

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO NEGRO



Período 2018-2022

Evaluación de la calidad de agua en la
Cuenca del Río Negro
Período 2018-2022

Ministerio de Ambiente
División Calidad Ambiental
Departamento de Evaluación Ambiental Integrada
Octubre 2023

Ministerio de Ambiente

Robert Bouvier

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

Equipo de Monitoreo (DSCA)

Biol. Mario Acosta, Gerardo Balero, Alejandro Cendón, Oc. PhD. Guillermo Cervetto, Biol. Mag. Natalie Corrales, Bach. Fernanda Eugui, Biol. Carolina Ferrer, Bach. Lucía Gómez, Biol. Facundo Lepillanca, Téc. Agrop. Javier Martínez, Lic. Belén Ocampo, Biol. Martín Pacheco, Jorge Rodríguez y Gabriel Yorda.

Equipo de redacción (DEAI)

Bioq. Mag. Amelia Fabre*, Biol. Mercedes Gelós*, Ing. Mag. Pablo Kok, Biol. Mag. Federico Quintans*, Lic. Cs. As. Mag. Verónica Sykora* y Lizet De León. (*Consultores).

Como citar este documento:

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

Este documento se terminó de elaborar y revisar en Octubre de 2023

DINACEA, Juncal 1385 Montevideo, CP 11100, Uruguay

Teléfono: (+598) 2917 33 80

Número de páginas: 134

ISBN 978-9915-9481-7-1

Imagen en portada: Paso Mazangano, Río Negro. Créditos: Guillermo Cervetto (DSCA)

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE TABLAS	11
SIGLAS Y ACRÓNIMOS	12
RESUMEN	13
1. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Objetivos generales y específicos	16
2. ÁREA DE ESTUDIO	16
2.1. Cuenca del Río Negro	16
2.2. Hidrología	18
2.3. Aspectos geográficos	19
2.4. Ecosistemas	19
2.5. Actividades en la cuenca	21
3. Fuentes y tratamiento de la información	23
3.1. Programas de monitoreo de calidad de agua	23
3.2. Parámetros analizados en agua	25
3.3. Sedimentos	28
3.4. Parámetros hidrológicos	28
3.5. Modelación de cargas de nutrientes	30
3.6. Estimación de clorofila en superficie de embalses	32
4. Resultados	32
4.1. Calidad del agua en los diferentes sectores de la cuenca	32
4.2. Curso del Río Negro y los embalses	35
4.2.1. Monitoreo de medición continua	35
4.2.2. Parámetros fisicoquímicos	40
4.2.3. Parámetros biológicos	60
4.2.4. Metales y compuestos orgánicos contaminantes	64
4.2.5. Cargas de nutrientes aportados desde la cuenca	65
4.2.6. Sedimentos	70
4.3. Río Tacuarembó	75
4.3.1. Parámetros fisicoquímicos	75
4.3.2. Parámetros biológicos	89
4.3.3. Metales y compuestos orgánicos contaminantes	90
4.3.4. Cargas de nutrientes aportados desde la cuenca	91
4.4. Río Yí	93
4.4.1. Parámetros fisicoquímicos	93
4.4.2. Parámetros biológicos	104

4.4.3.	Metales y compuestos orgánicos contaminantes	105
4.4.4.	Cargas de nutrientes aportados desde la cuenca	106
4.5.	Arroyos Grande del Sur y Grande del Norte	108
4.5.1.	Parámetros fisicoquímicos	108
4.5.2.	Parámetros biológicos	109
4.5.3.	Metales y compuestos orgánicos contaminantes	110
4.5.4.	Cargas de nutrientes aportados desde la cuenca	110
5.	DISCUSIÓN	113
5.1.	Calidad de agua en el Río Negro y los embalses	113
5.2.	Calidad de agua en la cuenca del río Tacuarembó	115
5.3.	Calidad de agua en el río Yí	116
5.4.	Calidad de agua en los arroyos Grande del Norte y del Sur	117
5.5.	Aportes de cargas desde las diferentes subcuencas	117
5.6.	Metales y compuestos orgánicos en la cuenca del Río Negro	118
6.	CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	120
7.	BIBLIOGRAFÍA	121
	Anexo I. Sustancias de uso agrícola determinadas en agua	124
	ANEXO II: Parámetros determinados en sedimentos.	126
	ANEXO III. Índices de calidad de aguas y de estado trófico	129
	ANEXO IV. Especificaciones de los parámetros hidroclimáticos	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuenca hidrográfica del Río Negro.	17
Figura 2. Mapa de la cuenca del Río Negro, destacando los diferentes tramos y subcuencas correspondientes a los mismos. Se destacan asimismo las cuencas de los tributarios que son monitoreados: ríos Tacuarembó y Yí y arroyos Grande del Norte y del Sur.	18
Figura 3. Mapa de ecorregiones del Uruguay, a partir de Brazeiro et al. (2012). En la cuenca del Río Negro destacan: la cuenca sedimentaria gondwánica (4), la cuesta basáltica (3), el escudo cristalino (2) y la cuenca sedimentaria del oeste (1).	20
Figura 4. Principales usos del suelo en la cuenca del Río Negro (División Información, MA 2022).	22
Figura 5 Mapa de la cuenca del Río Negro, indicando la ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad de agua, y las automáticas, de la DCA.	24
Figura 6 Índice de Calidad de Agua (Índice de Qualidade das Aguas, CETESB) calculado para cada estación de monitoreo de la cuenca del Río Negro.	33
Figura 7 Distribución de valores para parámetros seleccionados para los puntos ubicados en el Río Negro (RN), en la subcuenca del Río Tacuarembó (Tacua), Río Yí (Yi), Arroyo Grande del Sur (AGdS) y Arroyo Grande del Norte (AGdN).	34
Figura 8 Cuenca del Río Negro con detalle de los puntos de muestreo a lo largo del Río Negro y los embalses. Se indican los principales usos del suelo en la cuenca así como las fuentes puntuales controladas (tambos, feed-lots, industrias y PTAR).	35
Figura 9 Variación estacional de los datos válidos de temperatura (°C) entre julio 2021 y setiembre 2022, en las estaciones de monitoreo automático del PGMA ubicadas en Rincón del Bonete (n=20794) y Baygorria (n=21261).	36
Figura 10 Variación estacional de los datos válidos de oxígeno disuelto (mg/L) entre julio 2021 y setiembre 2022, en las estaciones de monitoreo automático del PGMA ubicadas en Rincón del Bonete (n=18326) y Baygorria (n=20953). Las líneas entrecortadas indican el mínimo y máximos establecidos para las aguas Clase 3 en el Decreto 253/79.	37
Figura 11 Variación estacional de los datos válidos de pH entre julio 2021 y setiembre 2022, en las estaciones de monitoreo automático del PGMA ubicadas en Rincón del Bonete (n=18239) y Baygorria (n=20952). Las líneas entrecortadas indican el mínimo y máximos establecidos para las aguas Clase 3 en el Decreto 253/79.	38
Figura 12 Variación estacional de los datos válidos de conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) entre julio 2021 y setiembre 2022, en las estaciones de monitoreo automático del PGMA ubicadas en Rincón del Bonete (n=20976) y Baygorria (n=20954).	39
Figura 13 Variación estacional de los datos válidos de turbidez (NTU) entre julio 2021 y setiembre 2022, en las estaciones de monitoreo automático del PGMA ubicadas en Rincón del Bonete (n=16443) y Baygorria (n=19512). Las líneas entrecortadas indican el mínimo y máximos establecidos para las aguas Clase 3 en el Decreto 253/79.	40
Figura 14 Registro de temperatura en el agua según las estaciones del año en el Río Negro.	41
Figura 15 Variación espacial del pH a lo largo del Río Negro. Las áreas grises dentro del tramo medio indican las estaciones ubicadas en embalses. Las líneas entrecortadas indican el mínimo y máximos establecidos para las aguas Clase 3 en el Decreto 253/79.	42
Figura 16. Variación temporal del pH a lo largo del Río Negro. T. alto= tramo alto, T. medio= tramo medio, T. bajo= tramo bajo. RdB= embalse Rincón del Bonete, Bay= embalse Baygorria.	43
Figura 17. Variación espacial de la conductividad a lo largo del Río Negro. Las áreas grises dentro del tramo medio indican las estaciones ubicadas en embalses.	44
Figura 18. Variación temporal de la conductividad a lo largo del Río Negro. T. alto= tramo alto, T. medio= tramo medio, T. bajo= tramo bajo. RdB= embalse Rincón del Bonete, Bay= embalse Baygorria.	45
Figura 19. Variación espacial de la concentración de oxígeno en el agua a lo largo del Río Negro. Las áreas grises dentro del tramo medio indican las estaciones ubicadas en embalses. La línea entrecortada indica el mínimo establecido para las aguas naturales en el Decreto 253/79.	46

