

Evaluación de la calidad de agua en la
cuenca del río Cuareim
Período 2014-2020



Ministerio de Ambiente

Adrián Peña

Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental

Eduardo Andrés

Área Información, Planificación y Calidad Ambiental

Ing. Quím. Marisol Mallo

División Calidad Ambiental

Ing. Luis Reolón

Departamento Evaluación Ambiental Integrada

Biol. Mag. Lizet De León

Departamento de Seguimiento de Componentes del Ambiente

Ing. Quím. Magdalena Hill

División Laboratorio Ambiental

Q.F. Natalia Barboza

División Biodiversidad

Biol. Mag. Ana Laura Mello

Equipo de Monitoreo

Alejandro Cendón, Biol. Carolina Ferrer, Biol. Facundo Lepillanca, Bach. Fernanda Eugui, Gabriel Yorda, Oc. PhD. Guillermo Cervetto, Tec. Agrop. Javier Martínez, Jorge Rodríguez (Consultor), Biol. Mario Acosta (Consultor), Biol. Martín Pacheco, Biol. Mag. Natalie Corrales (Consultora) y Gerardo Balero.

Autoras/es del Informe

Bioq. Mag. Amelia Fabre (Consultora), Ing. Natalia Neighbor (Consultora), Ing. Luciana Badano (Consultora), Biol. Mercedes Gelós (Consultora), Biol. Mag. Ana Laura Mello, Biol. Mag. Elena Rodó, Biol. Mag. Federico Quintans (Consultor), Ing. Mag. Pablo Kok y Biol. Mag. Lizet De León.

ISBN: 978-9915-9377-6-2



Este documento se terminó de elaborar y revisar en diciembre de 2020

DINACEA, Galicia 1133 Montevideo, CP 11100, Uruguay

Teléfono: 2917.07.10 int. 4150

Primera edición, enero 2022

Número de páginas: 65

Revisión y diseño: Ministerio de Ambiente

Imagen en portada: Javier Martínez

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Calidad de agua	1
1.2.	Monitoreos de calidad de agua	3
2.	OBJETIVOS	4
3.	ÁREA DE ESTUDIO	5
3.1.	Ubicación geográfica de la cuenca y población	5
3.2.	Relieve, paisaje y ecosistemas	6
3.2.1.	Eco-región	6
3.2.2.	Ecosistemas	6
3.2.2.1.	Pastizales 1	6
3.2.2.2.	Humedales	7
3.2.2.3.	Bosques nativos	9
3.3.	Relevancia para la conservación	9
3.3.1.	Especies relevantes para la conservación	9
3.3.2.	Sitios relevantes para la conservación	10
3.4.	Servicios ecosistémicos	11
3.5.	Coberturas de suelo	12
4.	METODOLOGÍA	15
4.1.	Programa de monitoreo	15
4.2.	Parámetros de calidad de agua	16
4.2.1.	Generales	16
4.2.2.	Metales pesados	17
4.2.3.	Fitosanitarios	17
4.3.	Parámetros hidroclimáticos	18
4.4.	Estimación de carga de nutrientes aportada por la cuenca	19
4.4.1.	Cargas difusas	19
4.4.2.	Cargas puntuales	20
4.5.	Índice estado trófico de las aguas	20
4.6.	Índice de calidad de agua (IQA)	21
4.7.	Análisis de datos	22
5.	RESULTADOS	24
5.1.	Evaluación espacial y temporal de la cuenca	24
5.1.1.	Variables físicas y químicas, y nutrientes	24
5.1.2.	Variables biológicas	26
5.1.3.	Fitosanitarios	27
5.1.4.	Metales pesados	27
5.1.5.	Carga de nutrientes aportadas desde la cuenca	29
5.2.	Evaluación temporal por cauce	30
5.2.1.	Río Cuareim	30
5.2.2.	Arroyo Tres Cruces	32
5.2.3.	Arroyo Yucutujá	33
5.3.	Evaluación integrada	35
5.3.1.	Aportes desde la cuenca y calidad de agua para cada cauce	35
5.3.1.1.	Río Cuareim	35
5.3.1.2.	Aº Tres Cruces	37
5.3.1.3.	Aº Yucutujá	38
5.3.2.	Cumplimiento de los estándares de calidad de agua	39
5.3.3.	Índice de Calidad de agua (IQA)	40
5.3.4.	Índice de Estado Trófico	40
6.	DISCUSIÓN	41
6.1.	Características de la cuenca	41
6.2.	Metales pesados	42
6.3.	Fitosanitarios	42
7.	CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	44
8.	BIBLIOGRAFÍA	45

ANEXO I. Detalle de cobertura de suelos	49
ANEXO II. Especificaciones del plan de monitoreo	51
ANEXO III. Especificaciones de los parámetros hidroclimáticos	53
ANEXO IV. Estadísticos ACPs	55
ANEXO V. Detalle ODS 6.3.2	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Cuenca del río Cuareim.....	6
Figura 3.2 Comunidades de pastizales.....	7
Figura 3.3 Categorías de humedales.....	8
Figura 3.4 Bosque nativo	9
Figura 3.5 Riqueza de especies prioritarias para la conservación	10
Figura 3.6 Sitios de importancia para la conservación	11
Figura 3.7 <i>Sporophila palustris</i> , <i>Sporophila ruficollis</i> y <i>Sporophila hypochroma</i>	11
Figura 3.8 Contribución relativa a la prestación del servicio ecosistémico “agua de calidad”	12
Figura 3.9 Coberturas de suelo en 2019	13
Figura 3.10 Porcentajes de cobertura de suelo	13
Figura 3.11 Densidad de embalses	14
Figura 4.1. Localización de las estaciones de monitoreo.....	15
Figura 4.2 Caudales.....	18
Figura 4.3 Precipitación acumulada mensual.....	18
Figura 5.1 Variación espacial de parámetros físicos y químicos entre 2014 y 2020 en la cuenca del río Cuareim	25
Figura 5.2 Variables biológicas.....	26
Figura 5.3 Frecuencia de detección de fitosanitarios	27
Figura 5.4 Frecuencia ocurrencia de metales pesados.....	27
Figura 5.5. Concentración de aluminio.....	28
Figura 5.6. Carga anual de fósforo total y nitrógeno totalaportada desde fuentes puntuales.....	29
Figura 5.7. Variación temporal de parámetros físicos y químicos en el río Cuareim.. ..	30
Figura 5.8. Concentración de fósforo total en el cauce del río Cuareim en función de las lluvias acumuladas.....	31
Figura 5.9. Variación temporal de parámetros físicos y químicos en el A° Tres Cruces	32
Figura 5.10. Variación temporal de parámetros físicos y químicos en el A° Yucutujá.....	34
Figura 5.11. Concentración de sólidos totales y conductividad en función del porcentaje de área utilizada para cultivos de arroz	35
Figura 5.12. Análisis de componentes principales del río Cuareim.....	36
Figura 5.13 Análisis de componentes principales del río Cuareim para todo el año 2020	37
Figura 5.14. Análisis de componentes principales del Arroyo Tres Cruces.....	37
Figura 5.15 Análisis de componentes principales del Arroyo Yucutujá	38
Figura 5.16 Porcentaje de cumplimiento de los parámetros legislados en el Decreto 253/79.....	39
Figura 5.17 Estado trófico.....	40

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ACA: Asociación de Cultivadores de Arroz
ACP: Análisis de Componentes Principales
AMPA: Ácido aminometilfosfónico
CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CTM: Comisión Técnica Mixta
DCA: División Calidad Ambiental
DCAA: Departamento de Control Ambiental de Actividades
DEAI: Departamento de Evaluación Ambiental Integrada
DICOSE: Dirección de Contralor de Semovientes
DINABISE: Dirección Nacional de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos
DINACEA: Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental
DINAGUA: Dirección Nacional de Aguas
DINAMA: Dirección Nacional de Medio Ambiente
DNH: Dirección Nacional de Hidrografía
DSCA: Departamento de Seguimiento de Componentes Ambientales
ECHA: European Chemical Agency.
EGC: Establecimientos de ganado confinado
FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FEPAM: Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler/RS-Brasil
GESTA-Agua: Grupo de estándares ambientales-agua
IAO: Informe Ambiental de Operaciones
IBA: Área de Importancia para la Conservación de las Aves (por su sigla en inglés)
IBGE: Instituto brasileiro de geografia y estadística
IET: Índice de estado trófico
INE: Instituto Nacional de Estadística
INIA: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria
IPH: Instituto de Pesquisas Hidráulicas
LC: Límite de cuantificación analítica
LD: Límite de detección analítica
MA: Ministerio de Ambiente
MGAP: Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca
MTA: Mesa Técnica del Agua
MVOTMA: Ministerio de vivienda, ordenamiento territorial y medio ambiente
OAN: Observatorio Ambiental Nacional
ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMS: Organización Mundial de la Salud
ONU: Organización de las Naciones Unidas
REDD+: Programa para la Reducción de Emisiones causadas por la Deforestación y la Degradación forestal
RIQ: Rango intercuartílico
SE: Servicios ecosistémicos
SNAP: Sistema Nacional de Áreas Protegidas
WQA-NSF: Water Quality Association - National Sanitation Foundation

RESUMEN

La cuenca del río Cuareim separa nuestro país de Brasil, por lo cual la calidad del agua depende de las actividades que se desarrollen en la subcuenca de ambos países y su gestión debe ser conjunta. Es por esto que ha estado en la agenda de los estudios de calidad de agua desde 1979, y desde el 2006 es parte de los monitoreos regulares de DINACEA. El objetivo del presente trabajo fue evaluar de forma integrada la calidad del agua del río Cuareim y dos de sus principales afluentes entre los años 2014 y 2020.

El programa de monitoreo que realiza el Ministerio de Ambiente-DINACEA, se centra en el río Cuareim propiamente dicho y dos afluentes, los arroyos Yucutujá y Tres Cruces, en los cuales se distribuyen 8 estaciones de muestreo. En este trabajo se presentan y analizan los resultados obtenidos desde 2014 a 2020 de los parámetros limnológicos clásicos, así como coliformes termotolerantes (TMF), fitosanitarios y sus derivados y metales pesados (35 campañas en total). Se calcularon y evaluaron las cargas de nutrientes aportadas desde la cuenca de cada estación de monitoreo, tanto puntuales (industrias, tambos, centros urbanos y establecimientos de ganado confinado), como difusas. También se tuvieron en consideración las precipitaciones previas a los monitoreos y los caudales. Se realizaron análisis multivariados, se calcularon los índices de estado trófico (IET) y de calidad de agua (IQA), y el porcentaje de cumplimiento de los estándares del Decreto 253/79 para cada estación de monitoreo.

Los resultados obtenidos indicaron que la cuenca en estudio presentó una calidad de agua en general buena correspondiente al estado mesotrófico. Los contaminantes más importantes fueron el exceso de nutrientes, los TMF en ocasiones puntuales y el aluminio, cuyas causas no pudieron ser elucidadas. La estación con mayor concentración de fósforo total y sólidos totales (ST), así como mayor conductividad, fue la del Aº Yucutujá, que coincidentemente, presentó mayor proporción de área destinada al cultivo de arroz y mayor número de embalses. Mientras que en el Aº Tres Cruces los tambos y la actividad agropecuaria también fueron importantes en cuanto al aporte de nutrientes. En el río Cuareim se suman además los aportes de dos ciudades importantes como son Artigas y Quaraí (Brasil).

Los fitosanitarios estuvieron presentes en bajas concentraciones respecto a la normativa, y los detectados con mayor frecuencia fueron glifosato y su derivado AMPA. Se observó además, que los años con mayor ocurrencia de estos compuestos fueron los de mayor lluvia acumulada por día y mayor concentración de ST. Esto podría indicar que su llegada a estos cursos de agua podría darse por erosión desde predios agropecuarios.

El porcentaje de cumplimiento del Decreto 253/79 fue elevado en todos los parámetros a excepción de la concentración de PT, como ocurre con muchos cursos de agua del país.

Se concluyó entonces, que a pesar de la alta presión sobre la cuenca (desde agricultura intensiva, tambos y ciudades), la calidad de agua se mantiene de buena calidad. Esto podría estar favorecido por la alta tasa de recambio de las aguas de todo el sistema y sus procesos intrínsecos de depuración.

Las acciones deberían concentrarse hacia la disminución de la exportación de carga de nutrientes desde la cuenca tanto desde la agricultura como desde las ciudades.

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Cuareim, al noreste del Uruguay, es una de las cuencas compartidas con Brasil, ya que su eje divide ambos países. El hecho de ser una cuenca transfronteriza, implica un desafío adicional en la gestión de la calidad del agua. En este sentido, el río Cuareim ha estado en la agenda de los estudios de calidad de agua desde 1979, en 2006 la DINAMA se integró a un programa de colaboración uruguayo-brasilero coordinado por DNH (Uruguay) y el IPH (Brasil), en el marco de un Proyecto Twinlatin que finalizó en 2008 (Ekstrand *et. al.*, 2009); y continuó con el monitoreo de calidad del agua hasta el presente (DINAMA, 2020).

El área de estudio destaca también por presentar diversidad de ecosistemas de importancia para la conservación de la diversidad. El ecosistema dominante son los pastizales densos basálticos, los bosques ribereños y serranos y humedales en menor proporción (Sección 3.2.2). Esta diversidad de ambientes provee servicios ecosistémicos de gran importancia para el sustento de las poblaciones humanas como por ejemplo la provisión de alimentos y el mantenimiento de agua de calidad (Sección 3.4).

Los centros poblados más importantes de la cuenca se encuentran a orillas del río Cuareim en la cuenca media, las ciudades limítrofes de Quaraí y Artigas (Sección 3.1). Las principales actividades productivas de la región es la agropecuaria, principalmente de arroz en el territorio brasilero y de arroz con rotaciones ganaderas en el uruguayo (Sección 3.5). Otras actividades de interés para la calidad del agua son las de extracción de áridos (ladrilleros y areneros) en la ciudad de Artigas (CIC *et. al.*, 2016). Dichas actividades generan erosión y el aporte de sólidos a los cuerpos de agua. Además, son actividades que están autorizadas y reguladas en Uruguay y prohibida en Brasil, por lo que es además, foco de conflicto en la gestión del río.

1.1. Calidad de agua

La calidad de agua se establece en base a los usos que se le dan, en el caso de los monitoreos de DINACEA, se considera que la calidad debe ser apta para conservar la vida acuática, correspondiente a la clase 3 del Decreto 253/79: “Aguas destinadas a la preservación de los peces en general y de otros integrantes de la flora y fauna hídrica, o también aguas destinadas al riego de cultivos cuyo producto no se consume en forma natural o en aquellos casos que siendo consumidos en forma natural se apliquen sistemas de riego que no provocan el mojado del producto.”

Dentro de las variables seleccionadas para evaluar la calidad del agua, hay cinco cuyas concentraciones cuentan con valores de referencia para determinar la calidad y que son utilizados habitualmente en los monitoreos de aguas superficiales nacionales y municipales, lo que permite su comparación, las concentraciones de oxígeno disuelto, de los macronutrientes nitrógeno y fósforo, de clorofila *a* y de coliformes termotolerantes.

La concentración de oxígeno disuelto en el agua tiene su origen en la producción fotosintética de fitoplancton, perifiton y plantas acuáticas o a través de la difusión desde la atmósfera, en función del equilibrio entre las concentraciones del gas en el agua y el aire (ley de Henry). Por lo cual la altitud, la presión atmosférica y la temperatura son factores que inciden en la concentración de oxígeno en el agua. Dicho elemento es fundamental para el metabolismo respiratorio de la mayor parte de los organismos y para las reacciones bioquímicas de oxidación o reducción involucradas en los ciclos de nutrientes. La acumulación de materia orgánica en los cuerpos de agua provoca la disminución del oxígeno al ser consumido durante el proceso de descomposición (Wetzel, 2001).

El nitrógeno es otro componente esencial de los seres vivos, que forma parte de las proteínas y el ADN, como ejemplo de su relevancia. Puede llegar a ser el nutriente limitante del crecimiento de la biota cuando los aportes de PT son muy elevados. La disponibilidad para la biota del nitrógeno varía según las cantidades

relativas de las formas de nitrógeno presentes (amoníaco, nitrito, nitrato o nitrógeno orgánico). El nitrógeno total (NT) es una medida que reúne todas las formas orgánicas e inorgánicas de nitrógeno y sus principales fuentes son efluentes de aguas servidas o de animales confinados, fertilizantes agrícolas, efluentes industriales y domésticos y minería (JICA-DINAMA, 2006).

Por otro lado, el fósforo es un componente esencial para la estructura y metabolismo de las células. Entre otras funciones, el fósforo forma parte del ADN (ácido desoxirribonucleico), del ATP (adenosín trifosfato) y de las moléculas de fosfolípidos que forman las membranas celulares. Por lo tanto, es uno de los nutrientes fundamentales para el crecimiento vegetal y animal. Este elemento está presente naturalmente en el agua por la erosión de las rocas y la degradación de la materia orgánica (Wetzel, 2001). Se encuentra principalmente en forma particulada inorgánica u orgánica y en una menor fracción en forma disuelta, orgánica (nucleótidos, polinucleótidos, sustancias húmicas, poli, meta y ultra fosfatos) e inorgánica (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-) (Arocena, 2016; Wetzel 2001).

La concentración de fósforo total (PT) mide la cantidad de fósforo disponible en forma orgánica e inorgánica, disuelta y particulada en los sistemas acuáticos. En muchos sistemas acuáticos el fósforo constituye el nutriente limitante de la producción primaria (algas, plantas y cianobacterias). A su vez, el aumento de este nutriente en el medio acuático (eutrofización) de forma acelerada, está relacionado a diversas actividades antrópicas, principalmente la utilización de fertilizantes y la erosión excesiva del suelo. Además, en determinadas zonas de gran densidad de ganado con acceso al cuerpo de agua, las excreciones de los animales son también una fuente importante de nutrientes al agua (Arocena, 2016).

La eutrofización se ha convertido en la problemática de calidad de agua más extendida tanto a nivel nacional como mundial. Naturalmente, la descomposición de la materia orgánica provoca la reducción de la concentración de oxígeno en el agua y aporta nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo (en centenas de años). El aporte de materia orgánica proveniente de actividades antrópicas contribuye a acelerar el proceso de eutrofización (decenas de años o menos). La proliferación excesiva de plantas acuáticas, microalgas y cianobacterias constituye uno de los efectos más notorios de este fenómeno, afectando la calidad del agua para su utilización por el hombre y la conservación de la biodiversidad. La clorofila a es un pigmento común a todos los organismos productores primarios de agua dulce. Por lo que su concentración en el agua tiene relación directa con el desarrollo fitoplanctónico (cianobacterias y microalgas) y es un indicador de su biomasa. Dado que la producción depende de la disponibilidad de luz y nutrientes (Bonilla, 2009).

El estado trófico de un cuerpo de agua da cuenta de su grado de eutrofización. En orden creciente de concentración de nutrientes, los estados tróficos de los cuerpos de agua van desde la (ultra)oligotrofia a la (hiper)eutrofia. Los ambientes oligotróficos están representados por cuerpos de agua transparente, de baja productividad, alta biodiversidad y muy sensibles a los impactos producidos por la llegada de nutrientes. Los ambientes eutróficos están representados por cuerpos de agua de baja transparencia, alta productividad y desarrollo temporal de floraciones de cianobacterias, donde los incrementos de nutrientes son menos impactantes pero acumulables. Los ambientes hipereutróficos, son sistemas turbios, con alta presencia de productores primarios representados por plantas acuáticas o floraciones de algas o de cianobacterias potencialmente tóxicas, que ocasionan importantes impactos en la biota y la diversidad. La identificación y evaluación de las fuentes de nutrientes provenientes de las cuencas, considerando los impactos antrópicos y la dinámica natural de los ecosistemas, son esenciales para realizar una gestión sustentable del ambiente.

Por otro lado, los coliformes termotolerantes (TMF) ofrecen una estimación del grado de contaminación fecal de humanos y animales de sangre caliente. Si se encuentra contaminación fecal en el agua, también existen riesgos de presencia de organismos patógenos. Las fuentes de TMF son las plantas de tratamiento de aguas servidas (efluentes domésticos), áreas de recreación, ganado y escurrentía urbana (JICA-DINAMA, 2006).

Otros contaminantes que pueden encontrarse en el agua son los metales pesados, como por ejemplo el aluminio. Dicho elemento es el metal más común en la corteza terrestre y puede ingresar al ambiente acuático a través de fuentes naturales y antropogénicas. Las fuentes naturales típicamente dominan su ocurrencia, lo cual se debe a que es un compuesto abundante en las rocas y se libera junto con otros minerales en la erosión (meteorización) de las mismas (EPA 2018). Las emisiones antropogénicas de Al están asociadas principalmente con procesos industriales como ser: emisiones de aire, efluentes de aguas residuales y desechos sólidos. Se incluyen también la combustión de combustibles fósiles, puede ser también liberado al agua por minería, y está presente en los fertilizantes utilizados en la agricultura. Otra fuente, es el tratamiento de aguas residuales donde utilizan alumbre (sulfato de potasio y aluminio) como coagulante para clarificar el agua potable y las aguas residuales (EPA 2018).

El aluminio se considera un metal no esencial porque los peces y otras formas de vida acuática no lo necesitan para funcionar. Los niveles elevados de aluminio pueden afectar la capacidad de algunas especies para regular los iones, como las sales, e inhibir las funciones respiratorias. Además puede acumularse en la superficie de las branquias de peces, provocando disfunción respiratoria y posiblemente la muerte.

En los últimos años se ha extendido los cultivos agropecuarios basada en el uso de compuestos químicos para el mantener un alto rendimiento de los cultivos, los fitosanitarios. Dichos compuestos se utilizan para eliminar, controlar, repeler o mitigar plagas, por ejemplo insecticidas, funguicidas, rodenticidas, herbicidas, germicidas etc. Cada fitosanitario puede contener más de un compuesto activo y además contienen adyuvantes y otros productos para favorecer las características deseables del producto final (densidad, etc; Margni *et. al.*, 2002). Los fitosanitarios son foco de preocupación nacional e internacional por su toxicidad para los ecosistemas y para las personas, ya que residuos de éstos compuestos, o de sus productos de degradación, pueden estar presentes en el agua y en alimentos (FAO, 2021; Margni *et. al.*, 2002).

1.2. Monitoreos de calidad de agua

Además de los parámetros antes mencionados, para conocer la calidad de agua en la cuenca, es importante contar con monitoreos en periodos de tiempo prolongados, que permitan ver los cambios en la calidad del agua e identificar las principales presiones que la cuenca ejerce sobre los ecosistemas acuáticos. Para eso es necesario una visión integral (totalidad de la cuenca) e integrada (multidimensional, socio económica y ambiental).

La evaluación integrada interpreta el estado del ambiente como resultado del impacto de las actividades humanas en la cuenca y la respuesta del ambiente para recuperar o mantener sus condiciones de buena calidad (lo que se conoce como “resiliencia”; Jeppesen *et. al.*, 2012). El estado del ambiente puede medirse con diferentes tipos de indicadores e índices, que consideran las características físicas, químicas, biológicas, productivas, de riesgo o de recuperación, entre otras. En este trabajo se seleccionaron varias herramientas para medir y analizar el estado ambiental de la cuenca del río Cuareim, buscando identificar los factores que determinan la calidad de las agua. Esto fue posible mediante el análisis y la integración de la información obtenida de los parámetros del agua, de los usos del suelo y de otras actividades de la cuenca. A partir de esta evaluación ambiental se pretende sugerir acciones que preserven los cuerpos de agua en buen estado o propicien la recuperación de los que están en condiciones críticas.

El Ministerio de Ambiente (MA) es el organismo responsable de la evaluación y análisis de la calidad de agua de los cuerpos de agua del país, así como también de la comunicación de resultados. Este trabajo se enmarca en la divulgación de los resultados hacia técnicos y tomadores de decisión de forma de apoyar el desarrollo sostenible de la región.

2. OBJETIVOS

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar de forma integrada la calidad del agua del Río Cuareim y de sus principales afluentes entre los años 2014 y 2020.

Los objetivos específicos fueron:

1. Evaluar la variación espacial y temporal de los parámetros de calidad de agua en las estaciones de monitoreo del programa de DINAMA.
2. Evaluar la presencia de determinados contaminantes provenientes de actividades antrópicas en el agua: fitosanitarios, compuestos halogenados adsorbibles y coliformes termotolerantes.
3. Evaluar la relación entre la calidad de agua observada en las estaciones de monitoreo y la carga estimada de nutrientes aportada desde la cuenca.
4. Determinar el porcentaje de cumplimiento de los estándares de calidad de agua nacionales.
5. Determinar los índices de estado trófico y de calidad de agua de los cursos de agua en las estaciones de monitoreo.

3. ÁREA DE ESTUDIO

3.1. Ubicación geográfica de la cuenca y población

El río Cuareim se localiza en el noroeste del Uruguay y en el sur de Brasil, siendo su eje la línea divisoria entre ambos países. Ubicado entre las coordenadas geográficas 29°40' y 30°55' de latitud Sur y entre 55°35' y 57°40' de longitud Oeste, es un afluente importante del río Uruguay y por lo tanto forma parte de la Cuenca del Plata. Tiene una extensión total de 351 km y es una cuenca de orden 2, cuyas principales subcuencas de orden 3 son las de los arroyos Catalán Grande, Tres Cruces, Cuaró Grande y Yucutujá (codificación de cuencas de DINAGUA: 102, 107, 108 y 109 respectivamente) (Figura 3.1).

En territorio uruguayo está comprendida en el Departamento de Artigas y del lado brasilero incluye los Municipios de Santana do Livramento, Quaraí y Uruguai. En la cuenca se ubican solo dos ciudades de más de 25000 habitantes, Artigas y Quaraí del lado uruguayo y brasilero respectivamente, conectadas por un puente internacional. Sobre su desembocadura en el río Uruguay se ubican además las ciudades de Barra do Quaraí y Cuareim (Brasil y Uruguay respectivamente), aunque de menor número de habitantes.

Junto con Durazno, la ciudad de Artigas ha sido la zona urbana uruguaya más afectada por las inundaciones en los últimos 50 años. Desde 2011 cuenta con un Sistema de Alerta Temprana para inundaciones, que consiste en una red de estaciones telemétricas para monitoreo de las lluvias y la evolución del río. Este sistema prevee la fecha de ocurrencia de las cotas altas con alrededor de 4 días de anticipación. Dicho sistema ha permitido gestionar las emergencias con mayor eficiencia, evitando las evacuaciones nocturnas de damnificados y permitiendo pronosticar la infraestructura necesaria para atender la emergencia (Silveira *et. al.*, 2015). A fines de 2015, la inundación en el departamento de Artigas alcanzó niveles históricos y obligó a cortar el puente que conecta la ciudad de Artigas y la ciudad brasileña de Quaraí. Sólo en la ciudad de Artigas las personas desplazadas llegaron a las 1.000 (SINAE 2019 a).

En 2019 las precipitaciones ocurridas en la cuenca alta y media del Río Uruguay provocaron la crecida de los ríos generando inundaciones de la ribera en 9 Departamentos. El Departamento de Artigas registró el máximo de lluvias acumuladas en el periodo que duró el evento (1116 mm del 7/1/19 al 4/2/19). Particularmente las localidades de Bernabé Rivera (sobre el A° Cuaró Grande), Paso Farías (sobre un afluente del A° Yucutujá) y la ciudad de Artigas registraron los máximos de lluvia acumulada mensuales (763, 683 y 670 mm respectivamente). Este evento adverso fue alertado por los Sistemas de Alerta Temprana, y el número de personas desplazadas fue de 243 (SINAE 2019 b).

