsables de la generación de floraciones de cianobacterias en ese sitio.

6. Conclusión

A raíz del programa de monitoreo de calidad de agua llevado a cabo por la DCA desde 2019 se logró caracterizar la calidad del agua de los arroyos Grande del Norte (AGdN) y Grande del Sur (AGdS), tributarios del Río Negro. Los resultados destacan principalmente una clara diferencia entre las concentraciones de nutrientes presentes en los cursos de agua. El AGdS, cuya cuenca posee un uso del suelo predominantemente agrícola, presenta concentraciones de nutrientes mucho más altas que el AGdN, cuya cuenca posee un mayor porcentaje de cobertura con campo natural y forestación.

El tramo del Río Negro comprendido entre las desembocaduras del río Yí y del AGdS (zona de Andresito) y Palmar sufre con frecuencia eventos de floraciones de cianobacterias que afectan a la zona, en la cual se destacan sitios balnearios como Andresito y Palmar. Este tramo se revela especialmente sensible debido a que es un tramo embalsado al cual confluyen estos cursos que presentan elevadas concentraciones de nutrientes, las que se suman a las ya de por sí las elevadas concentraciones que presenta el Río Negro. Las floraciones de cianobacterias traen consecuencias negativas para las poblaciones locales, el turismo balneario y la ganadería, a causa del deterioro visual de la calidad del agua y a los problemas sanitarios asociados a la toxicidad del agua.

La situación mencionada ha sido tratada en la Comisión de Cuenca del Río Negro y el Plan de Cuenca que a la fecha se encuentra en elaboración deberá contemplar medidas para evitar y recuperar la calidad del agua en esta cuenca, de la que forman parte los AGdN y AGdS. Asimismo, en el marco de la “Iniciativa para el Río Negro” se generó información y herramientas para la gestión ambientalmente sustentable de la cuenca. En este sentido se deberá continuar en esta línea de acción, dando paso al estudio de las medidas más eficaces para disminuir los aportes de nutrientes a los cursos de la cuenca y de los mecanismos que estimulen su implementación. En el caso de los AGdN y AGdS, se deberían priorizar acciones tendientes a disminuir la exportación de nutrientes provenientes de las prácticas agrícolas y la ganadería.

Por otra parte, a raíz de la importante actividad agrícola que se desarrolla en la cuenca del AGdS se considera conveniente contemplar dentro del programa de monitoreo de calidad de agua, la implementación de un monitoreo de plaguicidas en agua.

7. Bibliografía

Australian and New Zealand Guidelines for fresh & Marine Water Quality (ANZG). 2021. Toxicant default guideline values for aquatic ecosystem protection: Glyphosate in freshwater. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality. CC BY 4.0. Australian and New Zealand Governments and Australian state and territory governments, Canberra, ACT, Australia. https://www.waterquality.gov.au/sites/default/files/documents/glyphosate_fresh_dgv_technical-brief.pdf

Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. 2012. Canadian Council of the Ministers of the Environment (CCME). <https://ccme.ca/en/res/glyphosate-en-canadian-water-quality-guidelines-for-the-protection-of-aquatic-life.pdf>

Centro Suizo de Ecotoxicología Aplicada. 2013. EQS – Vorschlag des Oekotoxenzentrums für: Aminomethylphosphonsäure (AMPA) – Estándares de calidad ambiental – Propuesta del centro de ecotoxicología para ácido aminometilfosfonico. https://www.ecotoxcentre.ch/media/vm0en25q/ampa_finale-version_2015.pdf

GESTA-AGUA. 2008. Normas reglamentarias para prevenir la contaminación ambiental mediante el control de las aguas. Propuesta de modificación del decreto 253/79. <https://www.aiqu.org.uy/documentos/medioambiente/gesta%20de%20agua.pdf>

Mesa Técnica del Agua (MTA). 2017. Informe de asesoría a la mesa técnica del agua, documento técnico N° 1, Establecimiento de niveles guía de indicadores de estado trófico en cuerpos de agua superficiales. <https://www.ambiente.gub.uy/oan/documentos/DCA-MesaT%C3%A9cnicaAgua-MVOTMA-propuesta-NIVELES-GUIA-N-P-Clo-grupo-t%C3%A9cnico-FINAL-20.03.171.pdf>

Ministerio de Ambiente 2022. Informe de aplicación de herramientas para automatizar los datos de entrada. Entregable III Fondo para la Iniciativa del Río Negro.

Ministerio de Ambiente.2023. División Laboratorio Ambiental. Compendio de Metodologías Analíticas de Referencia y Preservación de Parámetros Ambientales. Versión VIII. Enero 2023. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/Compendio%20versi%C3%B3n%20VIII%20consolidado%20pdf.pdf>

Ministerio de Ambiente-Dinacea. 2023. Evaluación de la calidad de agua en la cuenca del Río Negro Período 2018-2022. Informe Técnico. División Calidad Ambiental-Dpto. Evaluación Ambiental Integrada. Montevideo. Uruguay.

Ministerio de Ambiente-Dinacea. 2024. Evaluación de la calidad de agua en la cuenca del río Yí. Período 2019-2023. Informe Técnico. División Calidad Ambiental-Dpto. Evaluación Ambiental Integrada. Montevideo. Uruguay.

Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP) 2020. Carta de suelos del Uruguay según la clasificación del Soil Taxonomy. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/politicas-y-gestion/carta-suelos-del-uruguay-segun-soil-taxonomy>

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. (Actual Ministerio de Ambiente). Manual de Procedimientos Analíticos Para Muestras Ambientales. 3ª edición. Agosto 2017. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-vivienda-ordenamiento-territorial/sites/ministerio-vivienda-ordenamiento-territorial-medio-ambiente/files/documentos/publicaciones/MANUAL%20PROCEDIMIENTOS%20LABORATORIO%202017.pdf>

Traas und Smit 2003. Traas T. P., Smit C. E. 2003: Environmental Risk Limits for aminomethylphosphonic acid (AMPA). RIVM report 601501018/2003. <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/601501018.pdf> Bilthoven, The Netherlands: National Institute of Public Health and the Environment. Letzter Zugriff 13.02.2012 https://www.ecotoxcentre.ch/media/vm0en25q/ampa_finale-version_2015.pdf