Figura 20 Variación temporal de la concentración de oxígeno en el agua lo largo del Río Negro. T. alto= tramo alto, T. medio= tramo medio, T. bajo= tramo bajo. RdB= embalse Rincón del Bonete, Bay= embalse Baygorria.....	47
Figura 21 Variación espacial de la concentración de sólidos suspendidos totales en el agua a lo largo del Río Negro. Las áreas grises dentro del tramo medio indican las estaciones ubicadas en embalses.	48
Figura 22 Variación temporal de la concentración de sólidos suspendidos totales en el agua lo largo del Río Negro. T. alto= tramo alto, T. medio= tramo medio, T. bajo= tramo bajo. RdB= embalse Rincón del Bonete, Bay= embalse Baygorria.....	49
Figura 23 Variación espacial de la concentración de nitrógeno total en el agua a lo largo del Río Negro. Las áreas grises dentro del tramo medio indican las estaciones ubicadas en embalses. La línea verde entrecortada indica el máximo establecido en la propuesta.	50
Figura 24 Variación temporal de la concentración de nitrógeno total en el agua lo largo del Río Negro. T. alto= tramo alto, T. medio= tramo medio, T. bajo= tramo bajo. RdB= embalse Rincón del Bonete, Bay= embalse Baygorria.	51
Figura 25 Variación espacial de la concentración de nitrato en el agua a lo largo del Río Negro. Las áreas grises dentro del tramo medio indican las estaciones ubicadas en embalses.....	52
Figura 26. Variación temporal de la concentración de nitrato en el agua lo largo del Río Negro. T. alto= tramo alto, T. medio= tramo medio, T. bajo= tramo bajo. RdB= embalse Rincón del Bonete, Bay= embalse Baygorria.....	53
Figura 27. Variación espacial de la concentración de amonio en el agua a lo largo del Río Negro. Las áreas grises dentro del tramo medio indican las estaciones ubicadas en embalses.....	54
Figura 28. Variación temporal de la concentración de amonio en el agua lo largo del Río Negro. T. alto= tramo alto, T. medio= tramo medio, T. bajo= tramo bajo. RdB= embalse Rincón del Bonete, Bay= embalse Baygorria.....	55
Figura 29. Variación espacial de la concentración de fósforo total en el agua a lo largo del Río Negro. Las áreas grises dentro del tramo medio indican las estaciones ubicadas en embalses. La línea entrecortada indica el máximo establecido para las aguas naturales en el Decreto 253/79. .	56
Figura 30. Variación temporal de la concentración de fósforo total en el agua lo largo del Río Negro. T. alto= tramo alto, T. medio= tramo medio, T. bajo= tramo bajo. RdB= embalse Rincón del Bonete, Bay= embalse Baygorria.	57
Figura 31 Variación espacial de la concentración de fosfato en el agua a lo largo del Río Negro. Las áreas grises dentro del tramo medio indican las estaciones ubicadas en embalses.....	58
Figura 32 Variación temporal de la concentración de fosfato en el agua lo largo del Río Negro. T. alto= tramo alto, T. medio= tramo medio, T. bajo= tramo bajo. RdB= embalse Rincón del Bonete, Bay= embalse Baygorria.....	59
Figura 33 Variación espacial de la concentración de clorofila en el agua a lo largo del Río Negro. Nótese que la escala es logarítmica.....	61
Figura 34 Valores promedio de clorofila entre 2018 y 2022 estimados a partir de las imágenes Sentinel2 tomadas en los meses de verano y otoño durante esos años. Imágenes proporcionadas por la DIA.	63
Figura 35 Carga de aporte de NT promedio por unidad de superficie en período 2017-2021 (kg/ha/año), arriba. Porcentaje de aporte de NT según categoría (%), abajo.....	66
Figura 36. Carga de aporte de NT anual (ton/año) en cuenca alta (primera fila), cuenca media (segunda fila) y cuenca baja (tercera fila), izquierda. Proporción de carga de aporte anual de NT según categorías en cuenca alta (primera fila), cuenca media (segunda fila) y cuenca baja (tercera fila), derecha.	67
Figura 37. Carga de aporte de PT promedio por unidad de superficie en el período 2017-2021 (kg/ha/año), arriba. Porcentaje de aporte de PT promedio en período 2017-2021 según categoría (%), abajo.	68

Figura 38. Carga de aporte de PT anual (ton/año) en cuenca alta (primera fila), cuenca media (segunda fila) y cuenca baja (tercera fila), izquierda. Proporción de carga de aporte anual de PT según categorías en cuenca alta (primera fila), cuenca media (segunda fila) y cuenca baja (tercera fila), derecha.	70
Figura 39. Concentración de nutrientes en el sedimento de la cuenca del Río Negro. Los puntos grises indican el valor cuantificado en cada muestra, mientras que los rombos azules indican la concentración promedio de cada sitio para el quinquenio analizado.....	71
Figura 40 Cuenca del Río Tacuarembó donde se indican los puntos de muestreo en la misma. Se indican los principales usos del suelo en la cuenca así como las fuentes puntuales controladas (industrias y PTAR).	75
Figura 41. Registro de temperatura en el agua según las estaciones del año en el río Tacuarembó.	76
Figura 42 Variación espacial del PH del agua en la cuenca del río Tacuarembó. Las líneas entrecortadas indican el rango establecido para las aguas naturales en el Decreto 253/79. T. Chico = río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá.....	76
Figura 43 Variación temporal del pH del agua en la cuenca del río Tacuarembó (TG). Cu=Cuñapirú, TCh= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá. CA, CU, YCH, TG y YA son las estaciones de muestreo de cada curso de agua.	77
Figura 44 Variación espacial de la conductividad del agua en la cuenca del río Tacuarembó. T. Chico= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá.....	78
Figura 45 Variación temporal de la conductividad del agua en la cuenca del río Tacuarembó (TG). Cu=Cuñapirú, TCh= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá. CA, CU, YCH, TG y YA son las estaciones de muestreo de cada curso de agua.	78
Figura 46 Variación espacial de la concentración de oxígeno disuelto en el agua en la cuenca del río Tacuarembó. La línea entrecortada indica el mínimo establecido para las aguas naturales en el Decreto 253/79. T. Chico= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá. CA, CU, YCH, TG y YA son las estaciones de muestreo de cada curso de agua.	79
Figura 47 Variación temporal de la concentración de oxígeno disuelto en el agua en la cuenca del río Tacuarembó (TG). Cu=Cuñapirú, TCh= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá. CA, CU, YCH, TG y YA son las estaciones de muestreo de cada curso de agua.	80
Figura 48. Variación espacial de la concentración de sólidos suspendidos totales en el agua en la cuenca del río Tacuarembó. T. Chico= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá.	81
Figura 49 Variación temporal de la concentración de sólidos suspendidos totales en el agua en la cuenca del río Tacuarembó (TG). Cu=Cuñapirú, TCh= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá. CA, CU, YCH, TG y YA son las estaciones de muestreo de cada curso de agua.	81
Figura 50. Variación espacial de la concentración de nitrógeno total en el agua de la cuenca del río Tacuarembó. La línea entrecortada indica el máximo establecido en la propuesta de GESTA. T. Chico= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá.....	82
Figura 51 Variación temporal de la concentración de nitrógeno total en el agua en la cuenca del río Tacuarembó (TG). Cu=Cuñapirú, TCh= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá. CA, CU, YCH, TG y YA son las estaciones de muestreo de cada curso de agua.	83
Figura 52. Variación espacial de la concentración de nitrato en el agua en la cuenca del río Tacuarembó. T. Chico= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá.....	84
Figura 53. Variación temporal de la concentración de nitrato en el agua en la cuenca del río Tacuarembó (TG).Cu=Cuñapirú, TCh= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá. CA, CU, YCH, TG y YA son las estaciones de muestreo de cada curso de agua.	84
Figura 54 Variación espacial de la concentración de amonio en el agua en la cuenca del río Tacuarembó. T. Chico= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá.....	85
Figura 55 Variación temporal de la concentración de amonio en el agua en la cuenca del río Tacuarembó (TG). Cu=Cuñapirú, TCh= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá. CA, CU, YCH, TG y YA son las estaciones de muestreo de cada curso de agua.	86