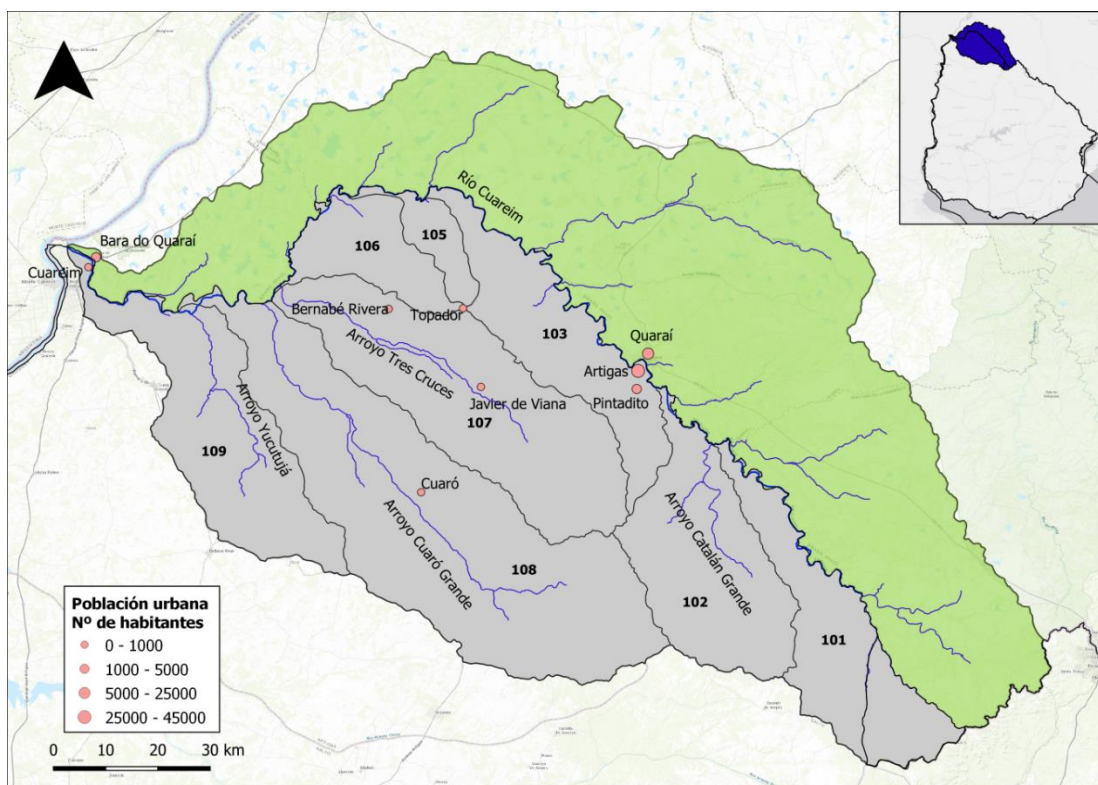


Figura 3.1. Cuenca del río Cuareim, en color gris la hemicuenca uruguaya y en verde la brasilera. Se incluyen los principales afluentes (líneas azules) y centros poblados (círculos rosados). Los números corresponden a las subcuenca de orden 3. Elaboración propia a partir de OAN e IBGE.

3.2. Relieve, paisaje y ecosistemas

3.2.1. Eco-región

La cuenca del Río Cuareim se encuentra totalmente comprendida en la eco-región Cuesta basáltica. Esta eco-región, la más grande del país en términos de superficie (4.174.599 ha), se caracteriza por presentar basaltos como sus formaciones geológicas y rocas dominantes. Presenta un rango altitudinal entre los 90 y 400 metros, siendo las principales geoformas las lomadas, planos, y colinas.

La Cuesta Basáltica, con 911 especies (peces, anfibios, reptiles, aves, mamíferos, y leñosas), presenta la mayor riqueza de especies del país, asimismo, presenta una importante riqueza de especies endémicas y casi endémicas en el caso de peces, aves y mamíferos (Brazeiro, 2015).

3.2.2. Ecosistemas

3.2.2.1. Pastizales 1

La cuenca del Río Cuareim está mayoritariamente cubierta por ecosistemas de pastizal (72,5 %). Entre éstos, domina la comunidad de pastizales densos de la región basáltica. En esta comunidad, las principales especies indicadoras son todas características de condiciones moderadas, presenta un predominio de gramíneas estivales y de alto valor forrajero. Se encuentra asociada a suelos medios y profundos ubicados generalmente en valles e interfluvios planos, siendo rara la presencia de rocosidad y pedregosidad en superficie. A esta comunidad le sigue en superficie la comunidad de pastizales ralos de la región basáltica que se caracteriza por

especies características de ambientes secos, presentando sus dos especies indicadoras atributos asociados a condiciones de escasez de agua. A su vez, esta comunidad presenta un predominio de gramíneas estivales y la ausencia de arbustos. La cobertura vegetal se ubica en el entorno del 60 %, estando la comunidad claramente asociada a afloramientos rocosos y suelos superficiales (Tabla 3.1) (Lezama *et. al.*, 2019).

Tabla 3.1 Comunidades de pastizales que se encuentran en la cuenca del Río Cuareim y superficie que abarcan

Comunidad de pastizal	Superficie (ha)
Pastizales densos de la Región Basáltica	411.819
Pastizales densos de las regiones Centro-Sur, Sierras y Lomadas, y Cuenca Sedimentaria del Noreste	44
Pastizales ralos de la Región Basáltica	182.242
Pastizales ralos de las regiones Centro-Sur, Sierras y Lomadas, y Cuenca Sedimentaria del Noreste	7
Total	594.112

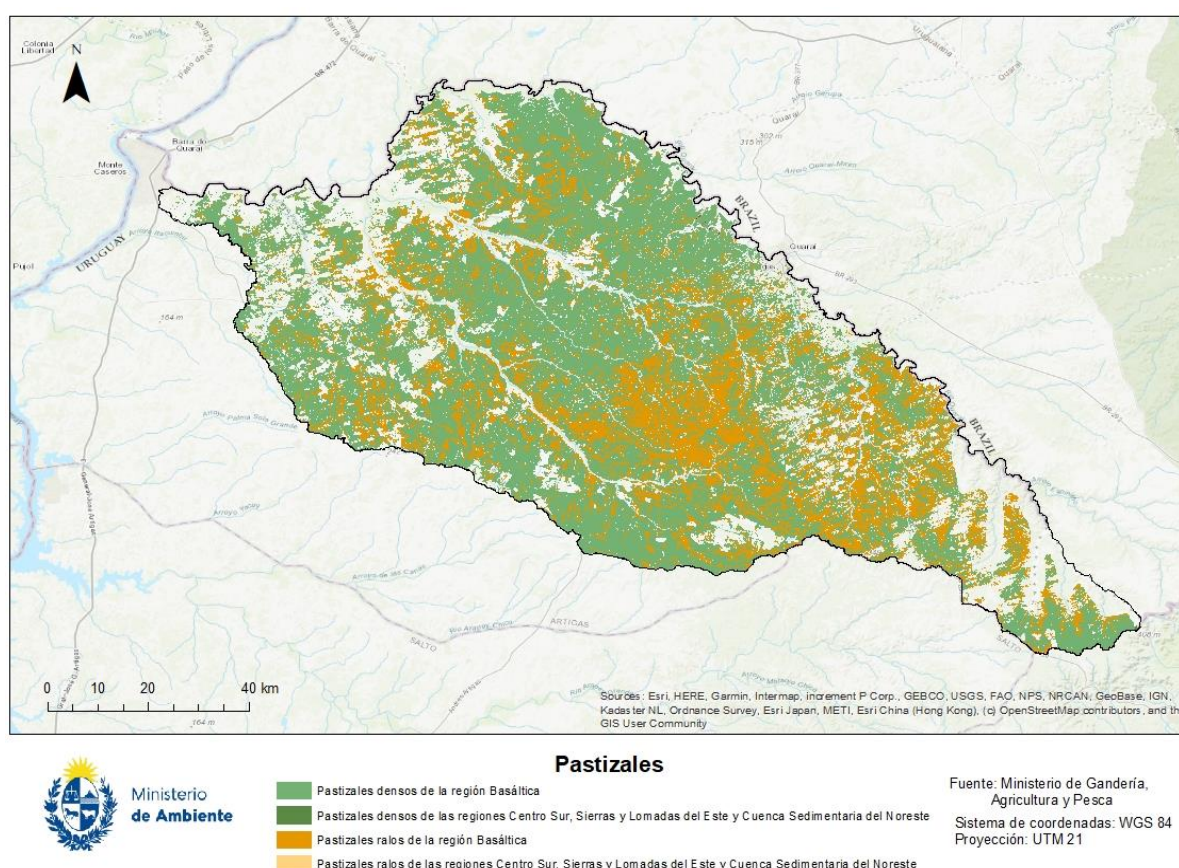


Figura 3.2 Distribución de las diferentes comunidades de pastizales presentes en la cuenca del Río Cuareim.

3.2.2.2. Humedales

Según el Inventario Nacional de Humedales, la cuenca del Río Cuareim está cubierta por un 10,4 % de humedales de diferentes características. Siguiendo la clasificación de humedales de la Convención de Ramsar, se pueden distinguir en la cuenca tres categorías de humedales artificiales (2, 4 y 6), y tres categorías de humedales continentales (M, Ts, y Xf) (Tabla 3.2, Figura 3.3).

Los humedales boscosos asociados a los cursos de agua de la cuenca (bosques nativos ribereños que se inundan de forma temporal), son los predominantes ocupando cerca de 34.000 hectáreas. Como se podrá

apreciar en la sección 4, estos humedales boscosos brindan múltiples servicios ecosistémicos entre los que se destacan el mantenimiento de la calidad de agua y la protección frente a inundaciones.

Dentro de los humedales artificiales los más representativos son las tierras agrícolas inundables. Si bien se los categoriza como artificiales, en nuestro país en su gran mayoría esta categoría representa pastizales con uso ganadero que se inundan temporalmente.

En función del análisis realizado para el Inventario Nacional de Humedales, los humedales que se encuentran en la cuenca del Río Cuareim presentan una intensidad de uso que ronda el valor 4 en una escala del 1 al 10, esto implica que la presión de uso de estos humedales es relativamente baja (Achkar *et. al.*, 2016).

Tabla 3.2 Categorías de humedales, según Convención de Ramsar, que se encuentran en la cuenca del Río Cuareim y la superficie que abarcan.

Categoría de Humedal	Sup. (ha)
2- estanques artificiales	839
4- tierras agrícolas inundadas	22.027
6 - áreas de almacenamiento de agua	8054
M - ríos/arroyos permanentes	1061
Ts - pantanos/esteros/charcas estacionales	19.677
Xf - humedales boscosos de agua dulce	33.847
Total	85.504

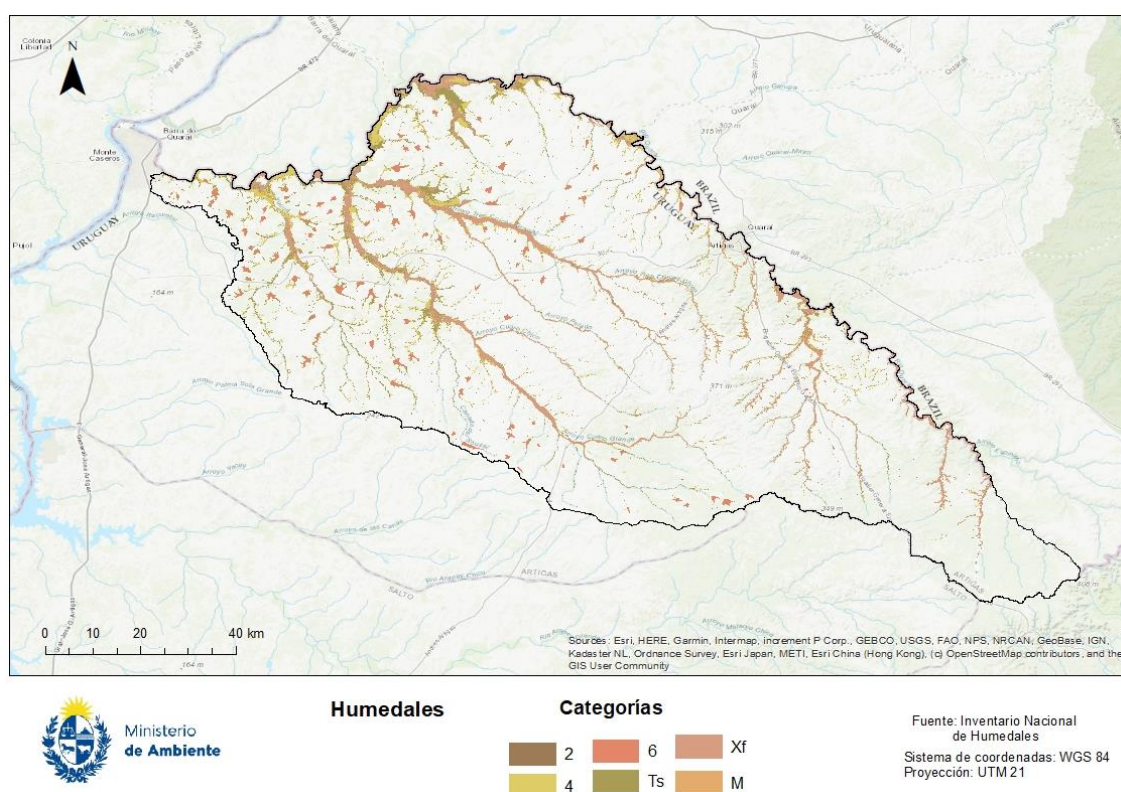
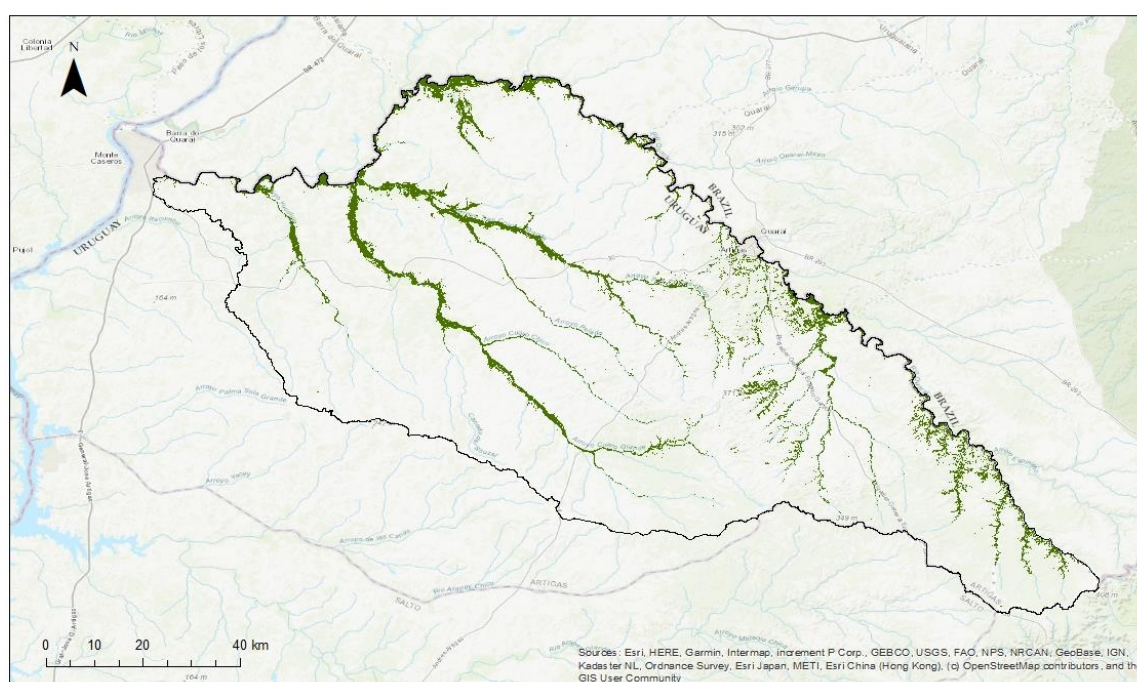


Figura 3.3 Distribución de las diferentes categorías de humedales presentes en la cuenca del Río Cuareim.

3.2.2.3. Bosques nativos

El bosque nativo ocupa en la cuenca 48.833 hectáreas, correspondiendo principalmente a bosques ribereños y serranos (Figura 3.4).

Si bien la introducción y expansión de las especies exóticas invasoras es una de las principales problemáticas de nuestros bosques, tomando solamente en cuenta este factor, los bosques de la cuenca presentan un buen estado de conservación. El análisis de las especies exóticas invasoras en bosques nativos de Uruguay en base a parcelas del Inventario Forestal Nacional (Proyecto REDD+ Uruguay, 2019) identifica la presencia en la cuenca de la especie *Ligustrum sp* con valores de severidad de invasión de ligeros a moderados. Sin embargo, el departamento de Artigas presenta uno de los porcentajes de invasión de bosque nativo más bajos del país, situándose en 0.44% (Proyecto REDD+ Uruguay 2020).



Bosque Nativo

Fuente: Proyecto REDD+
Sistema de coordenadas: WGS 84
Proyección: UTM 21

Figura 3.4 Distribución del bosque nativo en la cuenca del Río Cuareim.

3.3. Relevancia para la conservación

3.3.1. Especies relevantes para la conservación

Respecto a la flora y fauna, la cuenca contiene un promedio de 41 especies prioritarias para la conservación de animales (considerando moluscos, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos), y 6 vegetales (considerando herbáceas y leñosas). La mayoría de las celdas de la Figura 4 (correspondientes a la carta topográfica del Servicio Geográfico Militar) presentan entre 33 y 41 especies prioritarias animales, ubicándose sobre el límite noroeste de la cuenca las zonas con mayor número de especies (42 a 50). Como se puede ver más adelante, esto se corresponde con los sitios identificados como de prioridad para la conservación. En lo que refiere a la vegetación, el promedio de especies prioritarias para la cuenca es de 6. La mayoría de las celdas presentan

valores entre 0 a 3 especies. Como ocurre con los animales, las zonas de mayor relevancia se ubican en el extremo noroeste, y en el caso de la flora también en el límite sureste donde alcanza valores de entre 20 y 29 especies prioritarias (Figura 3.5).

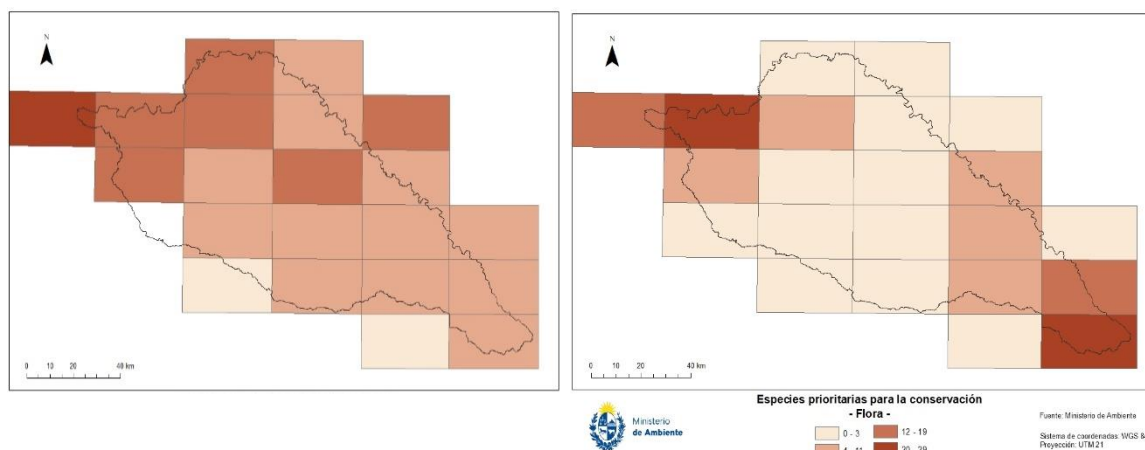


Figura 3.5 Riqueza de especies prioritarias para la conservación de fauna (superior) y flora (inferior) identificadas a escala de celda de la carta topográfica del Servicio Geográfico Militar para la cuenca del Río Cuareim.

3.3.2. Sitios relevantes para la conservación

Un 6,2% de la superficie (51.058 hectáreas) de la cuenca presenta alta prioridad para la conservación (en un rango de 0 a 1 tiene valores de 0,8 a 1). Estos sitios de alta prioridad han sido identificados considerando la distribución espacial de diferentes elementos: a) especies prioritarias para su conservación a través del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP); b) ecosistemas amenazados debido a su distribución restringida; c) provisión de servicios ecosistémicos; d) ecorregiones; e) unidades de paisaje (Figura 3.6) (Soutullo *et. al.*, 2014).

A su vez, en la cuenca se ubican en parte o casi en su totalidad, celdas identificadas como prioritarias por los elementos que contienen para su integración al SNAP. El Plan Estratégico del SNAP 2015-2020 identifica sitios prioritarios y los clasifica en cinco clases en función de los elementos que representan, y la viabilidad y factibilidad de incorporar ese sitio al Sistema. En el caso de seis de los sitios que se encuentran total o parcialmente en la cuenca del Río Cuareim, cinco de ellos corresponden a la clase 5 “Articulación con otras estrategias de conservación” (N4, N5, K4, K5, y L7). Esta clase se corresponde con sitios que constituyen interés para el SNAP, pero que no se consideran para su ingreso al Sistema en el período que abarca el Plan. La celda J8 corresponde a la línea de base porque incluye parte del Área Protegida Valle del Lunarejo ya ingresada al SNAP, y que limita con la porción sureste de la cuenca. Cabe destacar, asimismo, que además de la cercanía de esta cuenca con el Área Protegida Valle del Lunarejo, también se encuentra próxima el Área Protegida Rincón de Franquía (Figura 3.6).

Parte de la cuenca contiene el área de importancia para las aves “UY 001 - Pastizales de Bella Unión” reconocida por BirdLife International. El área se ubica en el departamento de Artigas, delimitada al norte por el Río Cuareim, al este por el Arroyo Yacutujá, al sur por el Arroyo Guaviyú y al oeste por el Río Uruguay (Figura 3.6). Este sitio es reconocido de alto valor para la conservación por contener al menos tres especies del género *Sporophila* con problemas de conservación: *Sporophila hypochroma*, *Sporophila palustris*, y *Sporophila ruficollis* (BirdLife International, 2021) (Figura 3.7).

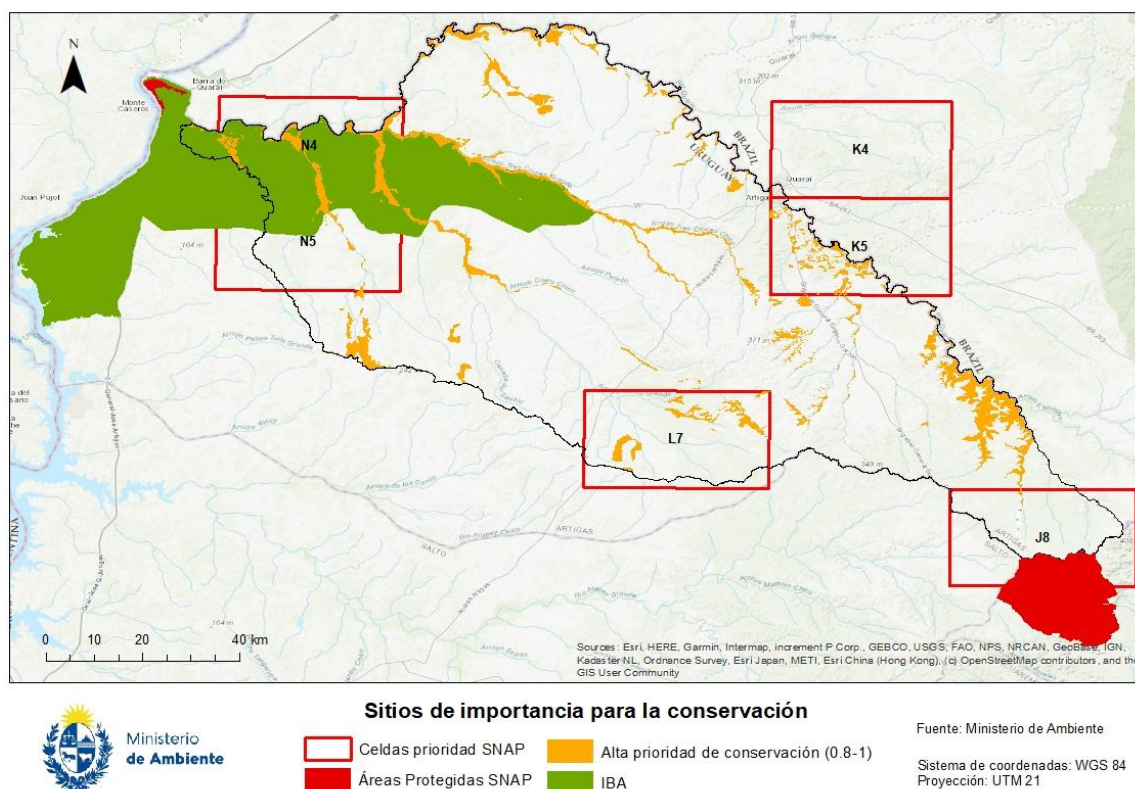


Figura 3.6 Sitios de importancia para la conservación en la cuenca del Río Cuareim.

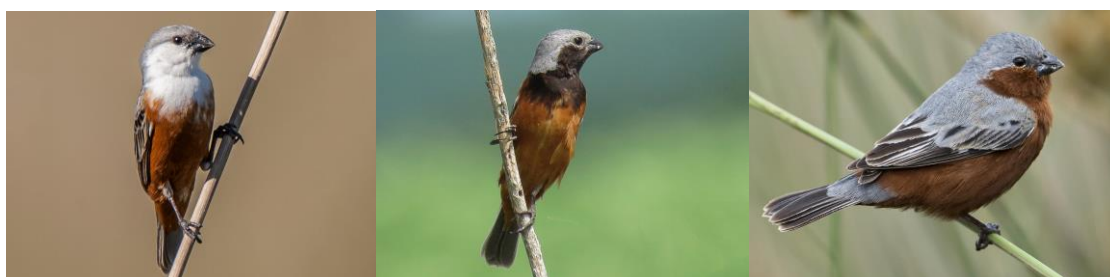


Figura 3.7 *Sporophila palustris* (foto Gustavo Pinto), *Sporophila ruficollis* (foto Adrian Antunez) y *Sporophila hypochroma* (foto Luiz Carlos Ramassotti). Fuente: Portal de eBird.

3.4. Servicios ecosistémicos

Otros aspectos a tomar en cuenta para el análisis de la cuenca es la provisión de los servicios ecosistémicos (SE). Un estudio realizado por Soutullo *et. al.* (2012), permitió conocer cómo se distribuyen en el territorio la provisión de siete SE de interés para la sociedad: producción de alimentos, disponibilidad de agua para consumo, mantenimiento de recursos genéticos, mantenimiento de clima habitable, mantenimiento de la calidad del agua, amortiguación de eventos extremos y disminución de enfermedades y plagas.

Dicho estudio elaboró un ranking de la contribución relativa de cada ecosistema a la provisión de cada servicio evidenciando la importancia de los distintos sectores de la cuenca a la provisión de los mencionados servicios. En el presente trabajo, para facilitar la representación gráfica de cada servicio, la contribución relativa de cada ecosistema se re-escaló a un valor acotado entre 0 y 1, dividiendo el valor observado para cada ecosistema por el valor del ecosistema con el valor más alto. Luego, los ecosistemas se agruparon en 6 categorías según su valor estandarizado y éstos se utilizaron para el mapeo

En el caso de la cuenca del Río Cuareim puede observarse que los pastizales densos (suelos profundos), los humedales, y los bosques, son los que realizan la mayor contribución para el mantenimiento de agua de calidad, provisión de agua para consumo, amortiguación de eventos extremos y contribución a un clima habitable, y disminución de enfermedades y plagas (Figura 3.8). Los mayores valores de contribución (entre

0,6 y 1) relativa para estos servicios se expresan en las zonas donde se distribuyen mayoritariamente este tipo de ecosistemas (norte y noroeste de la cuenca).

Por otra parte, en el caso de los servicios de provisión de alimentos y recursos genéticos, toda la cuenca presenta alto valores de contribución, esto se debe a que la mayor parte de la cuenca está cubierta por pastizales naturales que son el principal sostén de la producción ganadera, conteniendo a la vez un número muy importante de especies de gramíneas. Asimismo, los bosques también presentan los valores de contribución más alta para estos servicios (Figura 3.8).

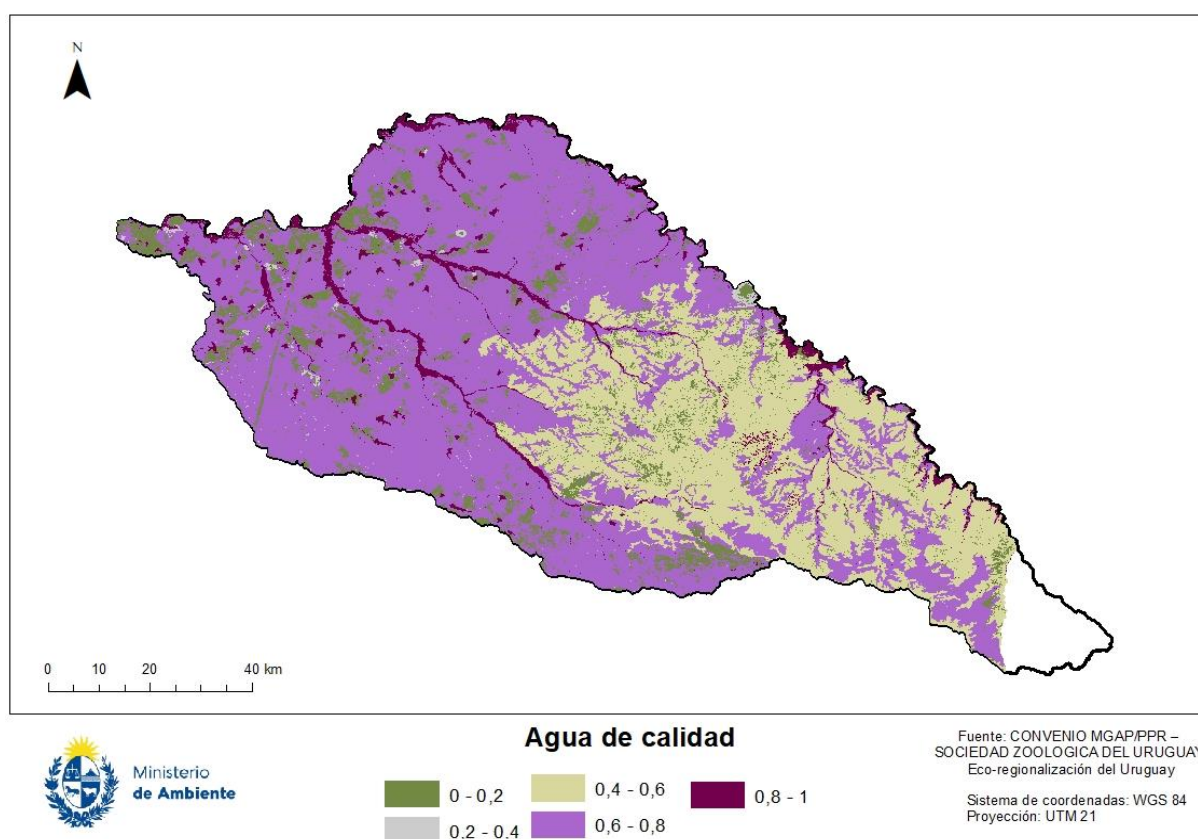


Figura 3.8 Contribución relativa a la prestación del servicio ecosistémico “agua de calidad” en la cuenca del Río Cuareim, en base al análisis de Soutullo *et. al.*(2012).

3.5. Coberturas de suelo

Dentro de los usos de suelo reportados para el 2019 en la cuenca completa del río Cuareim, los principales fueron la cobertura de pastizal (75 % de la cuenca) y área agropecuaria (16 %) (Figura 3.9). Dentro del “área agropecuaria”, el cultivo más importante es la producción de arroz con rotaciones ganaderas. El 50% de la superficie cultivada de arroz en Uruguay se produce bajo un sistema de rotación con pasturas (INIA, 2020). En este esquema de rotación, el arroz ocupa un período de entre el 25 % y 30% de lo que dura la rotación, mientras que el resto del tiempo está ocupado por pasturas naturales regeneradas, pasturas sembradas o cultivadas sobre el rastrojo de arroz.

Por otro lado, al comparar la intensidad de uso de suelo entre las hemicuencas de ambos países, se observa que la intensidad de uso de suelo para actividades agrícolas es mayor en la parte brasilera (25% de uso agrícola frente a un 9% en Uruguay) (Figura 3.10).

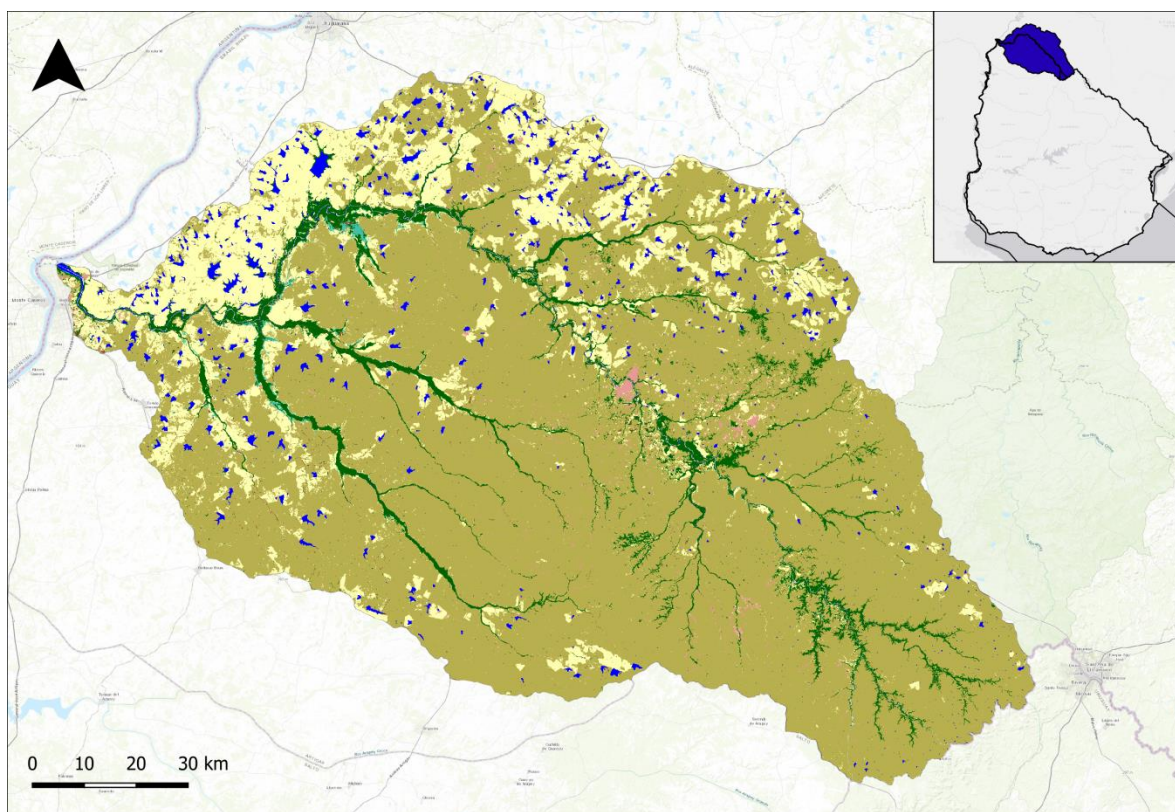


Figura 3.9 Coberturas de suelo para la cuenca total del río Cuareim en 2019. Elaboración propia a partir de Mapbiomas Pampas y Brasil. Detalle de las categorías en

ANEXO I.

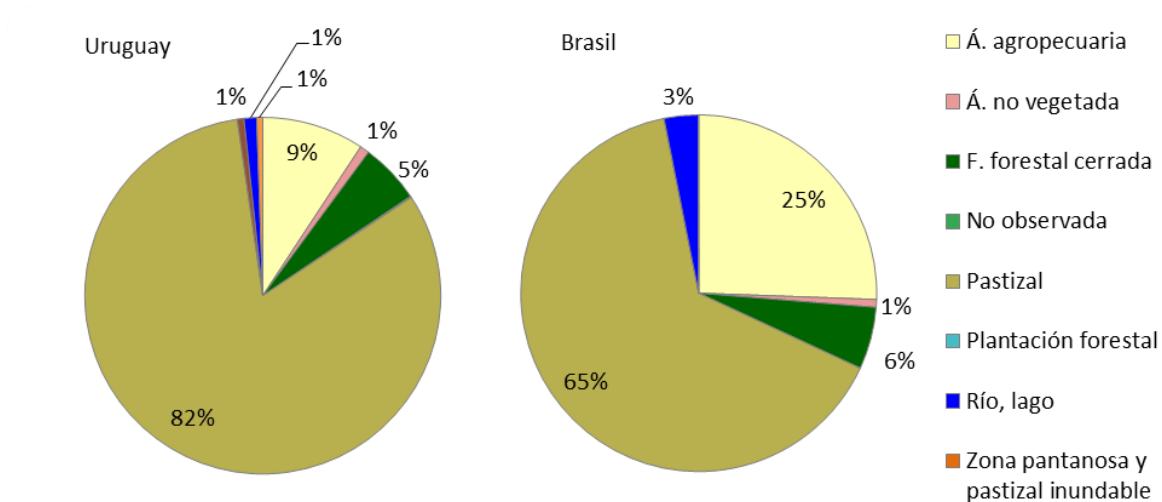


Figura 3.10 Porcentajes de cobertura de suelo para las hemicuencas uruguaya y brasiera del río Cuareim para el año 2019. Elaborado a partir de Mapbiomas Pampa.

La cuenca tiene además, una alta densidad de embalses para riego, principalmente en el territorio brasileiro y en la zona baja del territorio uruguayo (Figura 3.11). Según los datos de Hydrographic Basin Management System, Irrigation Module, elaborado por la Universidade Federal do Rio Grande do Sul, la cuenca cuenta con 114 embalses en la hemicuenca uruguaya y 309 en la brasileira. Como medida de la presión ejercida por el uso de embalses en distintas subcuencas la hemicuenca brasileira se encuentra bajo una mayor presión. El porcentaje de la superficie de la subcuenca que escurre hacia embalses, en relación al área total, es de 23% en la hemicuenca brasileira y 11% en la uruguaya. Por otro lado, dentro de Uruguay la cuenca más presionada en este sentido es la del arroyo Yucutujá, con una relación del 37%, mientras que la cuenca menos presionada es la del Tres Cruces con de 8% (elaboración propia a partir del modelo digital de terreno de SRTM, Farr *et. al.*, 2007).

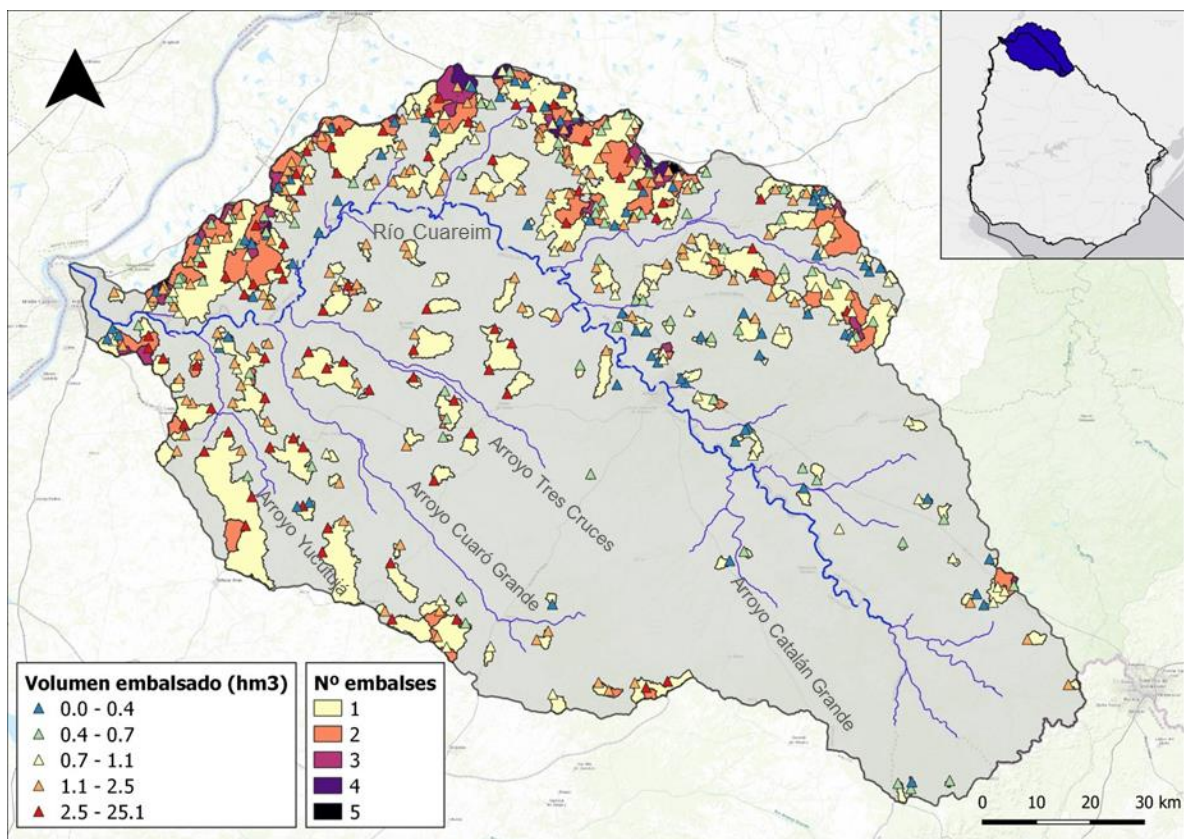


Figura 3.11 Densidad de embalses: ubicación, volumen de los embalses (triángulos de colores) y cuencas de aporte clasificadas según cantidad de embalses aguas abajo (Nº de embalse, áreas de colores). Elaboración propia a partir de Hydrographic Basin Management System, Irrigation Module, elaborado por la Universidade Federal do Rio Grande do Sul y mdt SRTM).

4. METODOLOGÍA

4.1. Programa de monitoreo

El programa se centró en el río Cuareim y dos de sus principales tributarios en el territorio uruguayo, los arroyos Yucutujá y Tres Cruces (Figura 4.1) según el plan de monitoreo de DSCA. Este programa consta de 8 estaciones de muestreo distribuidas en la zona alta, media y baja del río Cuareim y una estación en cada tributario en estudio. Para la localización de las estaciones se buscó captar la influencia de las principales ciudades: Artigas y Quaraí (RC35 y RC40), así como de las actividades productivas predominantes en la cuenca de cada curso.

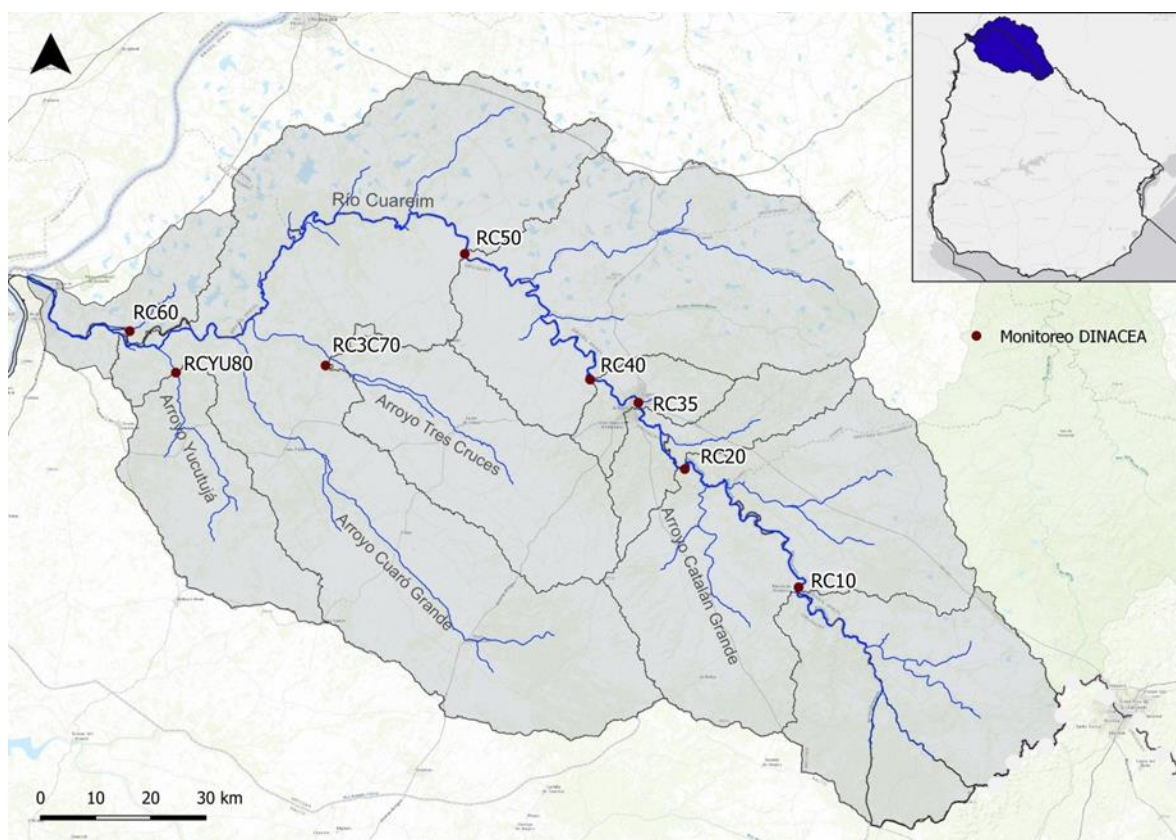


Figura 4.1. Localización de las estaciones de monitoreo en la cuenca del río Cuareim. Las líneas azules corresponden a cauces de agua, las punteadas a la división entre países, las grises a las subcuencas de las estaciones de monitoreo. Las estaciones de monitoreo RC10 a RC60 se ubican sobre el río Cuareim (fronterizo), RC3C70 sobre el arroyo Tres Cruces y RCYU80 sobre el arroyo Yucutujá. Descripción de las estaciones en ANEXO II. Elaboración propia a partir de OAN.

La metodología de trabajo utilizada se basó en el Programa internacional del Sistema Global de Monitoreo Ambiental (GEMS/Agua) y está documentada en el protocolo de monitoreo de la cuenca en estudio. Dichos protocolos se adaptaron a las capacidades nacionales disponibles de recursos humanos, equipos, materiales, técnicas, condiciones climáticas durante las campañas, etc (Anexo II).

4.2. Parámetros de calidad de agua

4.2.1. Generales

Durante el período 2014-2020 en la cuenca en estudio se realizaron medidas *in situ* y se analizaron diferentes analitos en la matriz agua superficial, entre los cuales se incluyeron metales pesados, sulfatos y fitosanitarios y sus derivados. Para el presente informe se seleccionaron 16 parámetros priorizando los más relevantes para la calidad de agua (Tabla 4.1) así como también el total de metales (4) y fitosanitarios analizados (24).

Tabla 4.1: Parámetros analizados en el programa de monitoreo de la cuenca del río Cuareim. Nombre de la variable, abreviatura, unidad y normativa vigente (valores del Decreto 253/79) o el valor guía considerado (todos los demás valores) con su referencias. Los parámetros sin valor de cumplimiento establecido se indican con “-”. MTA = Mesa Técnica del Agua.

Parámetro	Abreviatura	Unidad	Normativa/Guía	
			Valor de cumplimiento	Referencia
Físicos y químicos	Temperatura	Temp	°C	-
	Conductividad	Cond	μS/cm	-
	Potencial de hidrógeno	pH	-	> 6,5 y < 8,5 Decreto 253/79
	Oxígeno disuelto	OD	mg/L	≥ 5 Decreto 253/79
	Saturación de oxígeno	SatO2	%	-
	Turbidez	Turb	NTU	≤ 50 Decreto 253/79
	Sólidos totales	ST	mg/L	-
	Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	-
Nutrientes	Nitratos	NO ₃	mg-N/L	-
	Nitritos	NO ₂	mg-N/L	-
	Amoníaco libre ⁽¹⁾	NH ₃	mg-N/L	≤ 0,02 Decreto 253/79
	Nitrógeno total	NT	mg/L	< 1,0 MTA (2017)
	Ortofosfato	PO ₄	μg-P/L	-
	Fósforo total	PT	μg/L	≤ 25 Decreto 253/79
Biológicos ⁽²⁾	Clorofila <i>a</i>	Cloa	μg/L	< 30 MTA (2017)
	Coliformes termotolerantes	TMF	UFC/100mL	≤ 2000 Decreto 253/79

⁽¹⁾ Calculado a partir del nitrógeno amoniacal según CCME (2010).

⁽²⁾ Determinados en las estaciones cierre de cuenca más las de cabeceras en el caso de TMF.

Se tomaron en cuenta los estándares de calidad de agua establecidos por la normativa, Decreto 253/79 y valores guía para los parámetros no incluidos en éste. Los valores guía de nitrógeno total (NT) se fijaron según la Mesa Técnica del Agua (MTA; 2017), donde los cursos se clasifican en tres categorías según su orden, el destino de sus aguas, entre otras. En esta cuenca todos los cursos de agua se clasifican como “curso de agua de orden 3 o mayor”.

Las variables biológicas analizadas fueron la concentración de clorofila *a* (Cloa), componente natural de las aguas que permite evidenciar floraciones fitoplanctónicas, y la densidad de coliformes termotolerantes (TMF), que es un contaminante biológico proveniente de la ganadería y los efluentes domésticos (monitoreado en las estaciones del río Cuareim). El valor guía para la clorofila *a* seleccionado permite clasificar a los cuerpos de

agua en su estado trófico.

4.2.2. Metales pesados

Se determinaron las concentraciones de cuatro metales pesados en agua: plomo (Pb), zinc (Zn), cromo (Cr) y aluminio (Al) en todas las estaciones del río Cuareim y los afluentes en estudio. En el río Cuareim todos los metales fueron monitoreados en cada campaña realizada al igual que el Pb en el Aº Tres Cruces. En el Aº Tres Cruces los demás metales fueron determinados, al igual que en el Aº Yucutujá en un único muestro el 22/09/2015. De estos analitos, los incluidos en el Decreto 253/79 son Pb, Zn y Cr, cuyos valores de cumplimiento son <0,03 mg/L para los dos primeros y <0,05 mg/L para Cr.

4.2.3. Fitosanitarios

Con respecto a los fitosanitarios, éstos fueron monitoreados en las estaciones RC10, RC40, RCYU70 y RCTC80 entre enero de 2015 y septiembre de 2019. Se monitorearon 24 principios activos, muchos de ellos incluidos en la normativa (Decreto 253/79) o en los documentos que sugieren valores guía (GESTA Agua, 2016; Tabla 4.2). Los activos analizados que no están incluidos en dichos documentos fueron: AMPA (ácido aminometilfosfónico, producto de degradación de glifosato), los productos de degradación de DDT p'p'DDD y p'p'DDE, endosulfán sulfato (producto de degradación de los isómeros endosulfán α y β), atrazina, etión y metil paratión, y malatión. En particular AMPA no presenta valor guía por su baja toxicidad en los niveles de concentración encontrados en agua potable (OMS, 2017).

Tabla 4.2 Compuestos orgánicos contaminantes analizados con su valor de referencia establecido en la normativa (Decreto 253/79) o valor guía en GESTA Agua (2014).

Activo	Límite ($\mu\text{g/L}$)	Normativa / Valor guía
Aldrín y Dieldrín	La suma de ambos $\leq 0,004$	Decreto 253/79
Clordano cis y trans ⁽¹⁾	La suma de ambos $\leq 0,01$	
DDT	$\leq 0,001$	
Endosulfan α y β ⁽¹⁾	La suma de ambos $\leq 0,02$	
Endrin	$\leq 0,004$	
Heptacloro y Heptacloro epoxi ⁽¹⁾	La suma de ambos $\leq 0,01$	
Lindano	$\leq 0,01$	
Metoxicloro	$\leq 0,03$	
Mirex	$\leq 0,001$	
Alaclor	$\leq 0,7$	GESTA Agua 2014
Atrazina	$\leq 1,8$	
Clorpirifos	$\leq 0,035$	
Glifosato	≤ 65	
Metil-paratión	$\leq 0,04$	

¹ Isómeros conformacionales

4.3. Parámetros hidroclimáticos

Para evaluar la relación entre la calidad de agua y el caudal, se utilizaron los datos de caudal proporcionado por Comisión Técnica Mixta CTM de Salto Grande en los aforos existentes en la ciudad de Artigas y en Paso de la cruz (Anexo III). El caudal de las estaciones de monitoreo para las que no existe aforo fue estimado a partir del método de proporción de áreas, tomando como referencia los aforos del mismo curso de agua (Figura 4.2).

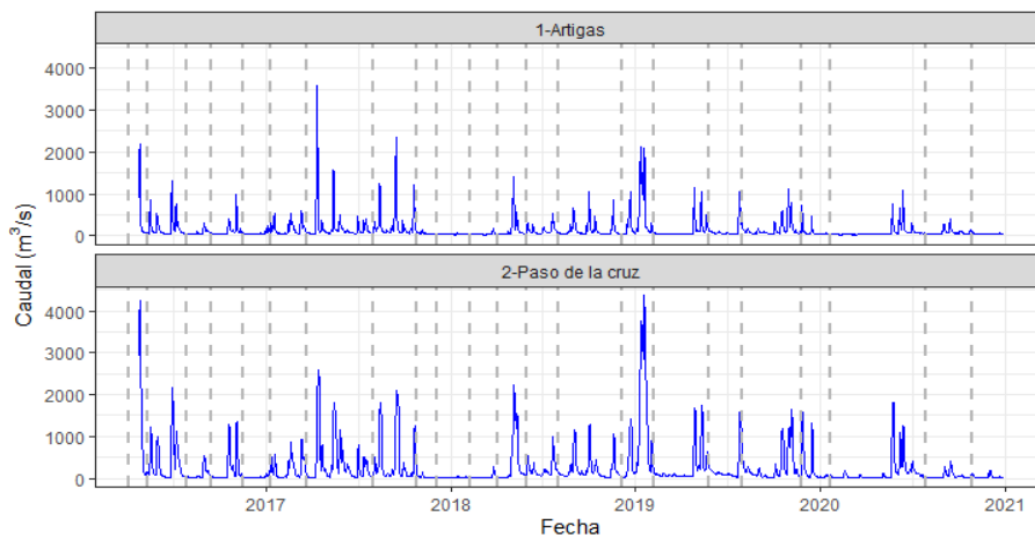


Figura 4.2 Caudales en la cuenca del río Cuareim para el período 2016-2020. Las líneas punteadas verticales indican los días de monitoreo. Especificaciones en Anexo II.

También se evaluó la influencia de las lluvias en la calidad de agua mediante regresiones y correlaciones de los nutrientes con el volumen de precipitaciones acumuladas (Figura 4.3). Los datos de precipitaciones fueron obtenidos de una consulta a la plataforma FEWS, que cuenta con datos de estaciones pluviométricas y meteorológicas de INUMET, Agencia Nacional de Aguas (ANA, Brasil), CTM e INIA comprendidas en el área de interés. Se calculó la precipitación areal para cada subcuenca, tomando como punto de cierre los puntos de monitoreo mediante el método polígonos de Thiessen para los 30, 10, 5 y 1 días previos al muestreo de calidad de agua.