Figura 56 Variación espacial de la concentración de fósforo total en el agua en la cuenca del río Tacuarembó. La línea entrecortada indica el máximo establecido para las aguas naturales en el Decreto 253/79. T. Chico= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá.	87
Figura 57 Variación temporal de la concentración de fósforo total en el agua en la cuenca del río Tacuarembó (TG).Cu=Cuñapirú, TCh= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá. CA, CU, YCH, TG y YA son las estaciones de muestreo de cada curso de agua.	87
Figura 58. Variación espacial de la concentración de fosfato en el agua en la cuenca del río Tacuarembó. Las líneas entrecortadas indican el rango establecido en la normativa vigente T. Chico= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá.....	88
Figura 59. Variación temporal de la concentración de fosfato en el agua en la cuenca del río Tacuarembó (TG). Cu=Cuñapirú, TCh= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá. CA, CU, YCH, TG y YA son las estaciones de muestreo de cada curso de agua.	88
Figura 60 Variación espacial de la concentración de coliformes termotolerantes en el agua en la cuenca del río Tacuarembó. T. Chico= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá.	89
Figura 61. Variación espacial de la concentración de clorofila en el agua en la cuenca del río Tacuarembó. T. Chico= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá.....	90
Figura 62 Carga de aporte de NT anual (ton/año) en cuenca del Río Tacuarembó, izquierda. Proporción de carga de aporte anual de NT según categorías en cuenca del Río Tacuarembó, derecha.	91
Figura 63. Carga de aporte de PT anual (ton/año) en cuenca del Río Tacuarembó, izquierda. Proporción de carga de aporte anual de PT según categorías en cuenca del Río Tacuarembó, derecha.	92
Figura 64 Cuenca del Río Yí donde se indican los principales usos del suelo en la cuenca así como las fuentes puntuales controladas (tambos, feed-lots, industrias y PTAR).	93
Figura 65 Registro de temperatura en el agua según las estaciones del año en el río Yí.....	94
Figura 66 Variación espacial del pH del agua en el río Yí. Las líneas entrecortadas indican el rango establecido para las aguas naturales en el Decreto 253/79.	94
Figura 67 Variación temporal del pH del agua el río Yí.....	95
Figura 68 Variación espacial de la conductividad del agua en el río Yí.	95
Figura 69 Variación temporal de la conductividad del agua el río Yí.....	96
Figura 70. Variación espacial de la concentración de oxígeno disuelto en el agua del el río Yí. La línea entrecortada el mínimo establecido para las aguas naturales en el Decreto 253/79.	97
Figura 71. Variación temporal de la concentración de oxígeno disuelto en el agua del el río Yí.	97
Figura 72. Variación espacial de la concentración de sólidos suspendidos totales en el agua del el río Yí.	97
Figura 73 Variación temporal de la concentración de sólidos suspendidos totales en el agua del el río Yí.	98
Figura 74. Variación espacial de la concentración de nitrógeno total en el agua del el río Yí. La línea verde indica el máximo establecido en la norma de GESTA.	99
Figura 75 Variación temporal de la concentración de nitrógeno total en el agua del el río Yí.	99
Figura 76 Variación espacial de la concentración de nitrato en el agua del el río Yí.	100
Figura 77 Variación temporal de la concentración de nitrato en el agua del el río Yí.....	100
Figura 78 Variación espacial de la concentración de amonio en el agua del el río Yí.	101
Figura 79. Variación temporal de la concentración de amonio en el agua del el río Yí.	101
Figura 80. Variación temporal de la concentración de fósforo total en el agua del el río Yí. La línea entrecortada indica el máximo establecido para las aguas naturales en el Decreto 253/79.	102
Figura 81. Variación temporal de la concentración de fósforo total en el agua del el río Yí.	102
Figura 82. Variación espacial de la concentración de fosfato en el agua del el río Yí.	103
Figura 83. Variación temporal de la concentración de fosfato en el agua del el río Yí.	103
Figura 84. Variación espacial de la concentración de coliformes termotolerantes en el río Yí.	104
Figura 85 Variación temporal de la concentración de coliformes termotolerantes en el río Yí. ...	105

Figura 86 Variación espacial de la concentración de clorofila en el agua del río Yí.	105
Figura 87 Carga de aporte de NT anual (ton/año) en cuenca del Río Yí, izquierda. Proporción de carga de aporte anual de NT según categorías en cuenca del Río Yí, derecha.....	106
Figura 88. Carga de aporte de PT anual (ton/año) en cuenca del Río Yí, izquierda. Proporción de carga de aporte anual de PT según categorías en cuenca del Río Yí, derecha.	107
Figura 89 Cuenca de los A° Grande del Norte y A° Grande del Sur con detalle de los puntos de muestreo.....	108
Figura 90 Valores de concentración de los parámetro físicoquímicos básicos en el agua de los arroyos Grande del norte y del sur. La línea roja entrecortada indica el rango (pH), mínimo (OD) y máximo (PT) establecido para cuerpos de agua Clase 3 en el decreto 253/79 y la verde (NT) el máximo propuesto en el MTA (2017).	109
Figura 91. Carga de aporte de NT anual (ton/año) en cuenca del Arroyo Grande Sur, izquierda. Proporción de carga de aporte anual de NT según categorías en cuenca del Arroyo Grande Sur, derecha.	111
Figura 92. Carga de aporte de NT anual (ton/año) en cuenca del Arroyo Grande Norte, izquierda. Proporción de carga de aporte anual de NT según categorías en cuenca del Arroyo Grande Norte, derecha.	111
Figura 93. Carga de aporte de PT anual (ton/año) en cuenca del Arroyo Grande Sur, izquierda. Proporción de carga de aporte anual de PT según categorías en cuenca del Arroyo Grande Sur, derecha.	112
Figura 94. Carga de aporte de PT anual (ton/año) en cuenca del Arroyo Grande Norte, izquierda. Proporción de carga de aporte anual de PT según categorías en cuenca del Arroyo Grande Norte, derecha.	112
Figura AIV.1. Localización de pluviómetros, estaciones de nivel y de aforo en la cuenca del Río Negro	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de los embalses del Río Negro.....	19
Tabla 2 Coberturas del suelo en hectáreas y porcentaje de área que representaron en la cuenca en 2017 y 2021, junto con la variación de la cobertura durante el período, en hectáreas y en porcentaje de cambio de las principales categorías de cobertura.....	22
Tabla 3 Programas de monitoreo en la cuenca del Río Negro.	24
Tabla 4 Parámetros analizados en agua seleccionados para el presente informe, abreviatura, unidad y normativa vigente (valores del Decreto 253/79) o el valor guía de la Mesa Técnica del Agua (MTA). La ausencia de normativa o valor guía se indica como “-”.....	26
Tabla 5 Usos de suelo utilizados en el modelo SWAT.	30
Tabla 6 Estado trófico de los embalses del Río Negro, según el IET tsr para el promedio de los datos medidos entre 2018 y 2022.	59
Tabla 7 Valores promedio de clorofila a estimados a partir de imágenes satelitales Sentinel2 durante los períodos indicados. Datos proporcionados por la DIA.	62
Tabla 8 Metales pesados detectados en el Río Negro. Número de muestras analizadas (N), porcentaje de eventos en que el compuesto fue detectado, máximo valor cuantificado (Máx) y número de eventos donde se incumple la normativa.	64
Tabla 9 Muestras que incumplieron la normativa.....	65
Tabla 10 Metales pesados en sedimentos del Río Negro.....	72
Tabla 11 Sustancias fenólicas en sedimento. Porcentaje de muestras donde se detectó (% detectados), concentraciones promedio, máxima y mínima en mg/Kg.....	73
Tabla 12. Compuestos halogenados totales (TOX) en sedimento. Porcentaje de muestras donde se detectó (% detectados), concentraciones promedio, máxima y mínima en mg/Kg.....	74
Tabla 13. Metales pesados detectados en la cuenca del río Tacuarembó. Número de muestras analizadas (N), porcentaje de eventos en que el compuesto fue detectado, máximo valor cuantificado (Máx) y número de eventos donde se incumple la normativa.	90
Tabla 14. Productos de uso agrícola analizados durante los monitoreos en el río Tacuarembó. Número de muestras analizadas (N), porcentaje de eventos en que el analito fue detectado y máximo valor cuantificado (Máx).	91
Tabla AI.1. Compuestos de uso agrícola analizados en agua y su valor de referencia establecido en la normativa (Decreto 253/79) o valor guía en GESTA Agua (2014).	
Tabla AII.1. Lista de parámetros analizados en sedimentos	
Tabla AIII.1. Lista de parámetros que emplea el IQA y el peso relativo de cada uno en la ecuación.	
Tabla AIII.2. Escala de valores del IQA y categorías del mismo.	
Tabla AII.3. Niveles del índice de estado trófico (IET)	
Tabla AIV.1. 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).	

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CTM: Comisión Técnica Mixta
DCA: División Calidad Ambiental
DEAI: Departamento de Evaluación Ambiental Integrada
DIA: División Información Ambiental
DICOSE: Dirección de Contralor de Semovientes
DINACEA: Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental
DINAGUA: Dirección Nacional de Aguas
DINAMA: Dirección Nacional de Medio Ambiente
DSCA: Departamento de Seguimiento de Componentes Ambientales
EGC: Establecimientos de ganado confinado
GESTA-Agua: Grupo de estándares ambientales-agua
IET: Índice de estado trófico
INE: Instituto Nacional de Estadística
ISQG: Niveles Guía Interinos para sedimentos de acuerdo al gobierno de Canadá
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
NT: Nitrógeno Total
OAN: Observatorio Ambiental Nacional
OMS: Organización Mundial de la Salud
PEL: Nivel de efectos probables (Probable Effects Level en inglés)
PGMA : Plan General de Monitoreo Ambiental de la planta de celulosa UPM Paso de los Toros
PT: Fósforo Total
RIQ: Rango intercuartílico
SE: Servicios ecosistémicos
SNAP: Sistema Nacional de Áreas Protegidas
SNIG: Sistema Nacional de Información Ganadera
SWAT : Soil and Water Assessment Tool
TEL: Nivel umbral para la observación de efectos
TRH: Tiempo de Retención Hidráulica
WQA-NSF: Water Quality Association - National Sanitation Foundation

RESUMEN

El presente documento resume y analiza la información de los parámetros más relevantes de la calidad del agua del Río Negro comprendidos entre enero de 2018 y agosto 2022 y principales tributarios: río Tacuarembó y afluentes entre febrero de 2018 y marzo de 2022, río Yí y arroyos Grande del Norte y del Sur entre mayo de 2019 y febrero de 2022, proveniente de los programas de monitoreo a cargo del Ministerio de Ambiente. En este programa se analizan 122 parámetros de calidad de agua en el Río Negro y 34 en los restantes cursos, en un total de 36 estaciones de monitoreo, donde además se analizan muestras de sedimentos. Asimismo se incorporó información del territorio fundamentalmente vinculada a los usos del suelo, de clorofila determinada a través de imágenes satelitales, de estaciones automáticas y de algunos estudios llevados a cabo por la Universidad de la República en los embalses del Río Negro.

La información analizada durante este período muestra una situación similar a la observada en años anteriores, donde las mayores variaciones de la calidad del agua que se observan ocurren entre los diferentes cursos monitoreados dentro de la cuenca e incluso dentro de los cursos y son menos relevantes a lo largo del tiempo. En términos generales y en cuanto a los parámetros básicos de calidad de agua, los tramos superiores de los principales tributarios presentan mejores condiciones que los tramos más bajos. Sin embargo en algunos cursos afectaciones puntuales en los tramos altos ejercen un patrón inverso.

El curso del Río Negro en tanto presenta menor calidad en el tramo superior, condicionada por la calidad con que ingresa al territorio nacional desde Brasil. Experimenta una mejora relativa hacia el tramo medio (principalmente entre los ríos Tacuarembó y Yí, sector mayoritariamente embalsado), condición que vuelve a revertirse en el tramo bajo. Hacia esa última zona se ubican los arroyos Grande del Norte y del Sur, los cuales presentan elevados valores de nitrógeno y fósforo. Por otra parte, se registra un deterioro en la calidad del agua del río Yí aguas abajo de la ciudad de Durazno (principalmente a partir del aumento de la concentración de dichos nutrientes). Situación similar se observa aguas abajo de Tacuarembó en el río Tacuarembó Chico y el río Cuñapirú aguas abajo de Rivera.

A pesar de que en la mayoría de los tramos hay una elevada concentración de nutrientes, la misma no muestra efectos en la concentración de clorofila en el agua, a excepción de los tramos embalsados en los cuales ésta se incrementa en varios órdenes de magnitud durante los meses más cálidos, evidenciando recurrentes floraciones de cianobacterias.

En cuanto a la presencia de metales pesados y compuestos orgánicos, en la mayor parte de los casos los valores se encontraron por debajo de los límites de detección o cuantificación, y normalmente se encontraron por debajo de los valores recomendados por el Decreto 253/79, los del grupo de expertos GESTA-AGUA (Grupo de estándares ambientales-agua) o de las normas internacionales consultadas. Las estaciones del Río Negro ubicadas aguas arriba de los embalses así como algunas de los embalses fueron las que registraron las mayores frecuencias de detección de algunas sustancias, en particular el AMPA -producto de degradación del glifosato- registró los mayores valores de concentración en las dos primeras estaciones del Río Negro.