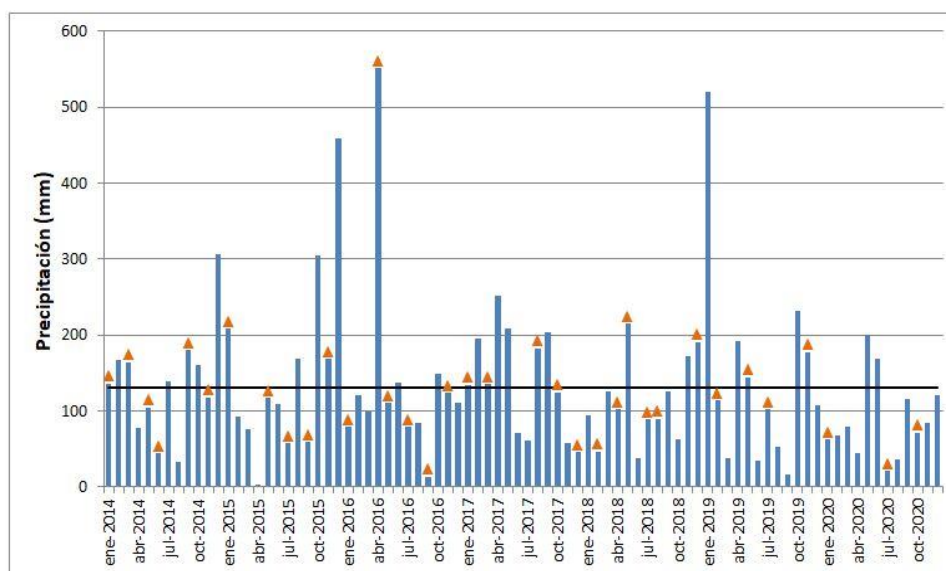


Figura 4.3 Precipitación acumulada mensual en el centroide de la cuenca del río Cuareim. Se indican el promedio del período 2014-2020 (línea negra) y los meses donde se realizaron monitoreos (triángulos).

4.4. Estimación de carga de nutrientes aportada por la cuenca

Se estimaron las concentraciones de NT y PT aportadas por las principales actividades de la cuenca para relacionarlos con la calidad de agua en las estaciones de monitoreo. Se tomaron en cuenta los aportes difusos provenientes de las distintas coberturas del suelo y los aportes puntuales provenientes de industrias, ciudades (domésticos) y actividades pecuarias (tambos y de establecimientos de ganado confinado, EGC).

4.4.1. Cargas difusas

Para la estimación de cargas de NT y PT difusas aportadas desde la cuenca se partió de los mapas de cobertura desarrollados por el proyecto MapBiomias Pampa Sudamericana (<https://pampa.mapbiomas.org/es> y para Brasil <https://mapbiomas.org/>). Este proyecto es una iniciativa multi-institucional para generar mapas anuales de cobertura y uso del suelo a partir de procesos de clasificación automática aplicada a imágenes satelitales (Souza *et. al.*, 2021). Dado que la generación de información sobre uso de suelo entre el lado brasilero y el lado uruguayo de la cuenca proviene de fuentes diferentes, se determinó que el proyecto MapBiomias y sus mapas asociados, son los indicados para la estimación de cargas difusas ya que se usó la misma metodología para todo el bioma Pampa. Para complementar esa información se utilizaron los mapas de uso de suelo nacionales entre el 2014 y el 2019 (MVOTMA-DINOT, 2015; MGAP, 2018) y brasilero (<https://www.ufrgs.br/labgeo/index.php/50-dados-espaciais/308-uso-2015>). Se asignó a cada categoría de cobertura, un uso de suelo y a partir de ellos la carga difusa exportada según un coeficiente de exportación empírico para NT y para PT (Perdomo, 2013). El coeficiente de exportación utilizado para el área agropecuaria fue el del “arroz”, dado que el uso agrícola predominante en la cuenca es la producción de arroz y en menor medida, la caña de azúcar que tienen el mismo coeficiente de exportación (MGAP, 2018). A la categoría pastizal se le asignó el coeficiente de “campo natural” si se encontraba en una zona de ganadería extensiva o el coeficiente de “pastura” si se encontraba en mosaico con un área de cobertura “agrícola”. Esa asignación de coeficientes se realizó en base a diferentes fuentes de información (INIA, 2019b; Tabla 4.3).

La carga exportada por cada uso se calculó como el área destinada a cada uno multiplicada por el coeficiente de exportación para cada subcuenca con cierre en las estaciones de monitoreo. La carga total exportada se calculó como la sumatoria de las cargas de cada uso.

Tabla 4.3. Coeficientes de exportación para PT y NT para las categorías de usos de suelo asignadas a las categorías de cobertura. Fuente: Perdomo (2013).

Categoría cobertura	Categoría usos	PT (Kg/ha/año)	NT (Kg/ha/año)
Formación forestal cerrada	Bosque natural	0,01	0,44
Formación forestal abierta	Bosque natural	0,01	0,44
Plantación forestal	Bosque artificial	0,29	1,85
Zona pantanosa y pastizal inundable	Pasturas/Campo natural	0,24	1,33
Pastizal	Pasturas o Campo natural	1,16 / 0,24*	6,92 / 1,33*
Área agropecuaria	Arroz	0,75	1,11
Área no vegetada	Áreas desnudas	0,24	1,30
No observado	Agua	0,00	0,00
Río, lago	Agua	0,00	0,00

* para pasturas y campo natural respectivamente

4.4.2. Cargas puntuales

Las fuentes de nutrientes de aporte puntual identificadas en la cuenca fueron los emprendimientos industriales, los vertidos de tratamiento de efluentes domésticos de centros poblados y los establecimientos pecuarios. Los establecimientos pecuarios incorporados fueron: cría intensiva de ganado vacuno confinado con destino a producción de carne (establecimientos de ganado confinado, EGC) y establecimientos lecheros (tambos). No se contó con datos de cargas puntuales provenientes de tambos, EGC, industrias y efluentes domésticos en la cuenca brasileña.

Las cargas aportadas por los emprendimientos industriales fueron extraídas de los informes ambientales de operación (IAO) presentados a DINACEA por las industrias ubicadas en la cuenca, que tuvieran vertido a curso de agua y que reportaran concentración de NT y PT (2 industrias consideradas). Mientras que las de origen doméstico se obtuvieron de los IAO de la planta de tratamiento de Artigas presentados por OSE ante el mismo organismo.

La estimación de aportes de los establecimientos lecheros se realizó a partir de la información reportada por DICOSE de 2016 a 2020 (MGAP, 2020). La carga de nutrientes se estimó a partir de la cantidad de animales por establecimiento y por área de enumeración, el tiempo de permanencia de los mismos en la sala de ordeño y datos teóricos de generación diaria de caudal y concentraciones de NT y PT (MVOTMA-DINAMA, 2008). Se asumió que los establecimientos con menos de 100 animales no realizan ningún tratamiento a sus efluentes, mientras que el resto realiza un tratamiento que remueve un 50% de NT y 0% de PT (MVOTMA-DINAMA, 2019).

La carga de los EGC fue estimada para cada subcuenca a partir del área de cada EGC, la concentración de nutrientes reportada para este tipo de establecimientos en el país y una estimación del caudal.

La concentración de nutrientes por animal utilizada fue el promedio de 6 establecimientos del país (MVOTMA-DINAMA, 2017 a). Cabe destacar que el nitrógeno, reportado como nitrógeno total Kjeldahl, fue considerado equivalente a NT a pesar de que podría haber una subestimación de la carga (no incluye nitratos ni nitritos). El caudal (Q , m³/mes) se estimó a partir del producto del escurrimiento por unidad de superficie (esc), la cantidad de animales por corral (n) y el área promedio de corral por animal (A , m²):

$$Q = (esc/1000) \times n \times A$$

El n se obtuvo de DICOSE y el A se estimó a partir de la superficie por animal promedio (datos no publicados de DINACEA). El esc se estimó para cada año en la cuenca entera, a partir de los datos de caudal reportado por CTM.

4.5. Índice estado trófico de las aguas

Para evaluar el estado trófico de cada estación de monitoreo se calculó el Índice de Estado Trófico (IET) para sistemas lóticos según Lamparelli (2004), para cada estación en cada año en base al fósforo total expresado en µg (PT) con la siguiente ecuación:

$$IET = 10^{\left\{6 - \left[\ln \left(\frac{80.32}{PT} \right) / \ln(2) \right] \right\}}$$

Se calculó el IET para cada dato de fósforo total y luego se realizó la media geométrica anual, a partir de la cual se clasificó a la estación de monitoreo en una de las 6 categorías establecidas (Tabla 4.4). Se utilizaron todos los datos disponibles, sin extraer datos fuera de rango (sección 4.7). Los tramos aguas arriba de cada estación de monitoreo se consideraron del mismo estado trófico que ésta.

Tabla 4.4 Niveles tróficos definidos por el Índice de Estado Trófico (IET; Lamparelli, 2004) y la escala cromática correspondiente.

Nivel trófico	IET	Escala cromática
Ultraoligotrófico	≤ 47	
Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$	
Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$	
Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$	
Supereutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$	
Hipereutrófico	> 67	

4.6. Índice de calidad de agua (IQA)

Este indicador se elaboró en base al Índice desarrollado por la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental de Brasil (CETESB, 2006) para la evaluación de la calidad del agua de ríos con destino del recurso para abastecimiento (IQA). El IQA es un número adimensional que utiliza 9 parámetros: Oxígeno disuelto (OD), coliformes termotolerantes (TMF), pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Nitrógeno total (NT), Fósforo total (PT), desvío de la temperatura, turbidez y sólidos totales. Para este índice existen curvas de distribución de valores de cada parámetro. Estas curvas fueron tomadas del WQA-NSF (desarrollado por CETESB en 1975), ligeramente modificadas, que fueron establecidas por un panel de expertos, donde a su criterio establecieron en una escala de 0 a 100 (valor *Q*) los valores de cada parámetro (Brown *et. al.*, 1970). Estas curvas se las conoce como “curvas de función”. Así, el valor de un parámetro cualquiera al ser contrastado en la curva, presenta un valor *Q*. Por otra parte, se asignan factores de ponderación para *c/u* de los parámetros, los cuales son multiplicados por el valor *Q* interpolado para los valores medidos de cada parámetro (modificado por Krenkel & Novotny, 1980). Luego se realiza la suma aritmética de cada parámetro ponderado. El resultado arroja un número de entre 0 a 100, en orden creciente de calidad. La calidad del agua que arroja el índice se agrupa en 5 grupos, representados por los 5 quintiles en la escala (Tabla 4.5).

Tabla 4.5. Valoración de la calidad del agua según el IQA para cada rango de valores de *Q*. Fuente: CETESB (2006).

Estado de calidad de agua	Rango IQA	Escala cromática
Excelente	91 a 100	
Buena	71 a 90	
Media	51 a 70	
Mala	26 a 50	
Muy mala	0 a 25	

En el caso de la cuenca del río Cuareim, se cuenta con datos de sólidos totales a partir de agosto de 2017 y con datos de DBO₅ a partir de mayo de 2019. Además en las estaciones RC3C70 y RCYU80 no se determina densidad de TMF, por lo que no se pudo calcular el IQA en estos casos. La estación RC60 se dejó de monitorear a partir del año 2018 por lo que tampoco se cuenta con el IQA posteriormente a este año.

4.7. Análisis de datos

Algunos de los parámetros presentaron valores por debajo del rango de cuantificación de la técnica analítica utilizada, para facilitar el tratamiento de datos, éstos fueron transformados según: $<LD$ sustituido por el valor de LD y $<LC$ sustituido por LC , donde LD es el límite de detección y LC es el límite de cuantificación de la técnica analítica. Los valores indicados como $LD < x < LC$ fueron tratados de la misma forma que los $<LC$. Cuando el porcentaje de resultados no cuantificables en un set de datos dado fue mayor al 75% de los datos, los cálculos de promedios y medianas fueron considerados poco representativos de la muestra y es discutido en las secciones de resultados y discusión (Croghan y Egeghy 2003). Los límites de cada técnica analítica están descritos en el Compendio de Metodologías Analíticas de Referencia y Preservación de Parámetros Ambientales, MVTOMA-DINAMA (2018). Los parámetros con resultados no cuantificables fueron: clorofila a , NH_4 (fueron transformados para el cálculo de NH_3), NO_3 , NO_2 , SST y fitosanitarios (se explicita cada caso en la sección de resultados). Para las tendencias de ortofosfato no se consideraron los valores $<LC$.

Para describir el sistema en estudio se determinaron los rangos, el promedio y el desvío estándar de cada set de datos. Los resultados se representaron como diagramas de cajas, donde cada caja representa los percentiles 25 y 75 %, la línea horizontal la mediana, las líneas verticales representan el $RIQ \cdot 1,5$ (RIQ : rango intercuartílico), los puntos por fuera señalan datos que posiblemente estén fuera de rango.

Para evaluar diferencias entre grupos de datos se realizaron ANOVAs de una vía cuando se cumplieron los supuestos de homocedasticidad (test de Levene) y distribución normal de los residuales (test de Shapiro-Wilk). De lo contrario se realizó test no paramétrico de Kruskal Wallis y pos-hoc de Dunn. Mientras que para evaluar la relación entre dos variables continuas se realizaron regresiones lineales y correlaciones mediante el método de Rangos de Spearman dado que la gran mayoría de las variables no tuvo distribución normal; en la sección resultados se presentan el valor de la correlación (r_s) y su significancia, establecida en $\alpha = 0,05$ (significativo) y $\alpha < 0,01$ (altamente significativo).

Las tendencias de cada parámetro en el tiempo se realizaron mediante modelo de regresión lineal entre el parámetro y las fechas, en cada caso se testearon la autocorrelación (ACF), homocedasticidad (test de Levene) y la normalidad de los residuales (test de Shapiro-Wilk).

Con los resultados de fitosanitarios, dada la elevada proporción de datos menores al LD o al LC del método, se calculó la frecuencia de ocurrencia de cada compuesto como el porcentaje de datos que superaron el valor de LD .

Los análisis antes mencionados y los respectivos gráficos fueron realizados en el software R con los paquetes: lubridate, PMCMR, tidyverse, patchwork y ggiraphExtra.

Para evaluar qué parámetros ambientales explican la mayor parte de la variabilidad de los datos y poder inferir cuáles son las que mayor influencia tienen sobre la calidad de agua, se realizaron análisis de componentes principales (ACP). Para dichos análisis se utilizaron las variables físicas y químicas determinadas en agua, la lluvia y las cargas estimadas en las cuencas de cada estación de monitoreo.

Dado que este tipo de análisis es sensible a los outliers, éstos no fueron incluidos (Zuur *et. al.* 2007). Todos los outliers estuvieron por fuera del rango de 95%, pero no todos los datos por fuera de dicho rango fueron considerados outliers. La decisión se tomó en base a la evaluación en el conjunto global de datos y en cada ambiente por separado mediante el diagrama de Cleveland según Zuur *et. al.* (2010) (Tabla 4.6).

Dado que no hay datos de Tambos ni EGC para 2014 y 2015, se usaron los datos de 2016 para el año 2015 y no se incluyó el año 2014. De forma similar, por ausencia de datos de cobertura de suelo para el año 2020, se consideró que las cargas en este año eran iguales a las del año 2019.

Se utilizó la mediana anual de cada variable dado que su distribución no fue normal y luego se estandarizaron para evitar diferencias de escala según Husson *et. al.* (2013), utilizando el software R con los paquetes FactoMineR y factoextra.

Se partió de una selección de parámetros relacionados con la calidad del agua (pH, Cond, Turb, PT, PO₄, NT, NID -suma de NO₃, NH₄ y NO₂-, SST y SOD) y luego fueron seleccionados aquellos cuyo aporte superara la media y aportara de manera significativa a alguno de los dos ejes principales. Además, se quitaron las variables redundantes (alta correlación entre ellas que redundaba en igual o similar peso y significancia respecto al eje principal).

No se incluyó en el ACP la concentración de PO₄ por presentar un alto porcentaje de valores no cuantificables (53%). A su vez, la carga de NT y PT también, por su forma de cálculo estuvieron fuertemente correlacionados ($R^2=1$), por lo cual en el ACP se usó sólo la carga de PT de este tipo de aporte.

Tabla 4.6. Detalle de los datos considerados outliers, excluidos de los gráficos y análisis.

Parámetro	Valor	Estación	Fecha	Nro muestra	Observación
NO ₃ (mg/L)	3,4	RC35	2/6/2019	28882	NO ₃ >NT (0,5) y máximo global
NO ₂ (mg/L)	0,092	RCYU80	5/12/2017	26933	Coincide con outlier NH ₄
NH ₄ (mg/L)	0,74	RCYU80	5/12/2017	26933	Coincide con outlier NO ₂
NT (mg/L)	5,89	RC20	1/8/2018	27900	Outlier global
SST (mg/L)	240	RC50	06/04/2016	24349	Outlier global*

* Lluvias abundantes en las 24 h previas al muestreo (39,1 mm).

5. RESULTADOS

5.1. Evaluación espacial y temporal de la cuenca

5.1.1. Variables físicas y químicas, y nutrientes

Dentro de las variables físicas y químicas, la **conductividad** en toda la cuenca del río Cuareim (incluyendo los afluentes) presentó valores en el rango de 36 - 334 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y una mediana de 96 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los valores más elevados de la cuenca se registraron en el A° Yucutujá. Este último junto con el A° Tres Cruces fueron significativamente mayores en cuanto a conductividad, respecto al río Cuareim ($KW = 60,3$; $gl = 2$; $p < 0,05$) (Figura 5.1).

El **pH** estuvo, en general, en el rango del estándar establecido por la normativa (límite superior = 8,5, límite inferior = 6,5) a excepción de algunos valores que ocurrieron en todos los cauces (Figura 5.1). El menor valor de pH fue registrado en RC40 en mayo de 2018 (4,0). Mientras que el **oxígeno disuelto**, estuvo siempre por encima del mínimo permitido por el Decreto 253/79 (5,2 a 11,0 mg/L) y no se registraron diferencias entre los diferentes cuerpos de agua.

La concentración de **sólidos totales** comenzó a monitorearse en 2017 y nuevamente se diferenciaron los cuerpos de agua entre sí, siendo significativamente mayores los A° Tres Cruces y Yucutujá ($KW = 15,5$; $gl = 2$; $p < 0,05$). En estación del río Cuareim RC60, dado que se discontinuó su monitoreo en 2017, se analizó la concentración de ST en una sola instancia (2017-08-01) y su valor fue el más elevado de la cuenca.

Mientras que la concentración de **sólidos suspendidos totales** (SST) estuvo correlacionada con la lluvia acumulada durante las 72h previas al monitoreo en toda la cuenca ($S = 574805141$; $p < 0,05$; $R = 0,52$). No hubo diferencia entre estaciones.

El **PO₄** fue máximo en la estación del río Yucutujá en enero del 2020, de 89 $\mu\text{g-P}/\text{L}$, seguido de un valor de 87 $\mu\text{g-P}/\text{L}$ en RC35 en noviembre de 2019. A su vez, dicho parámetro presentó un alto porcentaje de valores por debajo del límite de cuantificación o detección del método durante el periodo de monitoreo ($LC = 18 \mu\text{g}/\text{L}$, $LD = 3,8 \mu\text{g}/\text{L}$).

La concentración de **PT** presentó gran variabilidad, con un rango de entre 3,6¹ y 250,0 $\mu\text{g}/\text{L}$. Las concentraciones de PT en el Yucutujá fueron significativamente mayores a las observadas en RC10, siendo ésta última la que presentó menor mediana (58,0 $\mu\text{g}/\text{L}$).

La concentración de **NT** estuvo comprendida entre 0,08 y 2,33 mg/L . El máximo fue registrado en RC20 en enero de 2016, mientras que la mayor mediana fue observada en el A° Yucutujá (0,72 mg/L).

Dentro de las formas disueltas de nitrógeno, el NH_4 , a partir del cual se calculó el NH_3 , presentó valores menores al límite de cuantificación del método en todas las estaciones en 2014 y 2016, y en algunas estaciones en 2015 y 2017.

¹ Corresponde al límite de detección del método

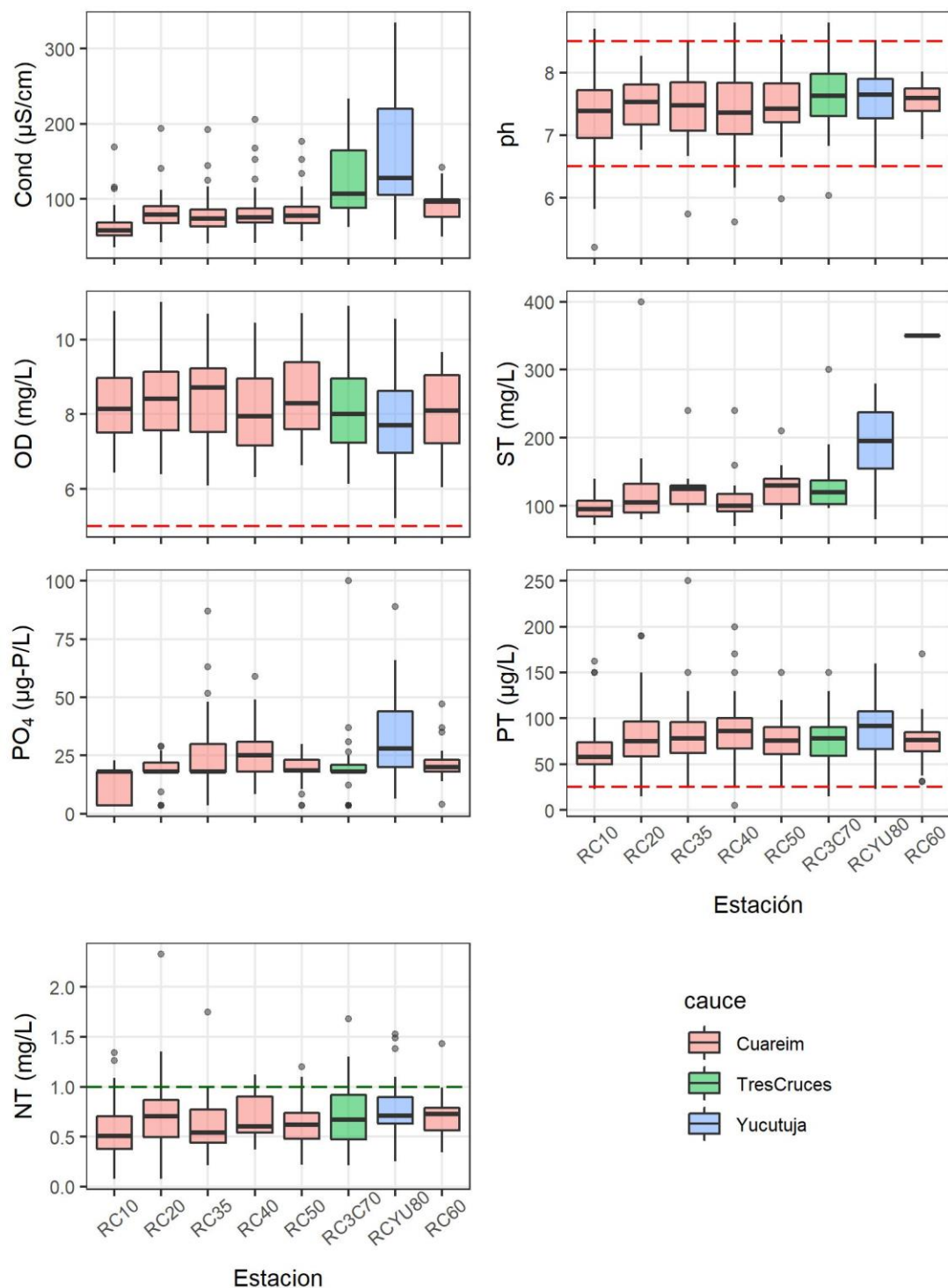


Figura 5.1 Variación espacial de parámetros físicos y químicos entre 2014 y 2020² en la cuenca del río Cuareim. A) Conductividad, B) pH, C) Oxígeno disuelto, D) Sólidos totales, F) Ortofosfato, G) Nitrógeno total, H) Fósforo total. Las cajas indican los percentiles 25 y 75 %, la línea horizontal la mediana, las líneas verticales representan el RIQ*1,5 (RIQ: rango intercuartílico), los puntos por fuera señalan posibles datos fuera de rango. Las líneas rojas entrecortadas indican los estándares del Decreto 253/79, y la verdes el valor guía sugerido por MTA. Los colores corresponden a las subcuencas.

² A excepción de la estación RC60, que se discontinuó en 2017

5.1.2. Variables biológicas

La **clorofila a** estuvo siempre en valores menores al máximo propuesto por la mesa técnica del agua para cuerpos de agua de orden 3 ($30 \mu\text{g/L}$), el máximo fue de $21 \mu\text{g/L}$ y ocurrió en RC35 en noviembre del 2016 (Figura 5.2).

La concentración de **TMF** presentó algunos valores superiores al máximo permitido por el Decreto 253/79 para muestras puntuales ($\leq 2000/\text{UFC}$) en la mayoría de las estaciones. Los valores más elevados ocurrieron en la estación RC40, aguas abajo de las ciudades de Artigas y Quaraí en el año 2014. La estación RC35 fue la segunda en frecuencia de ocurrencia de valores mayores a la normativa.

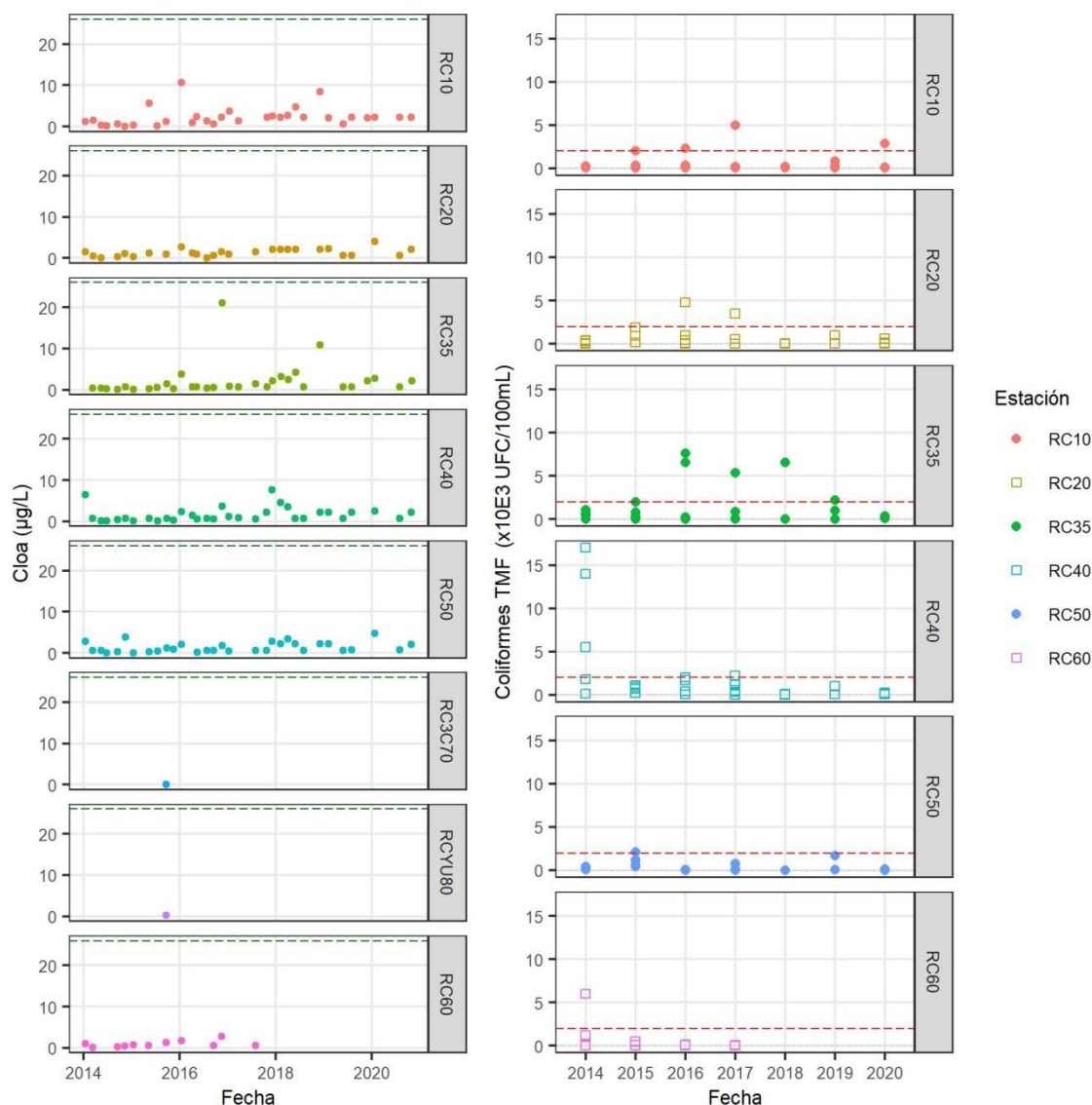


Figura 5.2 Variables biológicas en las estaciones de monitoreadas de la cuenca del río Cuareim en el período 2014-2020. Clorofila *a* (Clos, izquierda) y coliformes termotolerantes (TMF derecha). Ambos parámetros se transformaron cuando no fueron cuantificables según se describe en metodología. La línea roja entrecortada indica el estándar del Decreto 253/79, y la verde el valor guía sugerido por MTA (2017).

5.1.3. Fitosanitarios

De los 24 fitosanitarios y derivados analizados, sólo 13 fueron detectados: DDT y sus derivados (DDD y DDE), aldrín, dieldrín, endosulfan α , β y sulfato, lindano, metoxicloro, heptacloro, glifosato y AMPA (Figura 5.3). De los compuestos detectados, Los más frecuentes fueron Glifosato y AMPA. El primero fue detectado en todas las estaciones con una frecuencia de ocurrencia entre 42 y 50%, mientras que el AMPA lo fue en todas las estaciones a excepción de RC40. El DDT también fue detectado en todas las estaciones pero con menor frecuencia, entre 7 y 19%. A su vez, tanto glifosato como AMPA fueron detectados en los años 2014 a 2017 pero no entre 2018 a 2020.

Dentro de las estaciones monitoreadas para fitosanitarios, RC10, RCYU80, RC3C70 y RC60 tuvieron presencia de todos los compuestos en alguno de los monitoreos. Por el contrario en RC40 se detectaron sólo 4 compuestos, DDT y sus derivados (DDE y DDD) y glifosato.

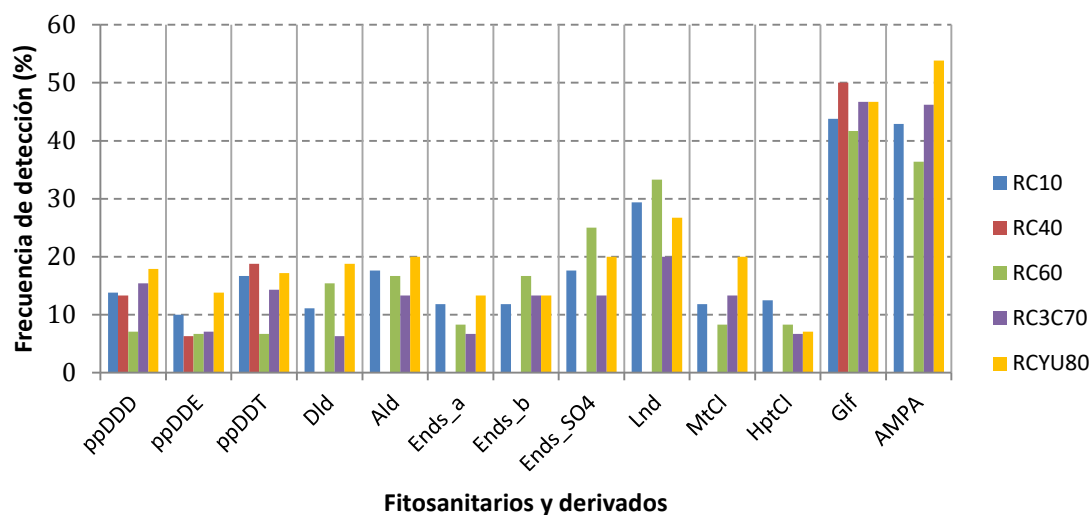


Figura 5.3 Frecuencia de detección de cada fitosanitario, en todo el periodo de estudio, para cada estación monitoreada. En el orden del gráfico: DDT, DDD, DDE, dieldrín, aldrín, endosulfan α , β y sulfato, lindano, metoxicloro, heptacloro, glifosato y AMPA.

5.1.4. Metales pesados

Dentro de los metales pesados analizados, el aluminio registró la mayor frecuencia (Figura 5.4). Los demás fueron menores al límite de cuantificación del método en la mayoría de los monitoreos. Por ejemplo, el plomo no presentó ningún valor cuantificable (siempre menor a 0,04 mg/L), aunque sí se detectó en algunos puntos (Tabla 5.1). Mientras que el cromo, además de ser detectado en varias estaciones en distintas campañas, fue cuantificado en la de 05-2018 en concentraciones bajas (0,007 mg/L) en la estación de RC50.

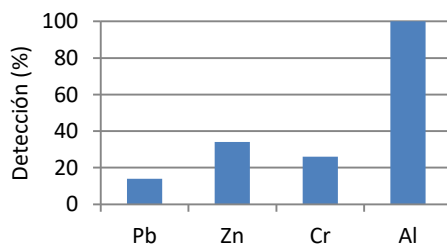


Figura 5.4 Frecuencia ocurrencia de metales pesados: detectados pero no cuantificados (entre LD y LC) y cuantificados (>LC).

Tabla 5.1. Eventos en los que fue detectado al menos uno de estos metales, aunque estuviera por debajo del límite de cuantificación: cromo (Cr), plomo (Pb) y zinc (Zn). Las fechas corresponden a las campañas de monitoreo. Los eventos donde no se detectó ningún compuesto se indican con “-”

Metales detectados	2014-01	2014-03	2014-05	2014-09	2015-01	2015-07	2015-09	2016-04	2016-05	2016-07	2016-09	2016-11	2017-01	80-2102	2018-05	2020-01	2020-07	2020-10
RC10	Pb	Cr	Cr	-	Cr	-	-	Pb	Pb Cr		Pb	Zn	-	-	-	Pb	-	-
RC20	Pb Zn	Cr	Cr	-	Cr	-	-	Pb Cr	Pb Cr	Pb	-	-	Cr	-	-	Pb Zn Cr	-	Zn
RC35	-	Cr	Zn Cr	-	Cr	-	-	Zn	Pb Cr	-	-	-	Cr	-	-	Pb	Cr	-
RC40	Zn	Cr	Cr	-	Cr	Cr	-	Zn	Pb Cr	-	-	-	Cr	Zn Cr	Pb	Pb Zn	-	-
RC50	Pb Zn	Cr	Zn Cr	-	Cr Zn	-	-	Pb Zn	-	-	-	-	-	-	Cr	Zn Cr	-	-
RC60	Pb	Cr	Cr	Cr	Cr	-	Zn	-	-	-	-	Cr	-	-	-	Pb	-	-
RC3C70	-	-	Zn	-	Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

La concentración de Al en agua fue variable, entre 0,08 y 9,80 mg/L (media global de 1,08 mg/L). Los valores más elevados se observaron el RC20 y RC60 en los años 2017 y 2016 respectivamente (Figura 5.5). Todas las estaciones del río Cuareim tuvieron similar frecuencia de ocurrencia. A la vez que en los afluentes (Yucutujá y Tres Cruces), en el momento en que fue analizado (2015), fue detectado y cuantificado (3,00 y 0,84 mg/L en RC3C70 y RCYU80 respectivamente).

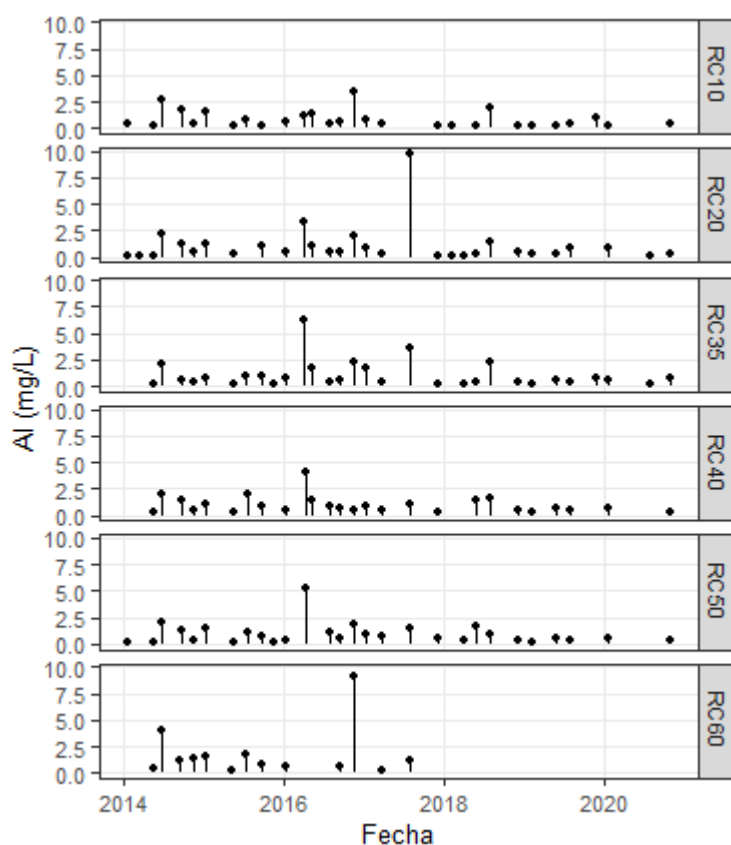


Figura 5.5. Concentración de aluminio (Al) en el agua superficial en el periodo de estudio, por estación de monitoreo.

5.1.5. Carga de nutrientes aportadas desde la cuenca

La carga total exportada por toda la cuenca hacia el Río Cuareim fue estimada en 3240 t/año de NT y 666 t/año de PT en 2014, y en 3107 t/año de NT y 669 t/año de PT en 2019 (difusas desde todo el territorio, más puntuales sólo desde territorio uruguayo). A su vez, la carga total exportada varió entre subcuencas (con cierre en las estaciones de monitoreo), siendo la de menor carga exportada por unidad de superficie la de la estación RC10 (con 0,23 t/ha/año de PT y 1,25 t/ha/año de NT) y la de mayor exportación la correspondiente al cierre de la cuenca (RC50) con 0,46 t/ha/año de PT y 2,19 t/ha/año de NT. La variación de estas cargas a lo largo del tiempo fue pequeña, del mismo orden de magnitud que el error de la metodología.

La carga total de nutrientes de aportes **puntuales** en la hemicuenca uruguaya, fue de 45 t/año de NT y 9 t/año de PT (mediana del periodo 2014-2020). Del total de carga exportada, el aporte mayoritario fue el de origen **difuso**, que estuvo dentro del rango de 94-97 % (1304 t/año) para el NT y de 94-98 % (253 t/año) para el PT. Mientras que la carga difusa exportada desde la hemicuenca brasilera fue estimada en 1852 t/año de NT y 397 t/año de PT (estimado para 2014).

La carga puntual debida a aportes domésticos fue especialmente importante en aquellas subcuencas afectadas por la ciudad de Artigas (Río Cuareim, estaciones RC35 en adelante). En total la carga aportada de este origen fue 34 t/año de NT y 6 t/año de PT. Las cargas máximas de PT fueron de 16 t/año en el año 2014, luego estos aportes bajaron a una mediana de 6,1 t/año.

La carga aportada por los emprendimientos industriales fue la de menor influencia, ya que solamente se contó con dos IAO. La mediana registrada para el período de estudio es de 5,5 t/año de NT y 0,1 t/año de PT. Las estaciones que recibieron este tipo de aporte fueron RC40, RC50 y RC60. A su vez, su dicha actividad presentó cargas más elevadas entre 2014 y 2017 que en el resto de los años.

Las cargas aportadas por los EGC y tambos tampoco fueron muy significativas y se mantuvieron prácticamente incambiadas en el período de estudio.

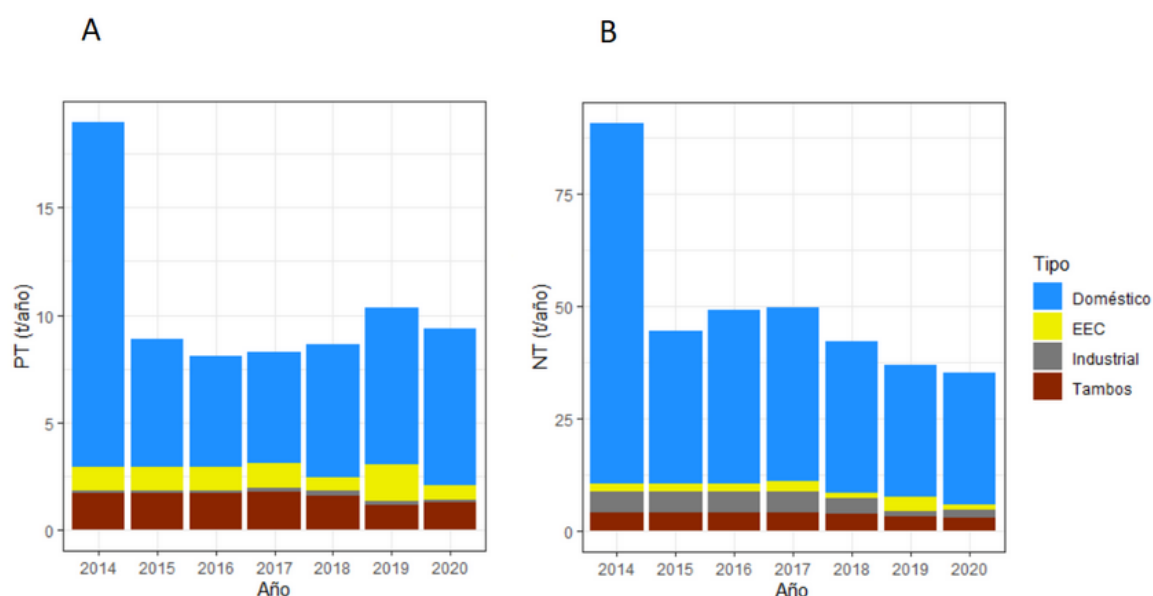


Figura 5.6. Carga anual de fósforo total (A) y nitrógeno total (B) aportada desde fuentes puntuales al cierre de la hemicuenca uruguaya del río Cuareim en el período 2014-2020. Los aportes de los EGC y de tambos en 2014 y 2015 fueron estimados a partir de datos de DICOSE (2016).

5.2. Evaluación temporal por cauce

5.2.1. Río Cuareim

Dentro de las variables fisicoquímicas, en el cauce del río Cuareim, la **conductividad** estuvo en el rango de 35,8 - 206,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, los valores más bajos se observaron en RC10 (mediana = 58,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y los más elevados en RC60 (mediana = 97,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$). A su vez, los mayores valores de conductividad se dieron a bajos valores de turbidez (especialmente en 2018). Esto ocurrió para todas las estaciones de monitoreo a excepción de RN60 (Figura 5.7).

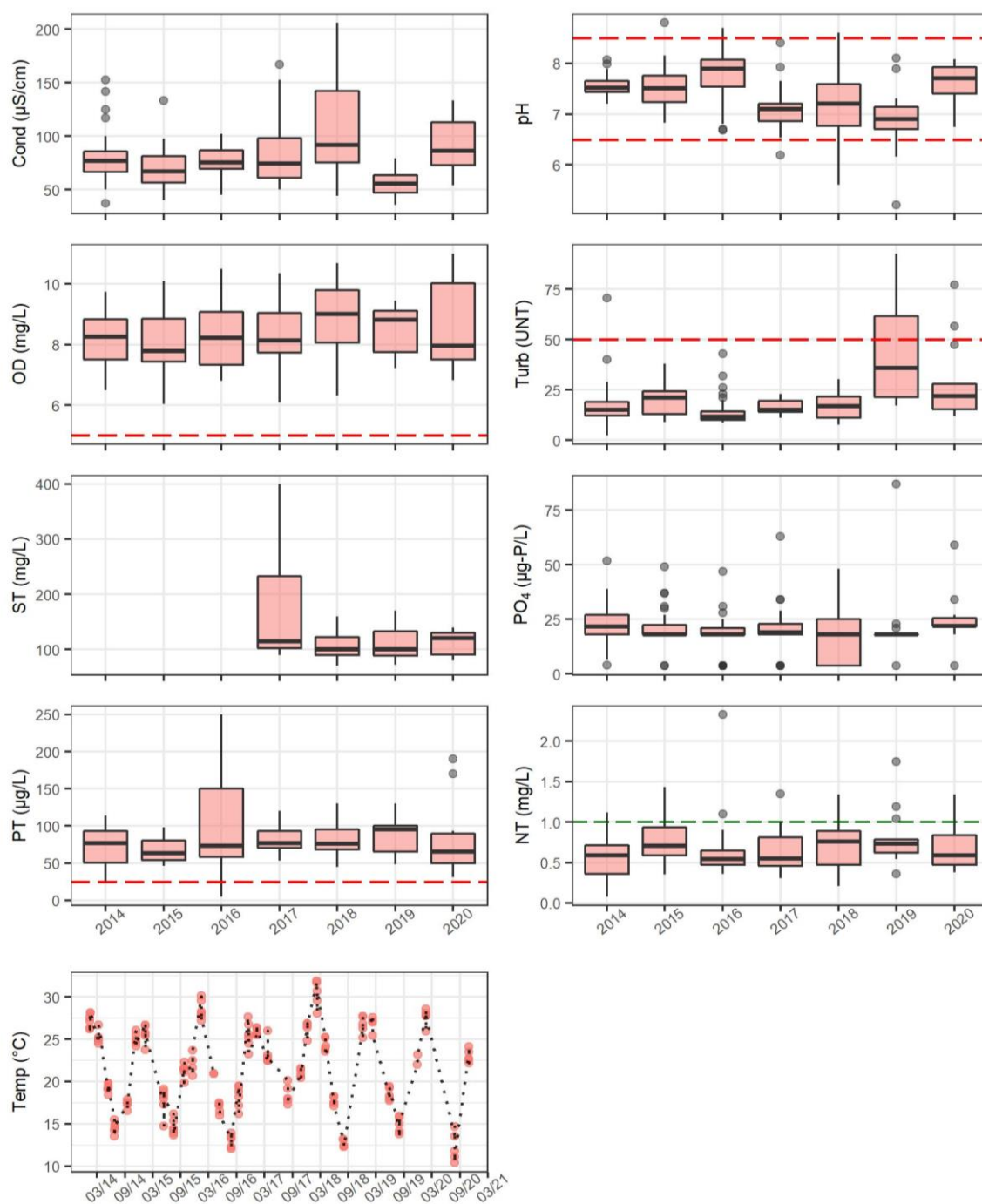


Figura 5.7. Variación temporal de parámetros físicos y químicos en el río Cuareim. A) Conductividad, B) pH, C) Oxígeno disuelto, D) Sólidos totales, F) Ortofosfato, G) Nitrógeno total, H) Fósforo total. Las cajas indican los percentiles 25 y 75 %, la línea horizontal la mediana, las líneas verticales representan el $\text{RIQ} \times 1,5$ (RIQ : rango intercuartílico), los puntos por fuera señalan posibles datos fuera de rango. Las líneas rojas entrecortadas indican los estándares del Decreto 253/79 y la verde el valores guías sugerido por MTA.

El **pH** estuvo siempre en el rango aceptado por el Decreto, a excepción de las estaciones RC40 y RC10 (mayo de 2018 y julio de 2019) que estuvieron por debajo del mínimo (6,5). La concentración de **OD** estuvo siempre por encima del mínimo admitido y llegó a valores de 6,0 mg/L en RC60 en enero de 2015.

La **turbidez** presentó un amplio rango de variación en 2019, donde fue más elevada que el resto de los años (máximo = 93 UNT en RC50). Mientras que la concentración de **sólidos totales** tuvo el máximo en 2017 (400 mg/L en RC20).

Las concentraciones más elevadas de **PT** ocurrieron en abril del año 2016 (máximo 260 µg/L, en RC50), cuando se registró la mayor lluvia acumulada en los 5 días previos al monitoreo. Particularmente en abril, los monitoreos ocurrieron días posteriores a lluvias intensas en todas las estaciones de monitoreo (Figura 4.3) y estos presentaron los máximos de PT (

Figura 5.8) en las cuatro estaciones (RC10 a RC40). En momentos de insignificantes o muy bajas precipitaciones, la concentración de PT en el río fue sensiblemente menor, como se observó en el monitoreo de setiembre. Por otro lado, la mayor mediana ocurrió en 2019 (95,5 µg/L).

Sin embargo, durante los monitoreos de mayo, julio y noviembre, los valores de PT fueron relativamente elevados a pesar de no haberse registrado eventos previos de precipitaciones importantes, lo cual es más notorio aún en enero, con valores sumamente elevados de PT. La concentración elevada de PT en estos casos tendría otras causantes.

La forma disuelta de fósforo, **PO₄**, presentó gran porcentaje de observaciones menores al límite de detección del método. En la estación RC10 sólo el 19% de las observaciones alcanzaron concentraciones cuantificables. Esto ocurrió todos los años pero con menor frecuencia en 2020 (sólo un evento no cuantificable). El valor más elevado de PO₄ ocurrió en RC35 en noviembre de 2019. En RC10, RC20 y RC50 las concentraciones se mantuvieron estables durante todo el periodo de estudio, siendo siempre menor a 30 µg-P/L. Por el contrario, las estaciones RC35 y RC40 fueron las que presentaron mayor variabilidad y mayores concentraciones.

El **NT** estuvo en el rango de 0,08 y 2,33 mg/L, sin diferenciarse significativamente entre años. La mediana de cada año varió entre 0,54 en 2016 y 0,76 mg/L en 2018. Las estaciones con mediana más elevada fueron RC60 y RC20 (0,7 mg/L).

La temperatura, tuvo una variación estacional y se mantuvo en un rango esperable para estas latitudes (10,4 a 36,4 °C).

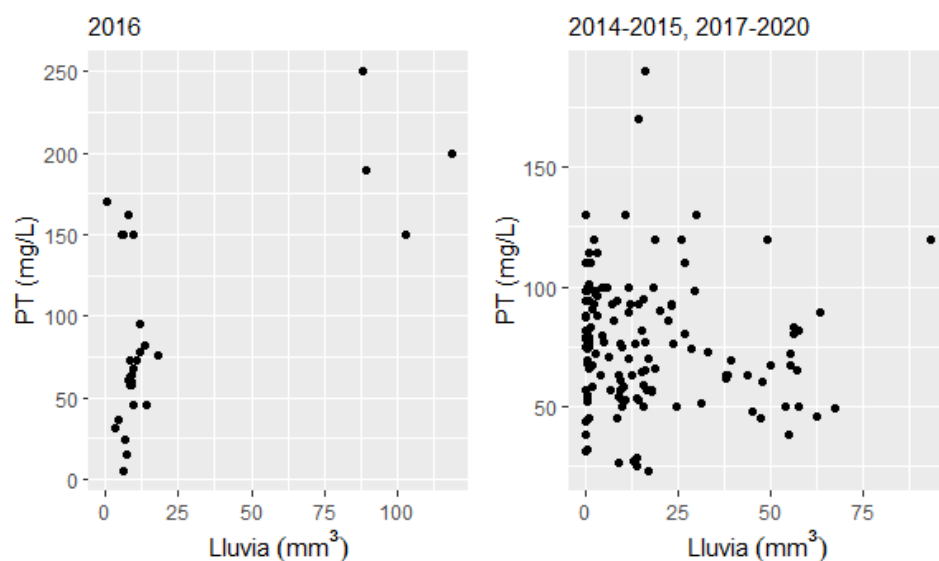


Figura 5.8. Concentración de fósforo total en el cauce del río Cuareim en función de las lluvias acumuladas en los 5 días previos al monitoreo en el año 2016 (izquierda) y el resto de los años (derecha).

5.2.2. Arroyo Tres Cruces

La **conductividad** en la estación de monitoreo del A° Tres Cruces tuvo un rango de 62,9 a 233,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 5.9).

El **pH** estuvo siempre en el rango requerido por la normativa a excepción de junio del 2018, donde fue menor al mínimo (6,0) y junio de 2016 donde fue mayor al máximo (8,8).

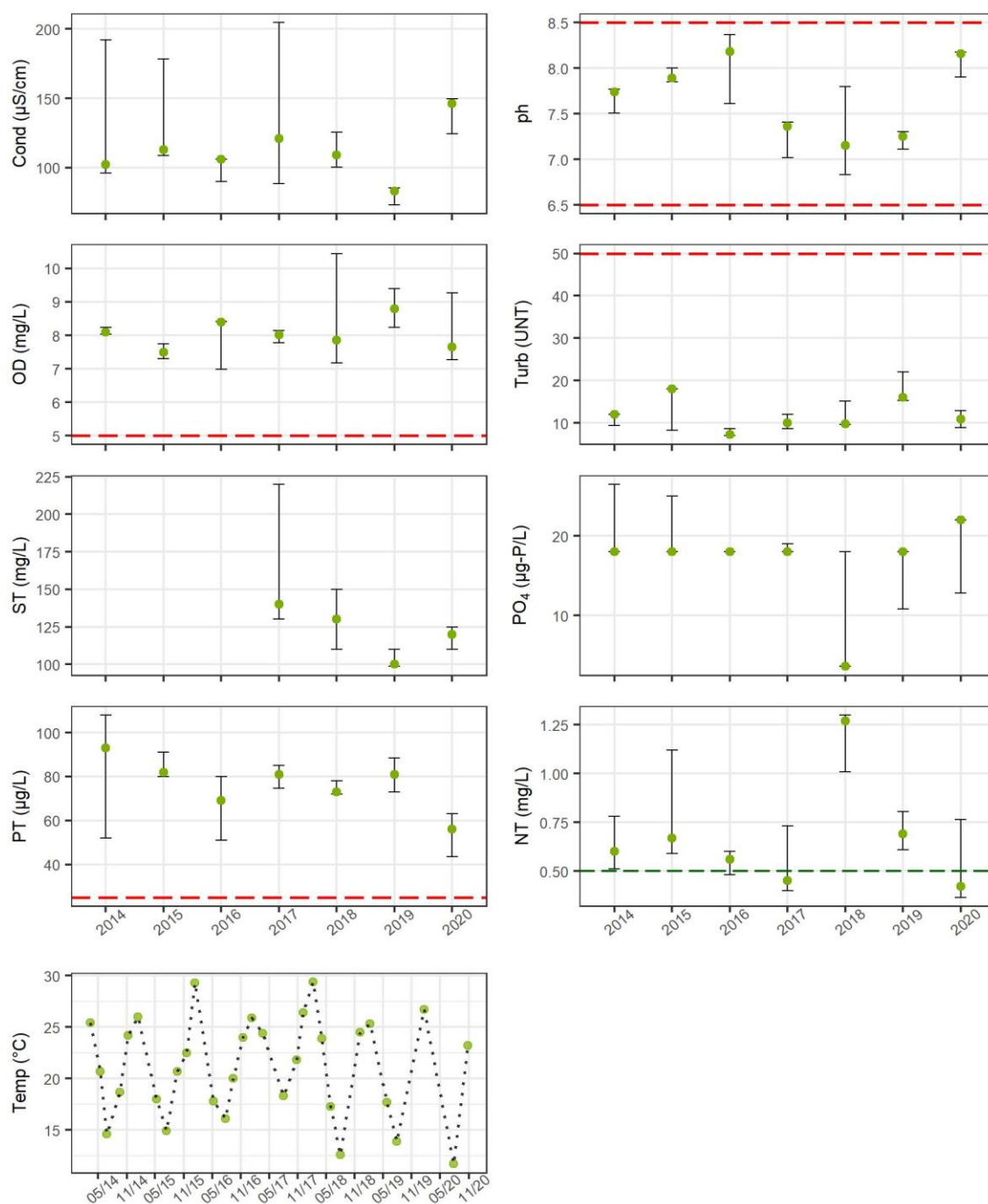


Figura 5.9. Variación temporal de parámetros físicos y químicos en el A° Tres Cruces. A) Conductividad, B) pH, C) Oxígeno disuelto, D) Turbidez, E) Sólidos totales, F) Ortofosfato, G) Fósforo total, H) Nitrógeno total, I) Temperatura. Las cajas indican los percentiles 25 y 75 %, la línea horizontal la mediana, las líneas verticales representan el RIQ*1,5 (RIQ: rango intercuartílico), los puntos por fuera señalan posibles datos fuera de rango. Las líneas rojas entrecortadas indican los estándares del Decreto 253/79 y la verde el valores guías sugerido por MTA.

La concentración de **oxígeno** disuelto estuvo siempre por encima del mínimo de 5 mg/L requerido por la normativa, con una mediana global de 8,0 mg/L y un rango de 6,14-10,9 mg/L.