En términos generales y según los índices de calidad de agua empleados el Río Negro y los principales tributarios que conforman su cuenca hidrográfica presentan una calidad de agua “media” a “buena” y sus embalses una condición mayoritariamente eutrófica. A partir de los

estudios de aportes de nutrientes se concluye que las actividades que hacen uso extensivo del suelo son las que mayor carga aportan a los cursos de agua. Si bien entre dichas actividades destaca la agricultura, no se debe subestimar el aporte directo del ganado al agua, el cual durante los períodos más secos representa la mayor fuente de nutrientes que ingresan a los cursos de agua. Por su parte los centros poblados provocan afectaciones a la calidad del agua limitada a una escala espacial menor dentro de la cuenca, pero que a nivel local es relevante. Las altas concentraciones de nutrientes no tienen efectos negativos observables en los tramos donde el agua fluye libremente, pero los tramos embalsados (los cuales representan cerca mitad de la longitud total del río) favorecen la aparición de cianobacterias, lo cual actualmente destaca como el principal problema ambiental del curso.

1. INTRODUCCIÓN

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

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

El Ministerio de Ambiente (MA) es el organismo responsable de la evaluación y análisis de la calidad de los cuerpos de agua del país, así como también de su preservación y de la comunicación de resultados y propuestas para lograrlo. La Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental (DINACEA, antes DINAMA) del Ministerio de Ambiente (MA) a través de la División Calidad Ambiental (DCA) realiza monitoreos de calidad de agua de diversos cursos del territorio, como forma de seguimiento de las condiciones y vigilancia del ambiente. En el caso del Río Negro, la DCA lleva a cabo un programa de monitoreo calidad de agua y sedimentos del curso desde el año 2009. A partir de 2017 el mismo se extendió hacia el río Tacuarembó y desde 2019 se incorporaron el río Yí y más recientemente los Arroyos Grande del Norte y Sur, adoptando así una visión más abarcativa, que comprende a la totalidad de la cuenca hidrográfica.

El presente informe reúne y analiza el estado de la calidad del agua a partir de información de parámetros físicos, químicos, hidrológicos y microbiológicos del agua y sedimentos del Río Negro y sus tres embalses, obtenidos de los monitoreos desarrollados durante el período 2018 – 2022 por el Departamento de Seguimiento de Componentes del Ambiente (DSCA) de la DCA junto con la División Laboratorio Ambiental. Esta información se complementa con información de la cuenca proveniente de diferentes ámbitos del MA tales como la información sobre vertidos y efluentes de la División Control Ambiental, la información sobre usos del suelo y clorofila en los embalses proveniente de la División Información Ambiental y la información hídrica obtenida de la División Servicios Hidrológicos de la Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA) y externamente de UTE (Dirección Operativa y Gerencia de Medio Ambiente).

Adicionalmente se integra información proveniente de investigaciones recientes desarrolladas durante los últimos años en el marco de la Iniciativa del Río Negro (2021-2023). Estos proyectos de investigación apuntan a mejorar el conocimiento del ambiente, como los estudios del contenido de nutrientes en los sedimentos de los embalses o el desarrollo de un modelo numérico hidrodinámico del embalse Rincón del Bonete. A estos estudios se suma el resultado de un Convenio entre MA y Facultad de Ciencias (UdelaR) para comprender mejor la dinámica del desarrollo de las cianobacterias en los embalses del Río Negro.

El antecedente inmediato a este trabajo es el informe de Calidad Ambiental de la cuenca del Río Negro (2009-2017) elaborado por la DCA y disponible en el Observatorio Ambiental Nacional del

MA (www.ambiente.gub.uy/oan). El presente informe actualiza la información, analizando la obtenida durante los últimos cinco años de monitoreo del Río Negro (2018-2022) y sus principales tributarios.

1.1. Objetivos generales y específicos

El objetivo general de este estudio es evaluar el estado de calidad de los principales cursos de agua que componen la cuenca del Río Negro durante el período 2018-2022.

Como objetivos específicos se plantean los siguientes:

1. Caracterizar la calidad del agua de los cursos desde el punto de vista físico y químico, así como su hidrología.
2. Analizar espacialmente la calidad del agua en la cuenca, tanto a partir del Río Negro propiamente dicho como en las cuencas de sus principales tributarios.
3. Evaluar los aportes de cargas de nutrientes en los diferentes tramos que componen las subcuencas del Río Negro y sus tributarios, así como la forma en que afectan a la calidad del agua.
4. Evaluar el comportamiento a lo largo del tiempo de los principales parámetros que describen la calidad de agua.
5. Aportar información que contribuya a mejorar la gestión de la calidad del agua en la cuenca.

2. ÁREA DE ESTUDIO

2.1. Cuenca del Río Negro

El Río Negro es el principal curso de agua interior de Uruguay, por su longitud, caudal, área de drenaje y servicios que brinda, entre otros. Nace en Río Grande del Sur (Brasil) a aproximadamente 80 km de la frontera con Uruguay y tiene una longitud total de 850 km, atravesando al país de Este a Oeste hasta su desembocadura en el Río Uruguay (Figura 1). El caudal medio del río a la altura de la ciudad de Mercedes es de $1.321 \text{ m}^3/\text{s}$. La diferencia de altura entre sus nacientes y la desembocadura es de 140 m, promediando una pendiente del 0,29%. Su cuenca ocupa una superficie de 70.714 km^2 , de la cual el 96% se encuentra en territorio nacional y es objeto de una gran variedad de actividades agrícolas, forestales y ganaderas, así como de algunas industrias derivadas de éstas, destacándose los frigoríficos, industrias lácteas y procesadoras de productos forestales. Sobre el tramo medio, entre las represas Rincón del Bonete y Baygorria, en abril de 2023 comenzó su actividad la mayor industria productora de pulpa de celulosa del país. Por otra parte el curso del Río Negro es el principal proveedor de energía hidroeléctrica no binacional, con una capacidad instalada de 599 MW en sus tres represas, lo que representa alrededor de un tercio de la capacidad de generación eléctrica en el país. Tanto la regulación del caudal del río como la presencia de los importantes embalses sobre el cauce suponen una afectación a las condiciones naturales del mismo.

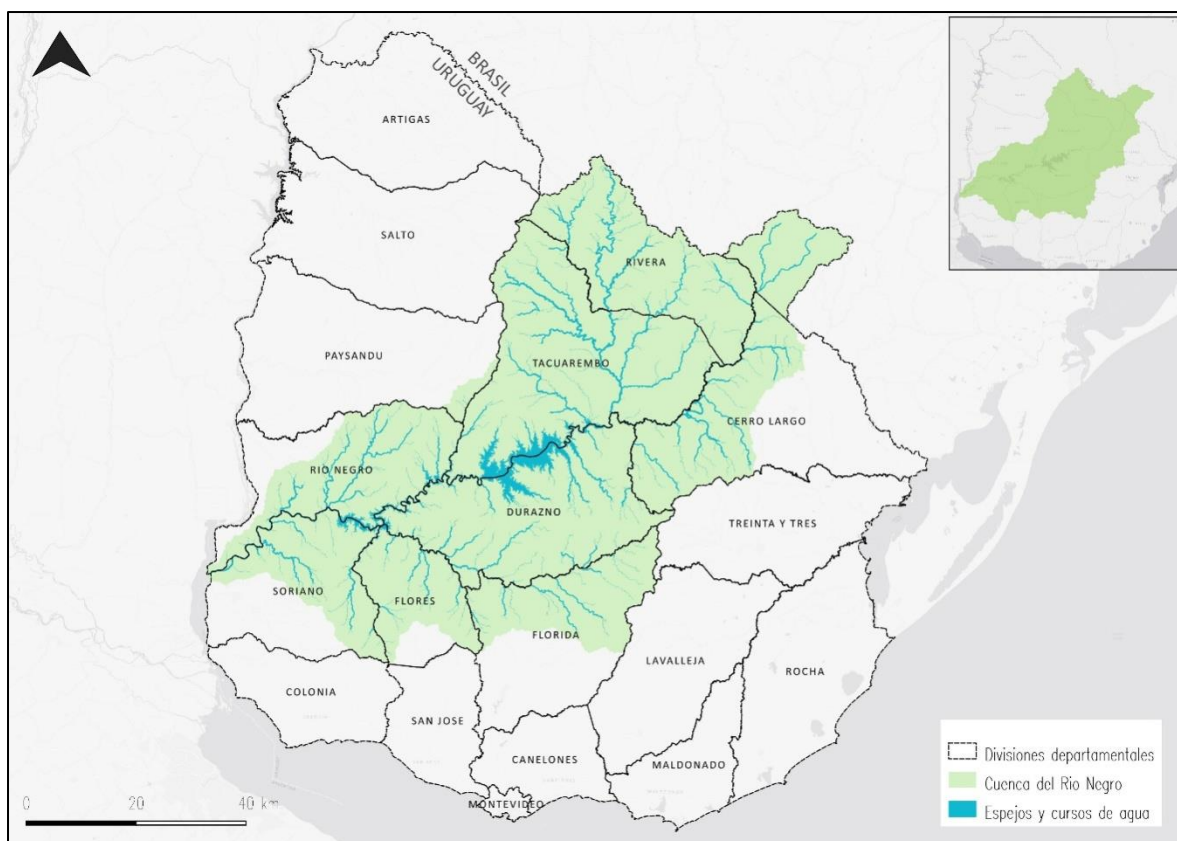


Figura 1. Cuenca hidrográfica del Río Negro.

En función de su hidrología, se reconocen tres tramos a lo largo del curso: tramo superior, medio y bajo. El primero ocupa desde las nacientes hasta el embalse Rincón del Bonete, el segundo comprende el tramo de los embalses consecutivos (Rincón del Bonete, Baygorria y Palmar), y el tercer tramo abarca desde aguas abajo del embalse Palmar hasta la desembocadura en el río Uruguay (Figura 2). En el primer tramo la hidrología se encuentra gobernada por el régimen de precipitaciones en esa porción de cuenca. El segundo tramo se caracteriza por el dominio de los embalses de generación hidroeléctrica, los cuales tienen reglas de operación propias y si bien en el largo plazo los caudales erogados no guardan diferencias importantes con los del río, en escalas temporales menores generan alteraciones importantes al flujo natural. Por otra parte, el embalsado de los cursos de agua altera radicalmente los procesos biológicos de los ríos, fundamentalmente a raíz del aumento del tiempo de residencia hidráulica (TRH). El tramo más bajo del curso, además de estar sujeto a las condicionantes hidrológicas de la operativa de los embalses, es afectado por los niveles del río Uruguay.

El Río Negro tiene además dos importantes tributarios: el río Tacuarembó desemboca hacia el final del primer tramo y el río Yí lo hace hacia el final del segundo (Figura 2). Ambos cursos de agua son muy similares en cuanto a sus caudales y el área de sus cuencas (tanto el tramo superior del Río Negro como el río Tacuarembó y el río Yí presentan áreas de cuenca en el entorno de los 14.000 a 16.000 Km²). El río Tacuarembó se ubica sobre el lado noreste de la cuenca y desemboca en el tramo superior; su cuenca está conformada por varios cursos de magnitud similar que son tributarios del cauce principal. El sector Oeste de su cuenca está conformado por el sistema de quebradas del Norte, que se desarrollan sobre la cara Este de la cuchilla Negra. Hacia el Este de la

cuenca se encuentran los arroyos Cuñapirú, Yaguarí y Caraguatá, en tanto que hacia el Oeste el tributario más relevante es el río Tacuarembó Chico (Figura 2). El río Yí por su parte es el principal tributario de la margen Sur del Río Negro. Con una longitud aproximada de 210 Km, nace en la vertiente Oeste de la Cuchilla Grande y avanza sobre la penillanura cristalina hasta desembocar en el Río Negro, sobre el embalse Palmar (Figura 2). A diferencia de la cuenca del río Tacuarembó, la cuenca del río Yí se caracteriza por su baja sinuosidad y presentar una forma alargada, donde sus tributarios son de menor magnitud y se disponen perpendicularmente confiriéndole a la cuenca una morfología similar a un “esqueleto de pescado”. Los suelos de la cuenca presentan una relativa baja capacidad de retención hídrica, lo que determina importantes variaciones en sus caudales, experimentando crecientes de magnitud importante.

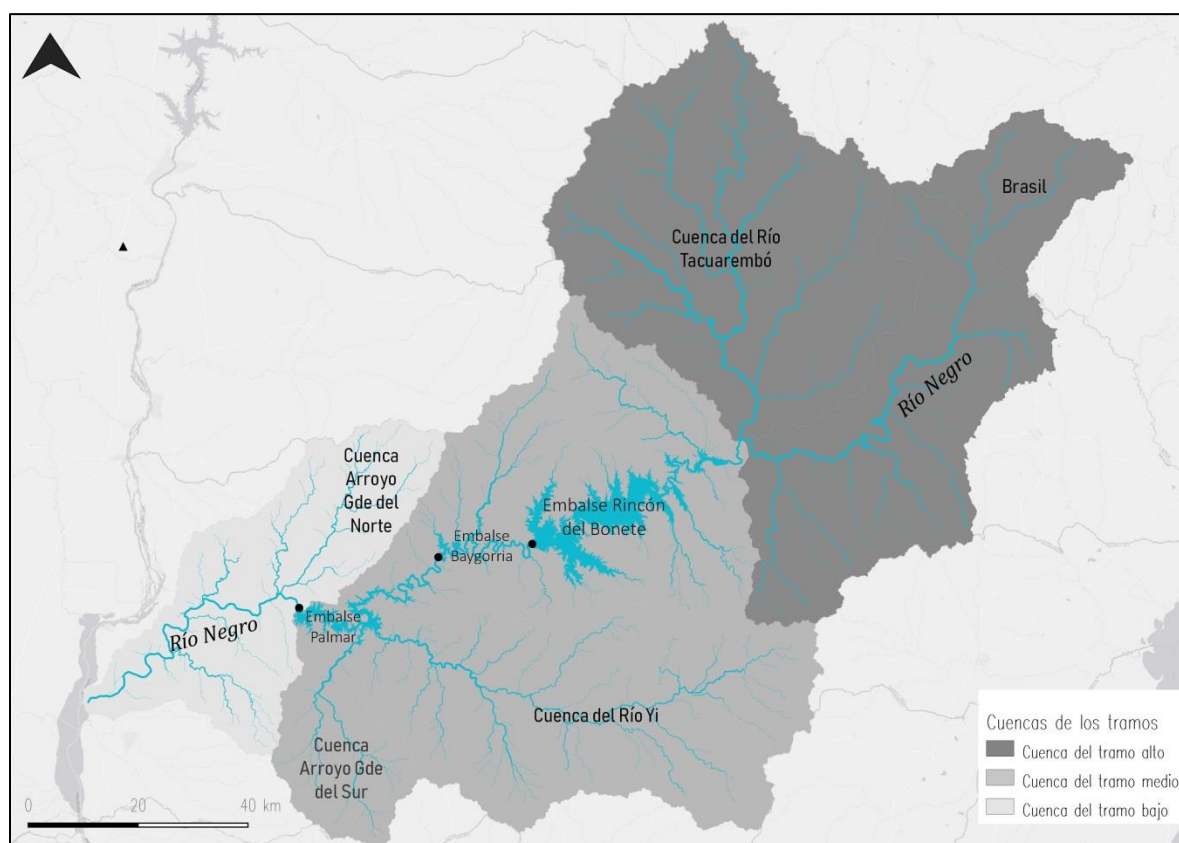


Figura 2. Mapa de la cuenca del Río Negro, destacando los diferentes tramos y subcuencas correspondientes a los mismos. Se destacan asimismo las cuencas de los tributarios que son monitoreados: ríos Tacuarembó y Yí y arroyos Grande del Norte y del Sur.