La concentración de **sólidos** totales fue máxima en agosto de 2017 (300 mg/L), a excepción de este valor, las demás observaciones estuvieron en el rango de 97-190 mg/L. Los valores más bajos fueron observados entre los años 2019 y 2020 (medianas= 100 y 120 mg/L).

Con respecto a la concentración de nutrientes, el fósforo disuelto, **PO₄** presentó el máximo de 100 µg-P/L y el resto de los valores fue menor a 37 µg-P/L. A su vez, sólo 6 de las 31 observaciones realizadas alcanzaron concentraciones superiores al límite de cuantificación del método (entre 11 y 22 µg-P/L) entre los años 2014 y 2017. Este fenómeno condicionó de forma importante las medianas anuales. Éstas que estuvieron en un rango acotado durante todo el periodo a excepción del año 2018, que fue siempre < 18 µg-P/L (LC) o < 3,6 µg-P/L (LD).

La concentración de **PT** presentó un rango entre 18 y 150 µg/L, con el máximo en enero de 2016. La menor mediana del periodo ocurrió en 2020 (56 µg/L).

Por otro lado, la concentración de **NT** se encontró entre 0,21 y 1,68 mg/L (mediana = 0,64 mg/L). En general por debajo del máximo recomendado por la MTA (2017), a excepción de algunos valores de los años 2015 y 2020 y la mayoría de los datos del 2018.

La temperatura tuvo una variación estacional y se mantuvo en un rango esperable para estas latitudes (11,7 a 29,4 °C).

5.2.3. Arroyo Yucutujá

El rango de **conductividad** observado en el Aº Yucutujá fue 46,2 - 334,4 µS/cm con algunas variaciones entre años (Figura 5.10). La mediana anual fue superior en los años 2018 y 2020 (245 y 265 µS/cm). Mientras que el pH presentó valores que coincidieron con los límites establecidos por el Decreto 253/79 sólo en dos instancias y ambas en el año 2019 (6,5 y 8,5).

El **oxígeno disuelto** estuvo comprendido entre 5,2 mg/L (en el límite del mínimo aceptable) y 10,6 mg/L. Las medianas fueron similares entre años, con la máxima en 2019 (8,54 mg/L) que coincidió con la mínima temperatura observada (11,4 °C en el mes de julio), y la mínima en 2020 (7,0 mg/L) se observó con una temperatura de 26,1 °C.

La **turbidez** presentó un rango de entre 6,1 y 78,3 UNT. El máximo se apartó de la mediana global de la cuenca (13,3 UNT) y superó el máximo permitido por el Decreto 253/79. La turbidez se correlacionó con los SST ($S = 998,7$; $p < 0,05$; $\rho = 0,73$) y no con los ST.

La concentración de **PO₄** estuvo entre valores por debajo del límite de cuantificación del método (18 µg-P/L en tres monitoreos de 2016 y uno de 2017) hasta 89,0 µg-P/L en enero del 2020. El mismo presentó los valores más elevados en los años 2014 y 2020 (medianas de 64,5 y 55,0 µg-P/L respectivamente). El último año de monitoreo correspondió además a la máxima mediana del periodo.

La concentración de **PT** estuvo en el rango de 12 a 264 µg/L. La mediana de PT presentó una tendencia al aumento en el tiempo ($S = 12$, $p = 0.04802$; $R^2 = 0,79$)

Por otro lado, la concentración de **nitrógeno total** estuvo comprendida en el rango de 0,38 a 1,53 mg/L y superó el valor máximo propuesto por la MTA (2017) en varias ocasiones.

La temperatura tuvo una variación estacional y se mantuvo en un rango esperable para estas latitudes (11,4 a 28,9 °C).

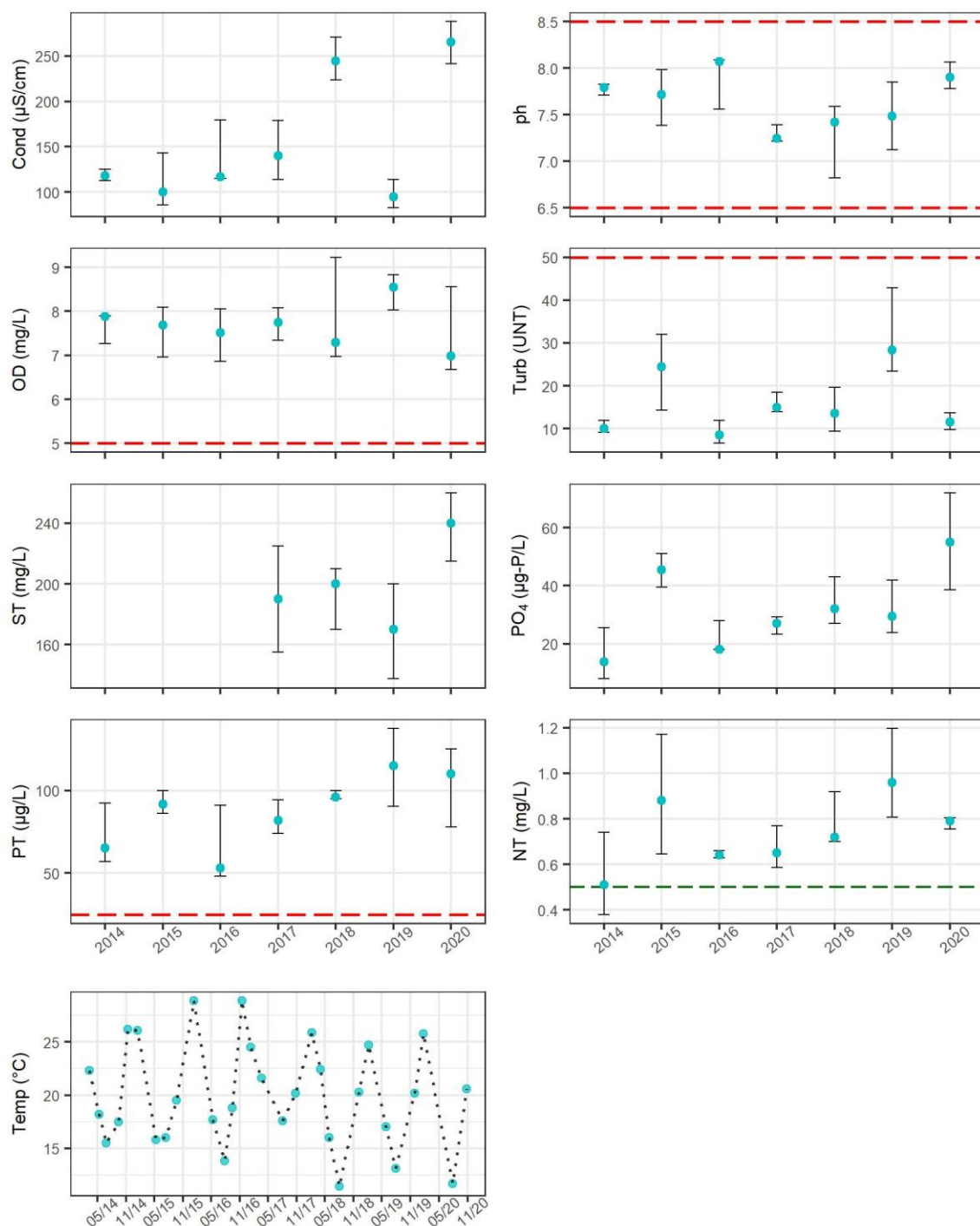


Figura 5.10. Variación temporal de parámetros físicos y químicos en el A° Yucutujá. A) Conductividad, B) pH, C) Oxígeno disuelto, D) Turbidez, E) Sólidos totales, F) Ortofosfato, G) Fósforo total, H) Nitrógeno total, I) Temperatura. Las cajas indican los percentiles 25 y 75 %, la línea horizontal la mediana, las líneas verticales representan el RIQ*1,5 (RIQ: rango intercuartílico), los puntos por fuera señalan posibles datos fuera de rango. Las líneas rojas entrecortadas indican los estándares del Decreto 253/79 y la verde el valores guía sugerido por MTA.

5.3. Evaluación integrada

5.3.1. Aportes desde la cuenca y calidad de agua para cada cauce

En los años 2018 a 2020 la concentración de PT estuvo correlacionada a la de ST ($S = 43949$; $p < 0,05$; $R = 0,44$), sin embargo, en el año 2017 no hubo una tendencia significativa entre ambos parámetros. De forma similar, el porcentaje de área utilizada para arroz estuvo correlacionada con la concentración de ST en los últimos años (Figura 5.11; $S = 43400$, $p < 0,05$, $R = 0,45$).

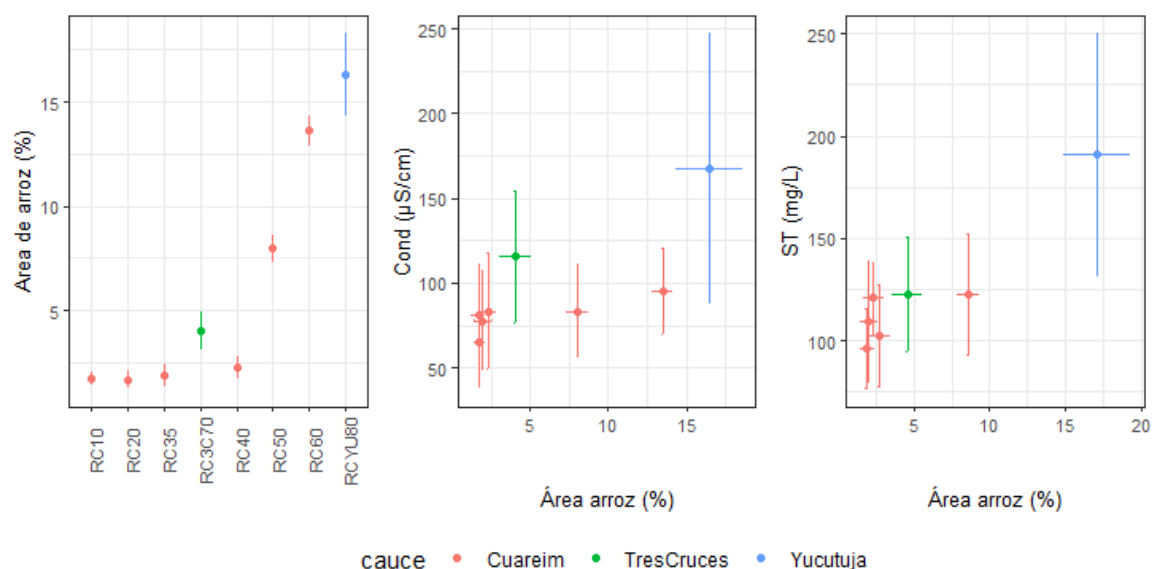


Figura 5.11. Concentración de sólidos totales y conductividad en función del porcentaje de área utilizada para cultivos de arroz. Los puntos indican el promedio y las líneas \pm el desvío estándar.

5.3.1.1. Río Cuareim

El análisis de componentes principales del Río Cuareim con todas las estaciones de monitoreo y todos los años explicó un 58,7% de la varianza total (Figura 5.12). La dimensión principal 1 representa las cargas al curso de agua mientras que la dimensión 2 estuvo representada por la lluvia, el caudal y los parámetros físicos y químicos del curso de agua.

Las variables que más aportaron a la dimensión 1 sugieren sinergia entre los SST y la turbidez observada en el agua y las lluvias en los 5 días previos al monitoreo. Además, estos factores estarían relacionados a una mayor concentración de nutrientes. Los aportes desde la cuenca que estuvieron en el mismo sentido de la dimensión 1 fueron los de los EGC, tambos y difuso. Sin embargo, los aportes de las industrias y las ciudades tuvieron el sentido contrario, por lo que serían antagónicas a las lluvias. Las variables de calidad de agua que acompañaron a estas variables fueron la conductividad y el nitrógeno disuelto (NID).

Si bien el NT y el NID aparecen como antagónicos en la dimensión 1, éstas son sinérgicas en la dimensión 2, acompañando a las cargas.

En la dimensión 1 se separaron las estaciones del cierre de cuenca (RC60) hacia la derecha, de las de la cuenca media, influenciadas por las ciudades (RC40 y RC50) en el centro del diagrama, y las estaciones de las nacientes hacia valores negativos (RC10, RC20 y RC35). RC35, a pesar de estar geográficamente cerca de RC40, por encontrarse aguas arriba de la descarga de las ciudades, se ubicó junto con las estaciones de las nacientes. También se separó RC50-2019 del resto de los años de esta estación, lo que puede deberse a la alta concentración de SST (23 mg/L), que ocurrió luego de una de las lluvias más intensas en las 24h previas al monitoreo. La dimensión 2 separó las estaciones RC60 de las RC40 y RC50, posiblemente porque estas últimas tienen menor caudal, una de las variables más importantes de esta dimensión. A su vez, RC60 presentó mayor SST que las otras dos estaciones, lo que se reflejó en su posición en el ACP.

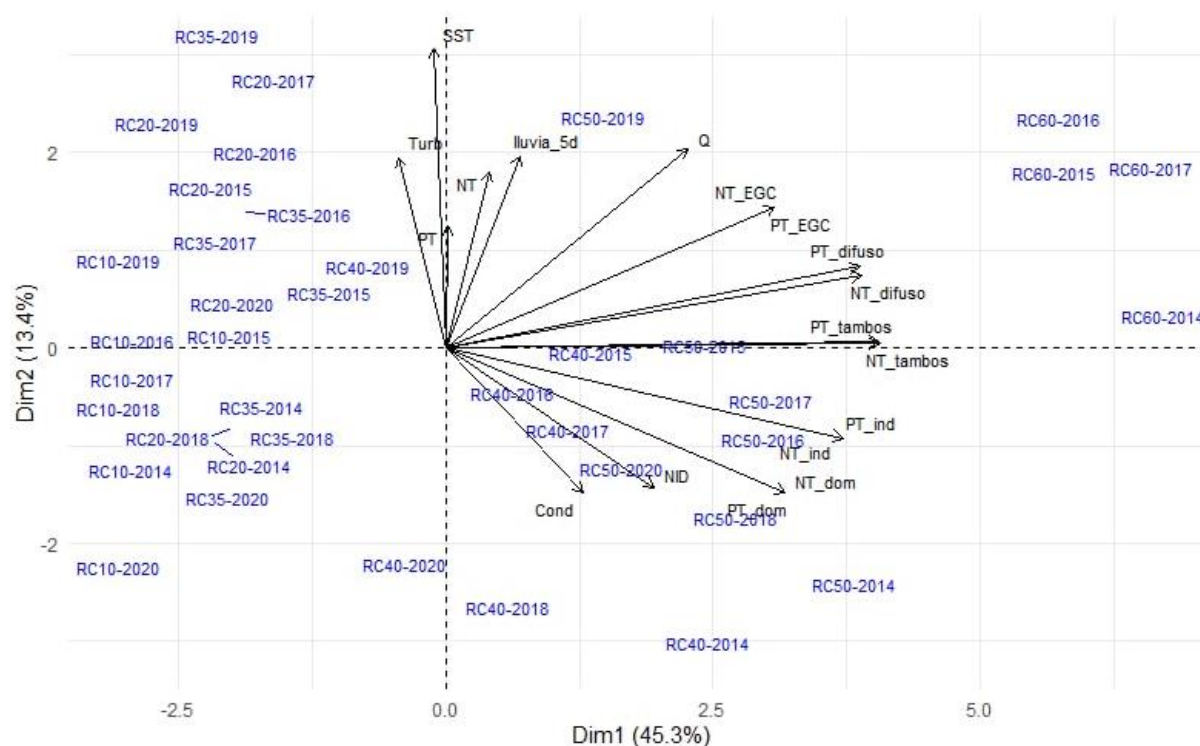


Figura 5.12. Análisis de componentes principales del río Cuareim incluyendo todos los años de monitoreo los parámetros seleccionados por el análisis. Estadísticos en Anexo IV.

Para explorar con mayor profundidad la relación entre los nutrientes y las cargas, se realizó un ACP del río Cuareim para el año 2020, que explicó el 88 % de la varianza de los datos (Figura 5.13). La dimensión 1 estuvo conformada por los nutrientes, tanto los medidos en el agua como la carga aportada desde la cuenca. Las variables que aportaron a dicha dimensión fueron los aportes difusos y domésticos, las lluvias, las concentraciones de PT y NID, y la variable física conductividad. Cabe destacar que las cargas de PT estuvieron siempre correlacionadas con las de NT del mismo origen y que la carga doméstica se correlacionó con la de las industrias. El PT en el agua estuvo cercano al PT aportado por cargas difusas y a las lluvias, y aunque estuvo poco representado en la dimensión 1, su sinergia con la lluvia quedó evidenciada también en los resultados del 2016 (Sección 5.2.1, Figura 5.8), reafirmando esta relación.

La dimensión 1 separó las estaciones ubicadas aguas arriba de las ciudades (RC10 a RC35) de las de aguas abajo (RC40 y RC50). Además, las cargas difusas serían también mayores en las estaciones aguas abajo de las ciudades, seguramente porque su cuenca es mayor e incluye las cuencas de las demás estaciones.

La dimensión 2 estuvo conformada por variables físicas, turbidez y oxígeno disuelto. La estación más afectada por los aportes domésticos fue la que está aguas debajo de Artigas (RC40) y se ubicó en el cuadrante inferior derecho. Mientras que la más afectada por las cargas difusas fue la más cercana al cierre de cuenca (RC50).

La estación cercana a las nacientes (RC10) se separó del resto de las estaciones en ambas dimensiones, esto se debería a que presentó menor carga aportada desde la cuenca, menor concentración de nutrientes que el resto y menor turbidez.

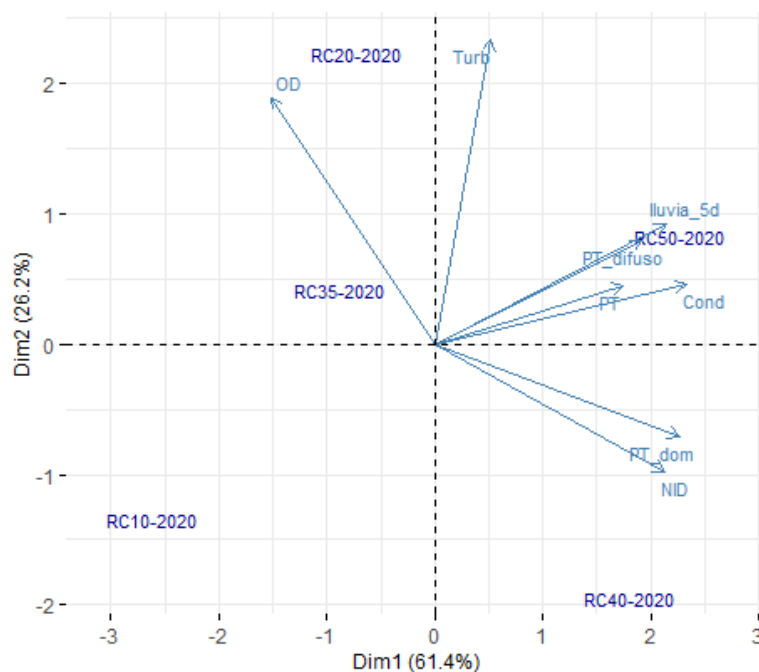


Figura 5.13 Análisis de componentes principales del río Cuareim para todo el año 2020, incluye los parámetros seleccionados por el análisis.

5.3.1.2. Aº Tres Cruces

En el análisis de componentes principales del Arroyo Tres Cruces para todo el periodo en estudio, quedaron seleccionados parámetros de calidad de agua, caudal y lluvia acumulada los 5 días previos al monitoreo y la carga proveniente de tambos (único aporte puntual de esta subcuenca; Figura 5.14). Si bien las cargas fueron principalmente difusas, el hecho de que éstas no presentaron variación en el tiempo (4,9 a 5,2 t/año de PT) podría haber determinado que no explicaran la varianza de los datos y por lo tanto, no quedaron seleccionadas en el análisis.

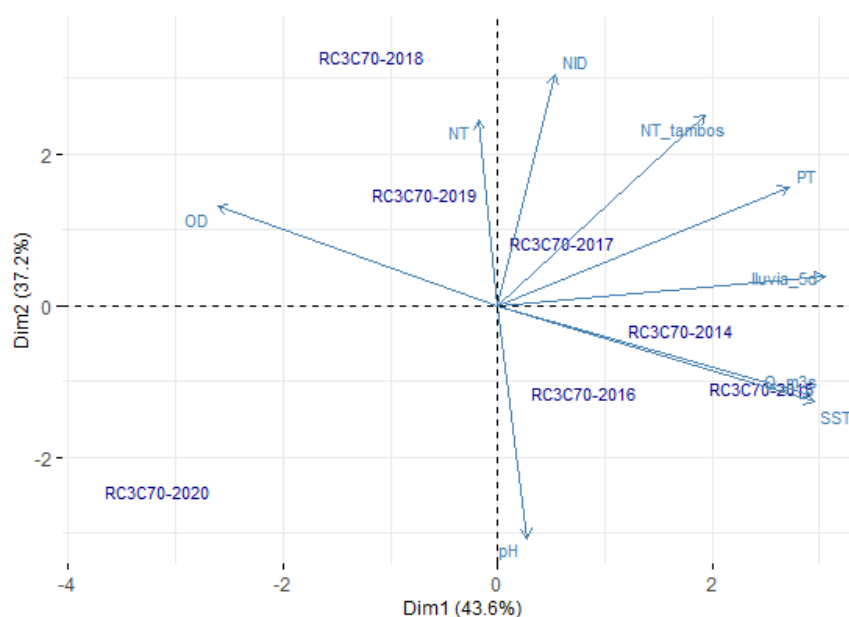


Figura 5.14. Análisis de componentes principales del Arroyo Tres Cruces para todo el periodo en estudio, incluye los parámetros seleccionados por el análisis. Estadísticos en Anexo IV.

El total de varianza explicada para este sistema fue de 81%. La dimensión 1 estuvo relacionada al condicionamiento hidrológico, ya que estuvo explicada por las lluvias y el caudal. Además a ella se asociaron el PT y los SST, por lo que éstos podrían llegar con la escorrentía. Los sólidos suspendidos totales estuvieron fuertemente correlacionados con el caudal ($R^2 = 0,94$) y con la lluvia. A su vez, el oxígeno quedó en dirección antagónica a los SST y también estuvo asociada a la dimensión 1.

La dimensión 1 separó los años más recientes a la izquierda y los anteriores al 2018 a la derecha. Los años 2014 a 2016 presentaron mayor frecuencia de lluvias previas a los monitoreos. A su vez, esta separación estaría influenciada por una mayor concentración de PT y SST en los primeros años.

Por otro lado, la dimensión 2 se relacionó al aporte de nutrientes desde fuentes puntuales. Estuvo conformada con el nitrógeno (total y disuelto) y el aporte de los tambos. En este caso el pH fue antagónica a la concentración de nutrientes y el aporte desde los tambos.

5.3.1.3. Aº Yucutujá

La cuenca de la estación de monitoreo en Yucutujá no presentó registros de industrias, ciudades importantes, ni establecimientos de engorde a corral. Las variables externas al sistema, que quedaron seleccionadas en el ACP fueron las hidrológicas, es decir, la lluvia acumulada en los 5 días previos al monitoreo y el caudal. El total de la variabilidad explicada del ACP fue de 82% (Figura 5.15).

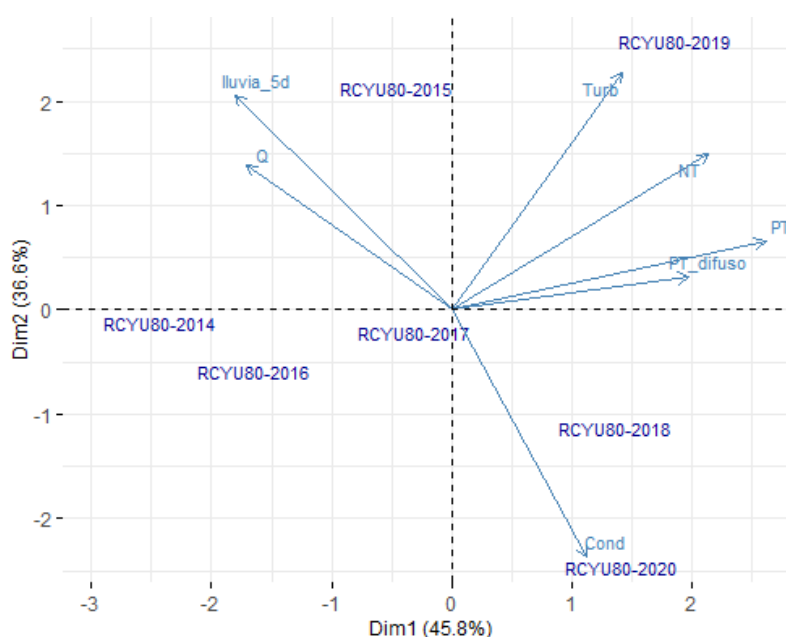


Figura 5.15 Análisis de componentes principales del Arroyo Yucutujá para todo el periodo en estudio, incluye los parámetros seleccionados por el análisis.

La dimensión 1, está representada principalmente por los nutrientes totales y el aporte difuso, así como por las variables hidrológicas. Sin embargo, las lluvias se ubicaron de forma levemente antagónica a las cargas y los nutrientes, a diferencia del Aº Tres Cruces. Esta dimensión separó los años antes y después de 2017 al igual que en el Aº Tres Cruces, seguramente debido a las lluvias más copiosas previas a los monitoreos en los años 2014-2017.

La dimensión 2 estuvo también compuesta por la lluvia y el caudal, pero también por la turbidez y la conductividad. Esta última fue antagónica a la lluvia y la turbidez. Esta relación no es esperable que se observe por fenómenos naturales, sin embargo, esta cuenca está particularmente alterada por las plantaciones de arroz, que modifican la hidrodinámica del lugar y podría tener un efecto importante en las observaciones. La conductividad en el año 2020 fue particularmente alta en este sistema, lo cual podría estar relacionado a dicha actividad productiva (Figura 5.11).

5.3.2. Cumplimiento de los estándares de calidad de agua

La mayoría de los parámetros legislados por la normativa presentaron valores de cumplimiento elevado (>60 %) en todas las estaciones de monitoreo. Tanto la concentración de NH_3 como la de OD tuvieron un 100% de cumplimiento en todas las estaciones de monitoreo (Figura 5.16).