2.2. Hidrología

El régimen hidrológico de la cuenca del Río Negro acompaña la variabilidad del régimen de precipitaciones. La extensión de esta cuenca hace que existan características específicas en algunas de sus subcuencas con diferentes condiciones de drenaje y escurrimiento.

El régimen de caudales en el Río Negro está condicionado de manera crítica por el sistema de embalses existente para la generación hidroeléctrica (Tabla 1). El embalse de Rincón del Bonete es de cabecera y tiene una capacidad de almacenaje relativa superior a Baygorria y Palmar, ya que

acumula para la generación eléctrica propia y de las centrales hidroeléctricas aguas abajo. El criterio de operación de los embalses está dirigido por la demanda eléctrica existente, por lo tanto, en el curso principal existen períodos de estiaje y de avenidas marcados por esta operativa.

Tabla 1. Características de los embalses del Río Negro.

	Cuenca (km ²)	Volumen (hm ³)	Superficie del embalse (km ²)	Profundidad máxima (m)	Long.Canal principal (km)	TRH Promedio (días)
Rincón del Bonete	39.541	7.260	998	30	150	190
Baygorria	2.300	570	100	26	45	3
Palmar	18.960	2.500	320	20	100	22

2.3. Aspectos geográficos

En la cuenca del Río Negro predominan diferentes geoformas distribuidas en distintos sectores. Sobre la cuenca del tramo superior -incluyendo la cuenca del río Tacuarembó- domina la penillanura sedimentaria gondwánica o del Noreste, en la cual predominan los suelos arenosos, profundos y de baja y media fertilidad. Sobre el tramo medio, fundamentalmente en el sector norte de la cuenca, se destaca la cuesta basáltica, donde los suelos son superficiales y de baja fertilidad, aunque en algunos sectores se vuelven más profundos y de fertilidad media. Sobre la cuenca del tramo inferior –incluyendo la cuenca del río Yí- destacan la penillanura del escudo cristalino cuyos suelos presentan profundidades y fertilidad medias a elevadas, en tanto que hacia el litoral del Río Uruguay domina la cuenca sedimentaria del Oeste, cuyos suelos son muy profundos y de gran fertilidad (Brazeiro et al., 2012). En términos muy generales, se puede asumir que la profundidad y fertilidad de los suelos aumenta de este a oeste en la cuenca.

2.4. Ecosistemas

El bioma predominante en la cuenca del Río Negro, al igual que en el resto del territorio nacional y la región, son los pastizales que se extienden desde el centro-este de Argentina hasta Uruguay y el sur de Brasil. Los pastizales de esta región han sido históricamente unos de los ambientes más alterados inicialmente por la introducción de la ganadería y más recientemente han sufrido su sustitución a causa del desarrollo de la agricultura (Vallejos et al. 2021). Esta unidad territorial no es homogénea, ya que si bien el paisaje dominante son las llanuras onduladas cubiertas por vegetación herbácea, sobre las colinas de las cuchillas Grande al sureste y de Haedo al noreste se encuentran ecosistemas de serranías y quebradas, respectivamente, en tanto que hacia el oeste de la cuenca la pradera se mezcla con el monte de parque. Asimismo, sobre los grandes cursos de agua se desarrollan montes ribereños y bañados (Evía y Gudynas, 2000).

Si se tiene en cuenta la clasificación de ecorregiones de Brazeiro et al. (2012), en la cuenca del Río Negro se encuentran cuatro ecorregiones (Figura 3). Este es un concepto geográfico que integra información geológica, geomorfológica, edáfica y antrópica. La ecorregión de la cuenca sedimentaria Gondwánica comprende la cuenca del tramo alto del Río Negro y presenta un alto porcentaje de pastizales que ronda el 80% así como una cantidad significativa de especies leñosas asociadas a las quebradas y los montes ribereños. Esta región contiene la segunda mayor riqueza de especies del país encontrando una elevada riqueza de especies de anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Es una región con suelos mayormente de aptitud ganadera y agrícola, aunque sobre el Oeste se desarrolla en forma dominante la forestación. La ecorregión de la cuesta basáltica en tanto presenta la mayor riqueza de especies de vertebrados del país, conteniendo una importante riqueza de especies endémicas y casi endémicas, presentándose como un sistema muy diferenciado. Además, esta es la región con la mayor proporción de praderas naturales del país. Sus suelos son ocupados mayormente por la ganadería, seguidos de la agricultura. La mayor parte de la cuenca del tramo medio del Río Negro corresponde a esta ecorregión. La ecorregión del escudo cristalino presenta un nivel de riqueza de especies de vertebrados intermedio entre la que destacan las aves. La cobertura de pastizales se encuentra entre un 60 y un 80%. Los suelos son ocupados mayormente por la ganadería y en menor medida por la agricultura, aunque en la cuenca alta del río Yí destaca también la lechería. Por último, la ecorregión de la cuenca sedimentaria del Oeste presenta también una elevada riqueza de especies entre la que destacan los peces. Sus suelos son mayormente de aptitud agrícola y agrícola-ganadera y son los que presentan menor porcentaje de cobertura original.

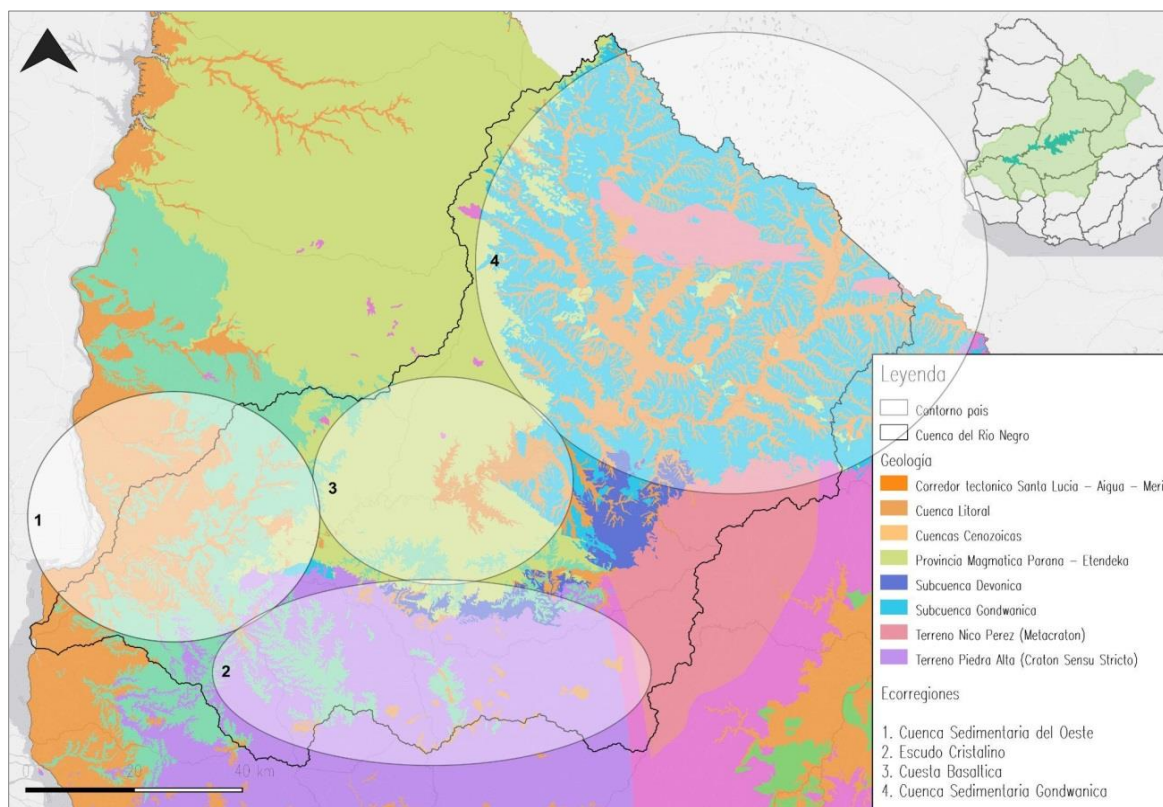


Figura 3. Mapa de ecorregiones del Uruguay, a partir de Brazeiro et al. (2012). En la cuenca del Río Negro destacan: la cuenca sedimentaria gondwánica (4), la cuesta basáltica (3), el escudo cristalino (2) y la cuenca sedimentaria del oeste (1).