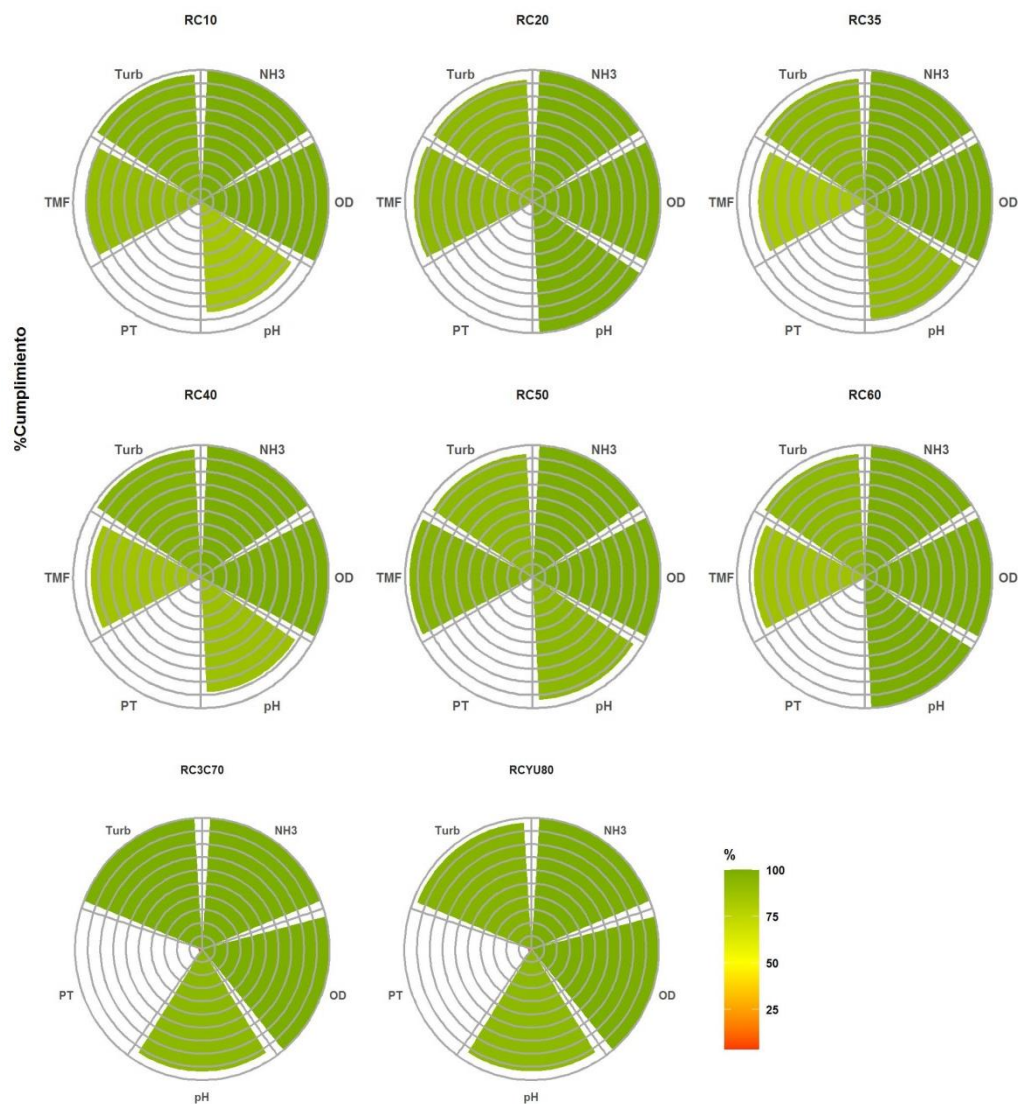


Figura 5.16 Porcentaje de cumplimiento de los parámetros legislados en el Decreto 253/79: Coliformes termotolerantes (TMF), Oxígeno Disuelto (OD), pH, turbidez (Turb), fósforo total (PT) y amoníaco libre (NH_3). Los límites del Decreto 253/79 se presentan en la Tabla 4.1). La escala de los gráficos es de 0 a 100 % ³.

El pH y la turbidez también tuvieron gran porcentaje de cumplimiento, estando todas las estaciones por encima del 84,4 y 93,0 % respectivamente. Por el contrario, el PT fue el que presentó menor frecuencia de cumplimiento, entre 0 y 21 % en RC10 y RC60 respectivamente ³.

En cuanto a la concentración de Pb, en los años 2010, 2012, 2016 y 2017, los límites de cuantificación y detección alcanzados por el laboratorio fueron algunas veces superiores al valor de la normativa (0,04 y 0,05

³ Notar que PT tuvo un porcentaje de cumplimiento igual o cercano a cero, por lo que el área de color correspondiente es muy pequeña o inexistente.

mg/L), sin embargo, en ninguna de las ocasiones se observaron resultados cuantificables. Por lo tanto, si bien pueden haber ocurrido valores que incumplen la normativa, éstos habrían sido muy cercanos a dicho valor (0,03 mg/L).

Por otro lado, la concentración de nitrógeno observada fue en general inferior al valor guía propuesto por la Mesa Técnica del Agua (MTA, 2017) y sólo se sobrepasó en instancias puntuales, en todas las estaciones de monitoreo.

5.3.3. Índice de Calidad de agua (IQA)

La calidad del agua del río Cuareim para el periodo 2014 a 2020 fue en su mayoría “buena”. En los años 2014 y 2015 sólo las estaciones RC40 y RC60 mostraron calidad “media”.

El número de estaciones con calidad de agua “media” en los años 2017 y 2019 fue mayor que el resto de los años, donde la mayoría fue de calidad de agua “buena”. Es de destacar que los valores de calidad “media” fueron cercanos al límite de la categoría “buena”.

Tabla 5.2 Índice de calidad de agua IQA de cada estación, cada año. Las estaciones en las que no se determinó densidad de TMF no es posible calcularlo. La estación RC60 no fue monitoreada luego de 2017. El color verde corresponde a “calidad de agua buena” y el amarillo a “calidad de agua media”.

Estación	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
RC10	76	77	75	71	75	72	75
RC20	75	74	72	70	74	70	70
RC35	73	75	72	70	70	70	76
RC40	70	74	71	72	74	70	73
RC50	75	75	74	75	79	69	74
RC60	69	68	79	75	-	-	-

5.3.4. Índice de Estado Trófico

El estado trófico calculado a partir de la concentración de PT indicó que todas las estaciones de monitoreo fueron mesotróficas durante todo el periodo de estudio incluyendo el año 2020 (Figura 5.17).

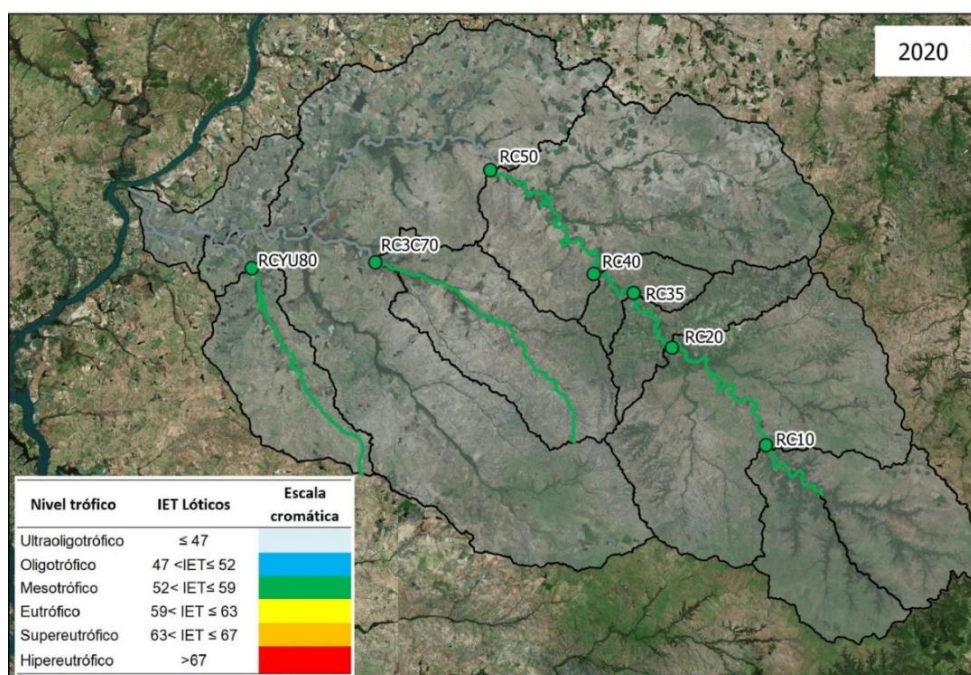


Figura 5.17 Estado trófico de las estaciones de monitoreo de la cuenca del río Cuareim en el último año del periodo de estudio (2020). La escala de colores se explica en la leyenda. Los tramos aguas arriba de cada estación se consideraron del mismo estado trófico que ésta.

6. DISCUSIÓN

6.1. Características de la cuenca

Este es estudio más reciente en compilar la información de calidad y cantidad de agua y uso del suelo en la cuenca del río Cuareim desde 2008 (proyecto Twinlatin; Ekstrand *et. al.*, 2009). Comprendió 7 años de datos de monitoreos trimestrales a lo largo del río Cuareim y en dos de sus afluentes, los arroyos Tres Cruces y Yucutujá.

Las condiciones físicas y químicas observadas se encontraron dentro de lo esperado para sistemas lóticos de la cuenca del río Uruguay (CARU, 2019; MVOTMA-DINAMA, 2011; MVOTMA-DINAMA, 2013 y MA, 2020a). A excepción de la concentración de ortofosfato, que fue baja, incluso fue menor al límite de cuantificación del método en numerosas ocasiones.

La cuenca en estudio presentó una buena calidad de agua tanto en términos de IET como de IQA. El IET en este periodo de estudio fue de los mejores del país junto con la cuenca del río Tacuarembó y afluentes de la Laguna del Sauce (MA, 2020 a).

El IQA mejoró entre 2019 (el peor año según este índice) y 2020, lo que podría estar relacionado a la resiliencia del ecosistema, vinculada a los procesos de ciclado y transporte de nutrientes (Newbold *et. al.*, 1982; Lampert y Sommer, 2007). Dicha resiliencia podría estar favorecida por el uso de suelo de un alto porcentaje de la cuenca es de herbáceo natural (Lescano *et. al.*, 2017), principalmente en la hemicuenca uruguaya.

Otro indicador que se ha utilizado en DCA-MA es el referente al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU 6.3.2, sobre la proporción de masas de agua de buena calidad. Este indicador toma en cuenta la conductividad, el pH y las concentraciones de OD, PO₄ y nitrógeno oxidado total (NO₂ y NO₃) en el cuerpo de agua. Para la cuenca del río Cuareim dicho indicador reveló que un 91,34% para el periodo de 2017-2020 y 96,50% del periodo de 2014-2016 de los valores observados en los cursos monitoreados cumplen con los valores objetivo y tienen por lo tanto “buena calidad de agua ambiental” (Anexo VII).

Las estaciones con mayor impacto de aportes desde la cuenca fueron las ubicadas en los afluentes (principalmente el Yucutujá) y en la desembocadura de la cuenca. Esta zona es la más baja de la cuenca, por lo que los suelos son más fértiles y más aptos para la agricultura, que es principalmente de arroz.

El origen de los principales aportes de nutrientes desde la cuenca fue de la agricultura, que consistió principalmente en arroz en rotación con pasturas para ganadería. Si bien, estas son actividades con bajo coeficiente de exportación de nutrientes, el arroz tiene un alto impacto en cuanto a la modificación del territorio por la construcción de canales de riego o evacuación, necesarios para inundar los cultivos (ACA *et. al.*, 2018). Dichas construcciones no sólo cambian la hidrología natural del ecosistema sino que también eliminan o limitan el desarrollo de áreas naturales de amortiguación de impactos antrópicos como las zonas riparias y humedales. Estas alteraciones aumentan la erosión del suelo y con ello el aporte de sólidos al curso de agua.

En particular la estación de monitoreo del Arroyo Yucutujá, es la de mayor porcentaje de cultivo de arroz, y tiene un embalsamiento del 40% (Sección 3.5). Estas serían las principales razones de su deterioro. Este arroyo, habría experimentado un incremento en cuanto a la concentración de PT a pesar de mantenerse en el nivel de mesotrófico. A su vez la concentración de nitrógeno total en esta estación de monitoreo, estuvo siempre por encima del valor guía propuesto por la MTA a excepción de 2014.

En el presente estudio se observaron relaciones significativas de la concentración de sólidos y la conductividad, con el área utilizada para plantaciones de arroz. Si bien dichas partículas transportan nutrientes, no se observó una relación con estos últimos a nivel de toda la cuenca, por lo que no serían la única causa de la concentración de nutrientes en el agua. Además, los nutrientes y las cargas difusas fueron variables sinérgicas en la explicación de la varianza de los datos, tanto en el río Cuareim en el año 2020 como en el Aº Yucutujá.

La llegada de los nutrientes excedentes al agua depende de las características geotopográficas (pendiente, área) e hidroclimáticas, y de la capacidad de retención de nutrientes de la cuenca, así como también de las prácticas agrícolas (Arocena *et. al.*, 2018; Aubriot *et. al.*, 2017). Dadas las grandes proporciones de suelo utilizadas para cultivo de arroz y el número de embalses artificiales presentes, la hidrodinámica de esta zona

estaría alterada de forma importante. A pesar de esas modificaciones, fue posible observar la relación entre la concentración de PT y las precipitaciones que ocurrieron en los días previos al monitoreo, en toda la cuenca.

Por otro lado, la contaminación por TMF fue importante sólo en RC40 en 2014, lo que podría estar relacionado a la ineficiencia de la planta de tratamiento de la ciudad de Artigas que se realizó posteriormente. Sin embargo, este cambio no tuvo un correlato en la concentración de nutrientes, la media de PT fue en aumento entre 2014 y 2020. De forma similar la concentración elevada de TMF en RC35 en los años 2016 a 2018, no tuvo un correlato en la concentración de nutrientes, a excepción del año 2016, cuando ocurrió la máxima concentración de la cuenca en esta estación. Ese evento estaría relacionado a precipitaciones copiosas que ocurrieron en la cuenca en los 5 días previos al monitoreo. Ese sitio requiere otro tipo de evaluación que permita elucidar las causas de los pulsos de coliformes aguas del sitio de vertido de la planta de tratamiento de efluentes domésticos. En cuanto a la estación RC10, la presencia de TMF en ausencia de grandes ciudades podría relacionarse a la presencia de ganado en el curso de agua, dado el uso ganadero del suelo.

Por su lado, la FEPAM (2020) informa que la calidad de agua de la cuenca brasilera, durante el año 2019, fue óptima (calidad 1) en cuanto a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), NH₄, OD y PT. Mientras que la densidad de *Escherichia coli* (el principal microorganismo dentro de los coliformes termotolerantes) correspondió a calidad de agua regular (calidad 2). Por lo tanto, habría consistencia entre los resultados observados en este trabajo.

6.2. Metales pesados

Se destaca la alta ocurrencia de aluminio (Al) en las aguas de esta cuenca. Una de las fuentes de este metal pesado podría ser la corteza terrestre, donde se encuentra naturalmente, y puede liberarse y llegar al agua por erosión (canales para la plantación de arroz, areneras y ladrilleros) o por actividades como la minería (EPA 2018). Este tipo de aportes sería difuso, lo cual concuerda con que se haya encontrado en todas las estaciones de la cuenca. Otra fuente posible de Al es el tratamiento de aguas residuales, donde se utiliza sulfato de potasio y aluminio como coagulante para clarificar las aguas tratadas (EPA, 2018). Si bien el Al queda acumulado en los lodos de las piletas de tratamiento de efluentes, la mala gestión de los mismos podría hacer que llegaran al curso de agua. En este caso, sería esperable que la ocurrencia de dicho metal fuera mayor en las estaciones aguas debajo de los centros poblados e industriales, como son Artigas y Quaraí, sin embargo, éste patrón no fue el observado. Es necesario profundizar en las posibles causas de las altas concentraciones de Al, integrando otros factores como los geológicos.

6.3. Fitosanitarios

Las partículas de suelo (observadas como sólidos) también pueden transportar, adsorbidos, otros contaminantes como los metales pesados y los fitosanitarios. En este sentido, se observó que los años con menor lluvia acumulada por día fueron los que presentaron menor concentración de ST en el agua y menor frecuencia de ocurrencia de glifosato y AMPA.

Los fitosanitarios estuvieron presentes en bajas concentraciones respecto a la normativa, sin embargo, varios fueron detectados en numerosas ocasiones, principalmente el glifosato y su derivado AMPA. Éstos fueron detectados en los años 2014 a 2017 pero no entre 2018 a 2020, lo que podría deberse a que éstos últimos fueron años menos lluviosos (promedio 2014-2017 = 1742 mm/día; 2018-2020 = 1333 mm/día). Esto podría implicar menor arrastre por escorrentía.

La llegada de los fitosanitarios al agua también está influenciada por las prácticas agrícolas (Arocena *et. al.*, 2018). Las estaciones con mayor frecuencia de ocurrencia de glifosato y AMPA fueron las de los afluentes estudiados y RC40. Dado que los afluentes se encuentran totalmente en territorio uruguayo, es posible afirmar que han habido cambios paulatinos en las prácticas agrícolas para disminuir la erosión (MGAP 2018; ACA,

2018). Sin embargo, gran parte de la cuenca de la estación RC40 se encuentra en territorio brasileiro, por lo que es más difícil conocer la realidad del territorio.

El glifosato se ha clasificado como clase III según la OMS, lo que implica que es de riesgo bajo para la salud humana y animal. Los efectos a la salud humana han estado en discusión entre otras cosas porque el glifosato en sí mismo sería menos riesgoso que en su forma comercial (con adyuvantes). La mayoría de este compuesto se mineraliza en el suelo y tiene baja movilidad, por lo que resulta menos probable encontrarlo en los cuerpos de agua. Sin embargo, el AMPA, tiene gran solubilidad en agua y gran adsorción a las partículas, con lo que es frecuente que llegue a los cuerpos de agua por escorrentía y sea detectado, ya sea en agua, sedimentos o biota (Silva *et. al.*, 2020). En Argentina, ambos activos han sido detectados en altas concentraciones en sedimentos y organismos bentónicos, incluso fuera de las áreas agrícolas y con baja concentración de los compuestos en agua (Bonansea *et. al.*, 2018).

El tiempo de permanencia de los activos en el agua es en general bajo y las concentraciones elevadas se dan en periodos de tiempo cortos. Sumado a esto, los monitoreos son trimestrales y muchos de los activos reportados para la plantación de arroz están en proceso de ser incorporados al *pool* de activos monitoreados en el programa (INIA, 2020). Si bien en el último tiempo el Laboratorio de DINACEA ha incorporado numerosos activos, a veces ocurre que las tecnologías comerciales avanzan con mayor velocidad que las investigaciones científicas respecto a su impacto en la biota y en la salud humana (Aktar *et. al.*, 2009; Beketov *et. al.*, 2013). Por ende se ve retrasada su regulación por parte de las instituciones públicas (Pelaez *et. al.*, 2013). El control de fitosanitarios es de suma importancia, aunque por los motivos esgrimidos, se encuentra menos desarrollado que otras afectaciones al ambiente (MA, 2020b).

7. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Se evaluó de forma integrada la calidad del agua de la cuenca del río Cuareim entre los años 2014 y 2020. Las concentraciones de nutrientes estuvieron en el rango esperable para cuerpos lóticos. En general, la calidad de agua de las estaciones monitoreadas en la cuenca fue buena.

La evaluación de la variación espacial de los parámetros de calidad de agua permitió determinar las estaciones de monitoreo con mayor concentración de nutrientes en el agua y relacionarlas con las actividades de la cuenca de cada cauce (*objetivo específico 1*). Se observó que la estación con mayor concentración de fósforo total y sólidos totales, así como mayor conductividad, fue la tuvo mayor proporción de área destinada al cultivo de arroz y con mayor número de embalses en su cuenca (Aº Yucutujá).

Los contaminantes antrópicos más importes de la cuenca, fueron los nutrientes en exceso, la presencia de algunos fitosanitarios y los coliformes termotolerantes en ocasiones puntuales (*objetivo específico 2*). Se observó además una alta ocurrencia de aluminio en concentraciones bajas y medias, en todas las estaciones de monitoreo. Las causas no pudieron ser elucidadas en el presente trabajo. Además, es de destacar que se continúa trabajando en profundizar en el análisis de fitosanitarios para establecer su situación con más certezas.

Los aportes de nutrientes desde la cuenca fueron diferentes para las distintas estaciones evaluadas. En el caso de los afluentes (Yucutujá y Tres Cruces) el principal aporte fue la actividad agropecuaria. En tanto que en el resto de la cuenca, a dicha presión se le suman el aporte de nutrientes y contaminantes desde las ciudades (*objetivo específico 3*). Por lo tanto, las acciones deberían concentrarse hacia la disminución de la exportación de carga de nutrientes desde la cuenca tanto desde la agricultura como desde las ciudades.

El porcentaje de cumplimiento del Decreto 253/79 fue elevado en todos los parámetros a excepción de la concentración de PT, como ocurre con muchos cursos de agua del país (*objetivo específico 4*). Sin embargo, según los índices analizados la cuenca presentó mayormente buena calidad de agua, con eventos puntuales de calidad media (*objetivo específico 5*).

Se concluye entonces, que a pesar de la alta presión sobre la cuenca (desde agricultura intensiva, tambos y ciudades), la calidad de agua se mantiene buena. Esto podría estar favorecido por la alta tasa de recambio de las aguas de todo el sistema y sus procesos intrínsecos de depuración. Resulta de interés incorporar otros enfoques que permitan profundizar en los aspectos que brindan resiliencia al ecosistema. A la vez, es de gran importancia continuar con los monitoreos y profundizar en la gestión binacional de esta cuenca de forma ambiental y socialmente sustentable.

Perspectivas

A futuro sería importante incorporar estaciones de monitoreo al cierre de las subcuenas que aún no se monitorean y representan un área importante de la cuenca, especialmente el Arroyo Cuaró Grande. También resulta fundamental volver a incorporar la estación a cierre de cuenca (RC60) o establecer una nueva en un punto cercano. El aumento de estaciones de monitoreo aumentaría la comprensión de la situación de la cuenca y las dinámicas causales de la calidad del agua al cierre de la cuenca.

Por otro lado, dada la gran ocurrencia de aluminio, surge la inquietud de conocer las concentraciones en las estaciones de monitoreo ubicadas en los afluentes y desarrollar monitoreos específicos con el objetivo de determinar su fuente.

En cuanto a los fitosanitarios, dado que observarlos en agua está fuertemente condicionado a eventos puntuales y a las propiedades del activo (coeficientes de partición y tiempo de degradación), sería un gran aporte para el país evaluar la presencia de estos compuestos en tejido de organismos. En general los

fitosanitarios son bioacumulados por animales acuáticos, en particular por invertebrados bentónicos o peces. Lo cual los hace una herramienta sólida y robusta de biomonitoreo, y permitiría tener más certezas sobre los fitosanitarios que se aplican en exceso en la cuenca (Alonso *et. al.*, 2019). A su vez, surge la necesidad de continuar con los esfuerzos de ampliar el número de activos analizados y que se incluyan los más utilizados en los cultivos de arroz. Como alerta temprana de este tipo de contaminantes, el estudio de las comunidades polinizadoras (como abejas) complementaría la evaluación del impacto en la calidad integral del ambiente.

8. BIBLIOGRAFÍA

- ACA (Asociación cultivadores de arroz), 2018. Guía de Buenas Prácticas en el cultivo de Arroz en Uruguay. Última consulta 26/11/2020. <http://www.aca.com.uy/manual-de-buenas-practicas-agricolas/>
- Achkar, M.; Díaz, I.; Sosa, B. 2016. Producto 5 Inventario para la Cuenca del Río Uruguay. Proyecto Inventario Nacional de Humedales. Acuerdo DINAMA-LDSGAT.
- Alonso, J., Quintans, F., Taks, J., Conde, D., Chalar, G., Bonilla, S., ... y Méndez H., 2019. Water Quality in Uruguay: current status and challenges. En: UNESCO Eds. Water Quality in the Americas: risks and Opportunities. Interamerican Network of National Academies of Sciences-IANAS/UNESCO.
- Arocena, R. 2016. Principios y métodos de limnología: ejemplos de Uruguay. Rafael Arocena (editor). 2da ed. DIRAC-Facultad de Ciencias, UdelaR. Montevideo, 328 p.
- Arocena, R, Chalar, G., Pacheco, J.P. 2018. Agriculture and elevation are the main factors for Pampasic stream habitat and water quality. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190:254.
- Arocena, R., Chalar, G., Perdomo, C., Fabián, D., Pacheco, J.P., González, M., Olivero, V., Silva, M., García, P. (2011). Impacto de la producción lechera en la calidad del agua. Informe final de proyecto N° 179 INIA.
- Beketov, M. A., Kefford, B. J., Schäfer, R. B., & Liess, M. (2013). Pesticides reduce regional biodiversity of stream invertebrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(27), 11039-11043.
- BirdLife International. 2021. Important Bird Areas factsheet: Bella Unión Grasslands. Downloaded from <http://www.birdlife.org> on 05/06/2021.
- Bonansea, R. I., Filippi, I., Wunderlin, D. A., Marino, D. J. G., y Amé, M. V. 2018. The fate of glyphosate and AMPA in a freshwater endorheic basin: an ecotoxicological risk assessment. *Toxics*, 6(1), 3.
- Brazeiro A (2015): Eco-Regiones de Uruguay: Biodiversidad, Presiones y Conservación. Aportes a la Estrategia Nacional de Biodiversidad. Facultad de Ciencias, CIEDUR, VS-Uruguay, SZU. Montevideo. 122 p.
- Brazeiro, A., M. Achkar, C. Toranza, and L. Bartesaghi. 2020. Agricultural expansion in Uruguayan grasslands and priority areas for vertebrate and woody plant conservation. *Ecology and Society* 25(1):15.
- CARU Comisión Administradora del Río Uruguay, 2019. Digesto sobre el uso y aprovechamiento del Río Uruguay. Comisión Administradora del Río Uruguay. 141pp.
- Chorus, I. y Bartram, J., 1999. Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. Londres: E & FN Spon.
- CIC, FMAM, ONU y OEA, 2016. Proyecto Piloto Demostrativo. Resolución de conflictos por el uso del agua en la cuenca del río Cuareim/Quarai. 178 pp. http://archive.iwlearn.net/cicplata.org/marco/pdf/informes/191205/componenteIII/1_ppd_quareim.pdf
- Croghan, C y Egeghy, P.P 2003. Methods of dealing with values below the limit of detection using SAS. EPA. Última consulta 22/12/2020 https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NERL&dirEntrCuareim d=64046
- Decreto 253/79. Medio Ambiente. Ecología. Recursos Naturales. Recursos Hídricos. Prevención de Contaminación de las Aguas. Última consulta 27/08/2020 <http://www.caru.org.uy/web/2020/01>
- EPA (Environmental Protection Agency) 2018. Aquatic Life Ambient Water Quality Criteria for Aluminum in Freshwater. Último acceso 01/09/2021, <https://www.federalregister.gov/d/2018-27745/p-7>
- FAO, 2021. Norma internacional para medidas fitosanitarias 5. Glosario de términos fitosanitarios. Secretaría de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF). Última consulta 20/12/2021 https://assets.ippc.int/static/media/files/publication/es/2021/06/ISPM_05_2021_Es_Glossary_2021-05-16_PostCPM-15.pdf

- FEPAM (Fundação Estadual de Protecção Ambiental Henrique Luiz Roessler/RS), 2020. Relatório da qualidade da água superficial do estado do Rio Grande do Sul. 87pp
http://www.fepam.rs.gov.br/noticias/arq/2020_QUALIDADE_AGUA_SUPERFICIAL_RS.pdf
- GEMS/Agua, Guía operativa 3ra Ed, 94.1.
- GESTA - Agua. 2014. Propuesta de modificación del decreto 253/79: Normas reglamentarias para prevenir la contaminación ambiental mediante el control de las aguas.
- Husson, F., Lê, S. y Pagès J. 2017. Explanatory multivariate analysis by example using R. Chapman & Hall/CRC. Hydrographic Basin Management System <https://www.ufrgs.br/lsh/products/sigbah-iph-watershed-management/sigbah-irriga/>
- INE (Instituto Nacional de Estadística), 2019. Anuario estadístico 2019. <https://www.ine.gub.uy/documents/10181/623270/Anuario+Estadistico+2019/f854fb27-ad7f-4ce3-8c37-005ade0a6140>
- INIA, (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria) 2019a. Estadísticas y resumen de la zafra 18-19. Base de datos empresas arroceras. Último acceso: 11/9/2020, <http://www.inia.uy/investigaci%C3%B3n-e-innovaci%C3%B3n/programas-nacionales-de-investigaci%C3%B3n/Programa-Nacional-de-Investigacion-en-Produccion-de-Arroz/informes-de-zafas>
- INIA, (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria) 2019b. Tendencias productivas y tecnológicas de las últimas 15 Zafas en el sector Arroceros Uruguayo. Último acceso 2/7/2021 http://inia.uy/Documentos/Privados/INIA%20TT/Arroz/Informes%20de%20zafra/2020/Resumen_ultimos_15_a%C3%B1os.pdf
- INIA, (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria) 2020. Evaluación tecnológica y productiva de la zafra de arroz 2020. Última consulta 10/11/2020 <http://www.inia.uy/investigaci%C3%B3n-e-innovaci%C3%B3n/programas-nacionales-de-investigaci%C3%B3n/Programa-Nacional-de-Investigacion-en-Produccion-de-Arroz/informes-de-zafas>
- IRGA (Instituto Rio Grandense do Arroz), s/f. Produtividades municipais, safra 2014/15. Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Secretaria da Agricultura e Pecuária. Fecha de consulta 5/11/2020 <http://stirga2018-admin.hml.rs.gov.br/upload/arquivos/201805/22093455-produtividade-municipios-safra-2014-e-2015.pdf>
- JICA-DINAMA. 2006. Manual de Monitoreo- Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. Montevideo, Uruguay. 95 pp.
- Lamparelli, M. C., 2004. Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. São Paulo: USP/ Departamento de Ecologia. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 235 pp.
- Lampert W. y Sommer U. 2007. Limnoecology: The Ecology of Lakes and Streams. Oxford University Press.
- Lescano, C., Ruibal, M., Barreto, P., Piñeiro, V., Lozoya, J., Perdomo, C., Rodríguez-Gallego, L. 2017. Rol de los pastizales naturales en la retención de nutrientes provenientes de la agricultura. INNOTECH, 13 (78 - 91).
- Lezama, F.; Pereira, M.; Altesor, A.; Paruelo, J.M. 2019. ¿Cuán heterogéneos son los pastizales naturales en Uruguay? En Altesor, A.; López- Mársico, L.; Paruelo JM. 2019. Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales II. Serie FPTA N°69, INIA, Montevideo. 168 pp.
- MA, 2020 a. Informe del estado del ambiente de Uruguay (2016-2019). 131 pp. Última consulta 01/09/2021 <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/politicas-y-gestion/informe-del-estado-del-ambiente-2020>
- MA, 2020 b. Evolución de la calidad de agua en la cuenca de la Laguna Merín período 2015-2019. <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/politicas-y-gestion/calidad-ambiental>
- Margni, M., Rossier, D., Crettaz, P., y Jolliet, O. 2002. Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems. *Agriculture, ecosystems & environment*, 93(1-3), 379-392.
- MGAP, 2018. Informe metodológico cobertura 2018 MGAP. Informe técnico.
- MGAP, 2020. Datos Preliminares basados en la Declaración Jurada de Existencias DICOSE - SNIG 2020. Última consulta 1/06/2021 <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/datos>
- MIEM (Ministerio de Industria, Energía y Minería), 2020. Visualizador geominero Última consulta 30/11/2021 http://visualizadorgeominero.dinamige.gub.uy/DINAMIGE_mvc2/
- Millennium Ecosystem Assessment, 2003. Ecosystems and human well-being: a framework for assessment.
- MTA (Mesa Técnica del Agua), 2017. Establecimiento de niveles guía de indicadores de estado trófico en cuerpos de agua superficiales. Documento de trabajo interno. 45pp.
- MVOTMA -DINAMA, 2008. Guía de gestión integral de aguas en establecimientos lecheros - diseño, operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento de efluentes. 230 pp.

- MVOTMA-DINAMA, 2011. Evaluación de la calidad del agua del Río Cuareim (período 2006 a 2010). Última consulta 18/08/2021 <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/politicas-y-gestion/calidad-ambiental>
- MVOTMA-DINAMA, 2013. Plan de monitoreo del río Cuareim Informe de datos de calidad de agua superficial (período 2008 - 2012). Última consulta 18/08/2021 <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/politicas-y-gestion/calidad-ambiental>
- MVOTMA-DINAMA, 2017 a. Guía de buenas prácticas ambientales y sanitarias de establecimientos de engorde de bovinos a corral. 57 pp.
- MVOTMA-DINAMA, 2017 b. Monitoreo Río Cuareim Informe de datos de calidad de agua superficial. Última consulta 01/09/2021 <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/comunicacion/publicaciones/monitoreo-calidad-del-agua-rio-cuareim-informe-datos-calidad-agua>
- Newbold, J., Mulholland, P., Elwood, J., y O'Neill, R. 1982. Organic carbon spiralling in stream ecosystems. *Oikos*, 38(3), 266-272.
- OMS (Organización Mundial de la Salud), 2017. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva.
- Pelaez, V., da Silva, L. R., y Araujo, E. B. 2013. Regulation of pesticides: a comparative analysis. *Science and Public Policy*, 40(5), 644-656.
- Perdomo, C. 2013. Metodología de estimación de aportes difusos de nitrógeno y fósforo a aguas superficiales desde suelos bajo uso agropecuario. Documento interno.
- Projeto MapBiomias – Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Adquirido en Mayo 2021 <https://mapbiomas.org/>
- Proyecto MapBiomias Pampa Sudamericano – Colección 1 de la Serie Anual de Mapas de Cobertura y Uso del Suelo del Pampa Sudamericano. Adquirido en Mayo 2021 <https://pampa.mapbiomas.org/>
- Proyecto REDD+ Uruguay. 2019. Análisis de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) en Bosques Nativos del Uruguay, en base a parcelas del Inventario Forestal Nacional (IFN). García de Souza, M. L.; Justo, C.; Miguel, C. y Martino, D. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca - Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. Montevideo.
- Proyecto REDD+ Uruguay. 2020. Monitoreo de especies exóticas invasoras del bosque nativo de Uruguay mediante sensoramiento remoto. Olivera, J.M.; Riaño, M.E.; Etchebarne, V.; García de Souza, M.L.; Justo, C. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. Montevideo.
- Silveira, L., Chreties, C., Crisci, M., Usera, G., & Alonso, J. 2015. Sistema de alerta temprana para previsión de avenidas en la ciudad de Durazno. *Innotec*, 10: 56-63. https://catalogo.latu.org.uy/opac_css/doc_num.php?explnum_id=2066
- SINAE, Sistema Nacional de Emergencias 2019 a. Información general. Inundaciones. <https://www.gub.uy/sistema-nacional-emergencias/politicas-gestion/inundaciones>
- SINAE, Sistema Nacional de Emergencias, (2019 b). Informe sobre las inundaciones enero. <https://www.gub.uy/sistema-nacional-emergencias/sites/sistema-nacional-emergencias/files/documentos/publicaciones/Informe%20Inundaciones%20Enero%202019%20-%20Sinae.pdf>
- SNAP (Sistema Nacional de Áreas Protegidas) s/f. Última consulta 4/12/202 http://www.snap.gub.uy/sisnap/web/mapa_conceptual/snap
- Soutullo A y Barthesaghi L. 2009. Propuesta de diseño de un Sistema Nacional de Áreas Protegidas representativo y eficiente: prioridades territoriales y temporales para La creación de áreas protegidas. Serie Documentos de trabajo N°20. Proyecto “Fortalecimiento del proceso de implementación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Uruguay” (URU 06/G34) - DINAMA/MVOTMA/PNUD/GEF.
- Soutullo A., Barthesaghi L., Achkar M., Blum A., Brazeiro A., Ceroni M., Gutiérrez O., Panario D. y Rodríguez-Gallego L. 2012. Evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos de Uruguay. Informe Técnico. Convenio MGAP/PPR – CIEDUR/ Facultad de Ciencias/Vida Silvestre Uruguay/Sociedad Zoológica del Uruguay. 20p.
- Soutullo, A., Barthesaghi, L.; Ríos, M.; Szephegyi, M.N.; Di Minin, E. 2014. Prioridades espaciales para la expansión y consolidación del SNAP en el período 2015-2020. Documento elaborado en el marco del proyecto “Fortalecimiento del Proceso de Implementación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Uruguay” MVOTMA/DINAMA - PNUD/GEF (Proyecto URU/06/G34). 27 pp.
- Témez J.R. 1977. Modelo matemático de transferencia precipitación aportación. ASINEL.

Ekstrand, S; Mancinelli, C; Houghton-Carr, H; Govers, G; Debels, P; Camaño, B; Alcoz, S; Filiberto, I; Gámez, S; Duque (2009). Final Report Twinlatin - Twinning European and Latin-American River Basins for Research Enabling Sustainable Water Resources Management. Último acceso 27/12/2021 <https://www.ivl.se/download/18.4b1c947d15125e72dda23e0/1450175269628/C141.pdf>

Wetzel, R. G. 2001. Limnology. Lake and River Ecosystems. Elsevier Academic Press. Third Edition, 1006pp.

Zuur A., Ieno E. y Smith G. 2007. Analysing Ecological Data. Springer, New York.

Zuur A., Ieno E. y Elphick C. 2010. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution*, 1: 3-4.

ANEXO I. DETALLE DE COBERTURA DE SUELOS

Tabla AI.I: Especificaciones de la clasificación de cobertura de suelo utilizada en el presente trabajo.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Descripción
1. Formación forestal	1.1. Formación Forestal Natural	1.1.1. Formación Forestal Cerrada	Vegetación natural con dosel continuo de leñosas arbóreas o arbustivas, con copas que se tocan o ligeramente separadas, con cobertura aproximada igual o mayor al 65%.
		1.1.2. Formación Forestal Abierta	Vegetación natural formada por especies leñosas arbóreas o arbustivas, con una cobertura aproximada igual o superior al 20% y menor al 65%. Incluye al bosque esclerófito abierto (<i>Caldenal</i>). En Brasil y Uruguay esta clase no fue discriminada, siendo que la vegetación leñosa abierta de baja cobertura fue mapeada junto con pastizal y la de mayor cobertura junto con formación forestal cerrada.
	1.2 Plantación Forestal		Cultivos de plantas leñosas con fines comerciales. En general especies exóticas.
2. Formación natural no forestal	2.1. Zona Pantanosa y Pastizal Inundable		Áreas con cobertura vegetal herbácea nativa influenciada significativamente por el agua. Presentan inundación en forma permanente o temporaria. Incluye bañados, esteros y orillas de lagunas. Vegetación típicamente higrófila, con herbáceas acuáticas y palustres, que ocupan planicies y depresiones que permanecen inundadas por largos períodos, y también las orillas de los cuerpos de agua.
	2.2. Pastizal		Vegetación herbácea natural o semi natural (i.e. que no necesita de la intervención humana para mantenerse por largo tiempo). En general presenta una mezcla de gramíneas, dicotiledóneas herbáceas o subarbustivas y ocasionalmente leñosas. Presenta dominancia de especies nativas sobre exóticas implantadas o naturalizadas. La fisonomía de los pastizales y su composición botánica es influenciada por los gradientes edáfico-topográficos y el posible uso pastoril. Ocurren en suelos profundos o someros, hasta muy llanos y rocosos (pastizales rocosos). Están sobre suelos bien drenados hasta mal drenados (pastizales húmedos, con notable presencia de Ciperáceas), incluso en la arena (pastizales psamófitos) y bajo influencia salina (pastizales halófitos). En general se utilizan para la producción ganadera.
3. Área Agropecuaria			Incluye áreas de pasturas y de agricultura. Las pasturas corresponden a la vegetación herbácea cultivada con una o más especies forrajeras perennes, en general de gramíneas y leguminosas exóticas. Requiere de intervención humana para permanecer como tal en el tiempo. La agricultura corresponde a las áreas ocupadas con cultivos anuales, o sea que hayan sido plantadas o cosechadas durante el año de referencia. Incluye las áreas de cultivos extensivos, verdeos anuales, de horticultura y con período de descanso entre siembras (barbecho).
4. Área No Vegetada			Áreas con cobertura vegetal aproximada menor al 5 %. Clase mixta que incluye playas y dunas (cordones arenosos de color blanco brillante, en donde no hay predominio de

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Descripción
			vegetación de ningún tipo), infraestructura urbana y rural (con predominio de superficies no vegetadas como construcciones y asfalto, excluyendo situaciones de vegetación en asentamientos como arbolado o pastos), áreas de minería (como canteras, minería a cielo abierto, sin presencia de agua) y afloramientos rocosos (roca naturalmente expuesta en la superficie sin cobertura vegetal).
5. Cuerpo de Água	5.1. Río, Lago y Océano		Áreas con presencia de agua en superficie de forma permanente. Incluye arroyos, ríos, océano, lagunas, lagos naturales y artificiales.
6. No Observado			Áreas bloqueadas por nubes o ruido atmosférico, o sin observación.

Adaptada de <https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/pampa/coverage/classes-description/classes-description-es.pdf>

ANEXO II. ESPECIFICACIONES DEL PLAN DE MONITOREO

Tabla AII.I Localización geográfica y descripción de las estaciones de monitoreo en la cuenca del río Cuareim de DSCA-MA.

Cauce	Estación	Latitud	Longitud	Descripción
Río Cuareim	RC10	-30.694941	-56.150588	A aproximadamente 70 km aguas arriba de Artigas (Rincón de Pacheco).
	RC20	-30.503327	-56.367441	A aproximadamente 10 km (aguas arriba de la ciudad de Artigas (Piedra pintada).
	RC35	-30.395397	-56.455783	En la ciudad de Artigas a 400 m del puente fronterizo.
	RC40	-30.357963	-56.547252	A 8 Km aguas abajo de la ciudad de Artigas.
	RC50	-30.151363	-56.784697	A aproximadamente 60Km aguas abajo de la ciudad de Artigas.
	RC60 ⁽¹⁾	-30.279030	-57.415780	Establecimiento Pay Paso aguas abajo de la ciudad de Artigas
Aº Tres Cruces	RC3C70	-30.335783	-57.046419	Arroyo Tres Cruces (tributario), a aproximadamente 12 Km de la ruta 30 y 9 Km de la localidad Bernabé Rivera.
Aº Yucutujá	RCYU80	-30.347013	-57.328938	Arroyo Yucutujá (tributario), por camino a Paso de la Cruz.

⁽¹⁾ Dado de baja en 2017

Tabla AII.II Listado de fechas de monitoreo por estación, las celdas grises corresponden a monitoreo realizado y las celdas blancas a monitoreo ausente.

Año	Campaña	Estación de monitoreo							
		RC10	RC20	RC40	RC50	RC60	RC35	RC3C70	RCYU80
2014	2014-01								
	2014-03								
	2014-05								
	2014-06								
	2014-09								
	2014-11								
2015	2015-01								
	2015-05								
	2015-07								
	2015-09								
	2015-11								
2016	2016-01								
	2016-04								
	2016-05								

Año	Campaña	Estación de monitoreo							
		RC10	RC20	RC40	RC50	RC60	RC35	RC3C70	RCYU80
	2016-07								
	2016-09								
	2016-11								
2017	2017-01								
	2017-03								
	2017-08								
	2017-10								
	2017-12								
2018	2018-02								
	2018-04								
	2018-05								
	2018-07								
	2018-08								
	2018-12								
2019	2019-02								
	2019-05								
	2019-07								
	2019-11								
2020	2020-01								
	2020-07								
	2020-10								

Tabla 0.1 número de monitoreos realizados por estación por año. A mitad de 2017 se discontinuó la estación RC60. Detalle de las fechas en Anexo I.

Año/Estación	RC10	RC20	RC35	RC40	RC50	RC3C70	RCYU80	RC60
2014	6	5	5	6	6	4	4	5
2015	4	4	5	5	5	5	4	4
2016	6	6	6	6	5	5	5	3
2017	4	4	5	5	5	5	4	2
2018	5	4	5	5	5	5	5	-
2019	4	3	3	3	3	3	4	-
2020	3	3	3	3	3	3	3	-

ANEXO III. ESPECIFICACIONES DE LOS PARÁMETROS HIDROCLIMÁTICOS

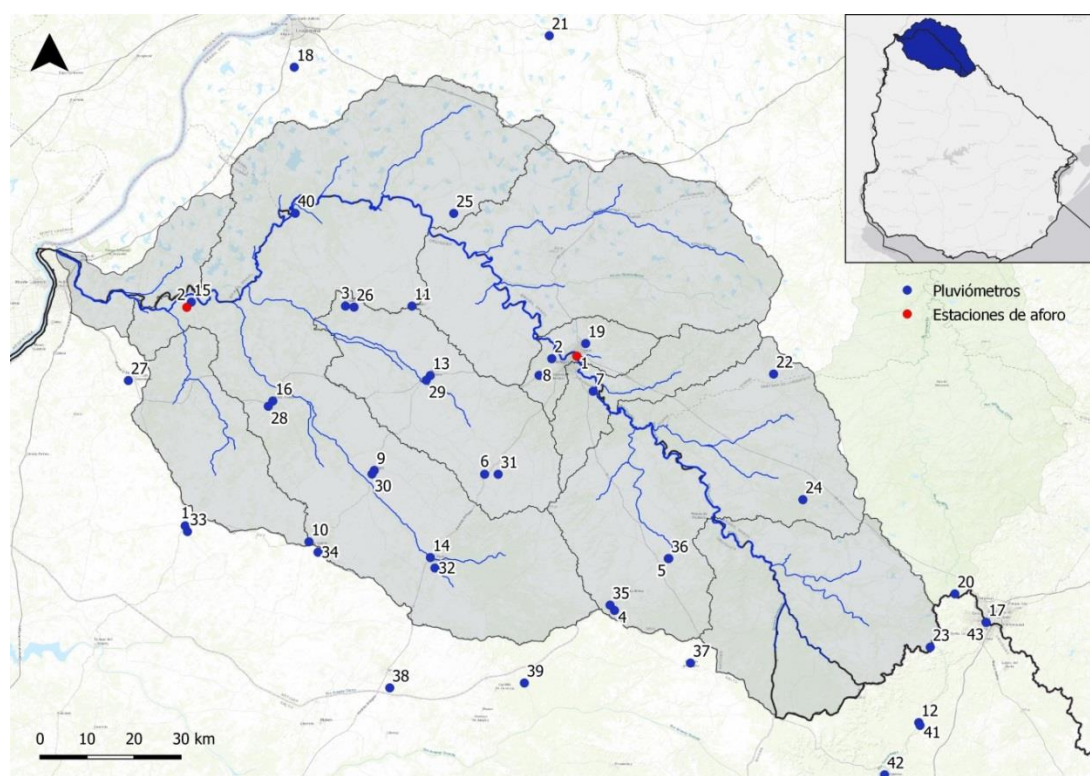


Figura AIII.1. Localización de pluviómetros y estaciones de aforo utilizados en el informe. Los aforos, en color rojo, el 1 corresponde al de la ciudad de Artigas y el 2 al de Paso de la Cruz.

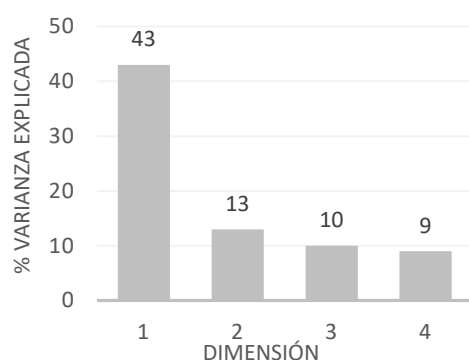
Tabla 2. Numeración utilizada para identificar las estaciones pluviométricas/hidrológicas en el presente trabajo y su correspondencia con la denominación original de DINAGUA (aforos) e INUMET (pluviómetros).

Nº	Denominación	Institución	latitud	longitud	Tipo	Resolución
Estaciones de precipitación, regla y caudal						
1	Artigas	CTM Salto Grande	-30.3928	-56.4567	Automática	15 min
2	Paso de la Cruz	CTM Salto Grande	-30.3	-57.32	Automática	15 min
Estaciones de precipitación						
1	Baltasar Brum	INUMET	-30.719	-57.325	Convencional	Diaria
2	Artigas	INUMET	-30.398	-56.512	Convencional	Diaria
3	Bernabe Rivera	INUMET	-30.298	-56.969	Convencional	Diaria
4	Catalán Chico	INUMET	-30.88	-56.37	Convencional	Diaria
5	Catalán Grande	INUMET	-30.78	-56.251	Convencional	Diaria
6	Cerro Amarillo	INUMET	-30.62	-56.66	Convencional	Diaria
7	Pintado Grande	INUMET	-30.46	-56.42	Convencional	Diaria
8	Colonia Rivera	INUMET	-30.43	-56.54	Convencional	Diaria
9	Cuaró	INUMET	-30.613	-56.905	Convencional	Diaria
10	Diego Lamas	INUMET	-30.75	-57.05	Convencional	Diaria
11	El Topador	INUMET	-30.298	-56.822	Convencional	Diaria
12	Estación Ataques	INUMET	-31.09	-55.69	Convencional	Diaria

Nº	Denominación	Institución	latitud	longitud	Tipo	Resolución
13	Javier de Viana	INUMET	-30.431	-56.781	Convencional	Diaria
14	Paso Campamento	INUMET	-30.78	-56.78	Convencional	Diaria
15	Paso de la Cruz (Arg)	INUMET	-30.29	-57.31	Convencional	Diaria
16	Paso Farías	INUMET	-30.48	-57.13	Convencional	Diaria
17	Rivera	INUMET	-30.896	-55.543	Convencional	Diaria
18	RS Uruguaiana	INMET	-29.839	-57.081	Automática	Horaria
19	RS Quarai	INMET	-30.368	-56.437	Automática	Horaria
20	RS Santana do Livramento	INMET	-30.842	-55.613	Automática	Horaria
21	Cerro do Coqueiro	ANA	-29.778	-56.520	Online	15 min
22	Estância Caty	ANA	-30.424	-56.020	Online	15 min
23	Estância Santa Hilma	ANA	-30.945	-55.666	Online	15 min
24	Estância Sarandi	ANA	-30.665	-55.953	Online	15 min
25	Paso del Remanso	CTM Salto Grande	-30.12	-56.730	Automática	15 min
26	Bernabé Rivera	CTM Salto Grande	-30.3	-56.950	Automática	15 min
27	Tomás Gomensoro	CTM Salto Grande	-30.44	-57.450	Automática	15 min
28	Paso Farías	CTM Salto Grande	-30.49	-57.140	Automática	15 min
29	Javier de Viana	CTM Salto Grande	-30.44	-56.790	Automática	15 min
30	Cuaró	CTM Salto Grande	-30.62	-56.910	Automática	15 min
31	Cerro amarillo	CTM Salto Grande	-30.62	-56.63	Automática	15 min
32	Paso campamento	CTM Salto Grande	-30.8	-56.77	Automática	15 min
33	Baltasar Brum	CTM Salto Grande	-30.73	-57.32	Automática	15 min
34	Diego lamas	CTM Salto Grande	-30.77	-57.03	Automática	15 min
35	Meneses	CTM Salto Grande	-30.87	-56.38	Automática	15 min
36	Catalán	CTM Salto Grande	-30.78	-56.25	Automática	15 min
37	Sarandí de Arapey	CTM Salto Grande	-30.98	-56.2	Automática	15 min
38	Sequeira	CTM Salto Grande	-31.03	-56.87	Automática	15 min
39	Guaviyú de Arapey	CTM Salto Grande	-31.02	-56.57	Automática	15 min
40	Paso del León	CTM Salto Grande	-30.12	-57.08	Automática	15 min
41	Est. Ataques	UTE	-31.095	-55.687	Convencional	Diaria
42	Tranqueras	UTE	-31.190	-55.764	Convencional	Diaria
43	E.M. Rivera	UTE	-30.896	-55.542	Convencional	Diaria

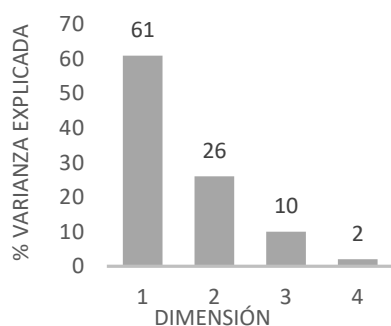
ANEXO IV. ESTADÍSTICOS ACPS

Resultados del ACP del río Cuareim (Figura 5.12) eigenvalue (figura) y aporte de cada variable a las dos dimensiones principales (tabla)



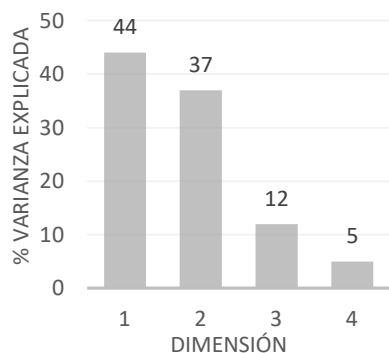
Variable	Dim.1		Dim.2	
	aporte	cos ²	aporte	cos ²
PT	0,001	0,000	0,280	0,078
Turb	-0,128	0,016	0,450	0,202
SST	-0,029	0,001	0,726	0,528
NT	0,084	0,007	0,410	0,168
lluvia_5d	0,173	0,030	0,478	0,229
Q	0,586	0,343	0,497	0,247
NT_EGC	0,737	0,544	0,334	0,112
PT_EGC	0,737	0,544	0,333	0,111
PT_difuso	0,931	0,866	0,188	0,035
NT_difuso	0,932	0,870	0,167	0,028

Resultados del ACP del río Cuareim en 2020 (Figura 5.13) eigenvalue (figura) y aporte de cada variable a las dos dimensiones principales (tabla)



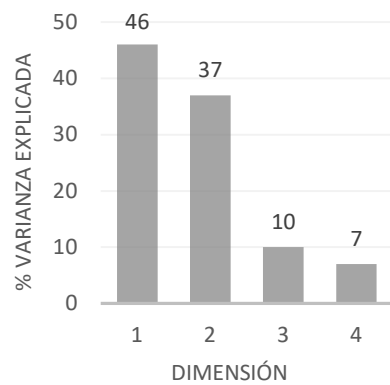
Variable	Dim.1		Dim.2	
	aporte	cos ²	aporte	cos ²
OD	-0.625	0.39	0.777	0.603
Turb	0.215	0.046	0.959	0.92
lluvia_5d	0.883	0.78	0.38	0.144
PT_difuso	0.79	0.624	0.325	0.106
PT	0.717	0.514	0.186	0.034
Cond	0.96	0.922	0.189	0.036
PT_dom	0.933	0.871	-0.294	0.086
NID	0.876	0.767	-0.404	0.163

Resultados del ACP del Aº Tres Cruces (Figura 5.14) eigenvalue (figura) y aporte de cada variable a las dos dimensiones principales (tabla)



Variable	Dim.1		Dim.2	
	aporte	cos ²	aporte	cos ²
PT	0,802	0,644	0,458	0,21
NT	-0,053	0,003	0,723	0,523
SST	0,874	0,764	-0,373	0,139
NID	0,159	0,025	0,899	0,808
OD	-0,772	0,596	0,386	0,149
pH	0,083	0,007	-0,91	0,828
NT_tambos	0,571	0,327	0,744	0,553
lluvia_5d	0,902	0,814	0,113	0,013
Q_m3s	0,864	0,747	-0,348	0,121

Resultados del ACP del Aº Yucugujá (Figura 5.15) eigenvalue (figura) y aporte de cada variable a las dos dimensiones principales (tabla)



Variable	Dim.1		Dim.2	
	aporte	cos ²	aporte	cos ²
lluvia_5d	-0,649	0,421	0,743	0,552
Turb	0,510	0,260	0,820	0,672
Cond	0,405	0,164	-0,853	0,728
PT_difuso	0,710	0,504	0,113	0,013
PT	0,942	0,887	0,236	0,056
NT	0,771	0,594	0,537	0,288
Q	-0,615	0,378	0,500	0,250

ANEXO V. DETALLE ODS 6.3.2

El cálculo del ODS 6.3.2 se realizó a partir de valores objetivos definidos por DCA-MA para cada parámetro, en base a: los estándares del Decreto 253/79, los valores guía propuestos por la Mesa Técnica del Agua y valores de referencia basados en las concentraciones observadas en los monitoreos de DINACEA (percentiles 20-80). Luego se clasifica a un cuerpo de agua (siguiendo el protocolo estipulado⁴) como de “buena calidad de agua ambiental” cuando al menos el 80% de los valores observados en los monitoreos cumplen con los valores objetivo.

Tabla VIII.1 Porcentaje de valores que cumplen con los valores objetivo en cada estación de monitoreo.

Estación	2017-2020	2014-2016
RC10	93,67	96,20
RC20	95,95	100,00
RC35	92,86	97,65
RC40	92,41	97,65
RC50	93,67	98,82
RC60	100,00	97,14
RC3C70	89,74	90,67
RCYU80	80,72	92,75
RCYU80	80,72	92,75

⁴ Metodología 632. Una introducción al indicador 6.3.2 de los ODS. Versión 20200211. Una introducción al indicador 6.3.2 de los ODS: proporción de masas de agua de buena calidad. Último acceso 26/11/2021 https://communities.unep.org/download/attachments/32407814/SDG_632_Introduction%20to%20the%20Methodology_SP%20%282%29.pdf?version=1&modificationDate=1589291946983&api=v2