2.5. Actividades en la cuenca

La cuenca del tramo alto del Río Negro abarca desde sus nacientes hasta la cola del embalse Rincón del Bonete (Figura 2). En el sector brasileño de esta cuenca se ubica Bagé, una ciudad que con poco más de 100.000 habitantes es el principal centro poblado en la cuenca del Río Negro y concentra cerca del 22% de la población que habita la misma. En territorio brasileño se desarrolla una intensa actividad agrícola, destacando los cultivos de secano y arroz. En territorio uruguayo, tanto en la margen Norte como Sur de este tramo destacan la actividad arrocera y la ganadería (Figura 4).

La cuenca del río Tacuarembó forma parte de la cuenca alta del Río Negro. La principal cobertura del suelo es herbácea natural, lo que la define como una cuenca mayoritariamente ganadera. No obstante, hacia el Norte y el Oeste de la misma se desarrolla una de las principales regiones de actividad forestal del país. Asimismo hacia las planicies de los arroyos Caraguatá y Yaguarí principalmente, se practica la agricultura destacando los cultivos de arroz, leguminosas y cereales (Figura 4). Las industrias más importantes se ubican en la periferia de las ciudades de Rivera y de Tacuarembó, siendo ambos los centros poblados más importantes. Entre las industrias destacan las de la madera y los frigoríficos. La población que habita sobre la cuenca del río Tacuarembó es de algo más de 190.000 habitantes (INE, 2011).

El tramo medio del Río Negro se caracteriza por la presencia de tres embalses (Rincón del Bonete, Baygorria y Palmar), siendo de poca significancia los tramos de curso libre entre los mismos. En la cuenca de este tramo predomina la ganadería, aunque en el sector más bajo también se encuentran cultivos agrícolas, principalmente sobre la margen sur. No destacan centros poblados importantes, siendo el más relevante Paso de los Toros con cerca de 13.000 habitantes según el censo de 2011. La actividad industrial más relevante este sector de la cuenca se concentra en los alrededores de la ciudad de Durazno sobre las márgenes del río Yí. No obstante, en abril 2023 dio inicio a sus operaciones la mayor planta productora de pulpa de celulosa del país, ubicada sobre la margen sur del Río Negro entre los embalses de Bonete y Baygorria.

El río Yí desemboca en el embalse Palmar, es decir, dentro del tramo medio del Río Negro. El uso del suelo de su cuenca denota una transición desde usos del suelo predominantemente extensivos (principalmente la ganadería a campo natural) a usos de carácter más intensivo, semejantes a la cuenca del tramo bajo del Río Negro (Figura 4). Por otra parte en los alrededores de la ciudad de Durazno se concentran industrias frigoríficas y lecheras y la presencia del mayor tambo del país con 13.000 vacas en ordeño, que a su vez industrializa la leche que produce. La población total sobre la cuenca del río Yí es de 78.000 habitantes aproximadamente, de los cuales cerca de la mitad se concentran en la ciudad de Durazno (35.000 hab). Aguas arriba, además, se encuentra Sarandí del Yí (7.000 hab).

El arroyo Grande del Sur también se ubica sobre el tramo medio del Río Negro. Tiene su desembocadura sobre el embalse Palmar, contigua a la desembocadura del río Yí, en la zona de Andresito (Figura 2). La cuenca del arroyo Grande del Sur soporta una actividad agrícola muy importante, presentando el uso del suelo más semejanzas a la cuenca del tramo bajo del Río Negro que al del tramo medio (Figura 4).

Finalmente la cuenca del tramo bajo del Río Negro presenta en general los suelos con la mayor fertilidad de la cuenca del Río Negro. Por esta razón es la región que presenta mayor intensidad de uso del suelo, donde predomina la agricultura de secano (Figura 4).

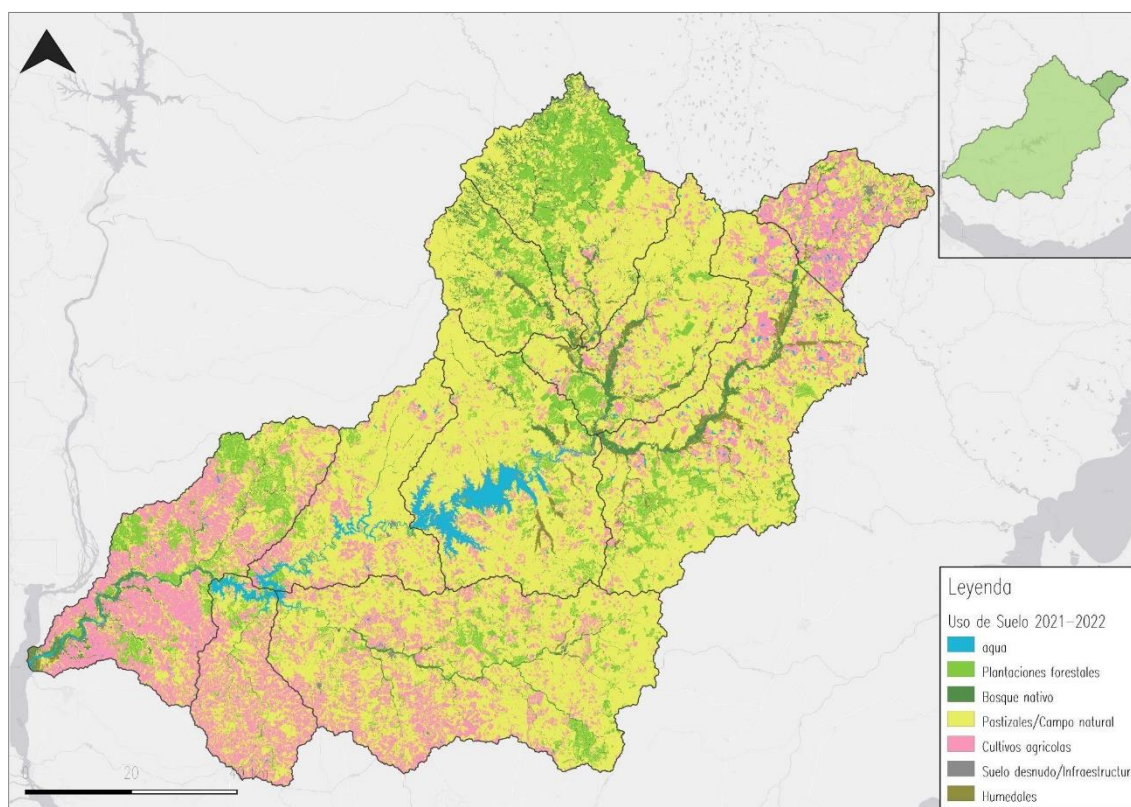


Figura 4. Principales usos del suelo en la cuenca del Río Negro (División Información, MA 2022).

En las últimas décadas en la región, en el país y en la cuenca del Río Negro, una parte de los suelos que históricamente fueron ocupados por ganadería a campo natural se han visto sustituidos por la agricultura (Baeza y Paruelo, 2018). Por otra parte, la producción ganadera no ha disminuido, sino que ha aumentado su productividad a partir de la mejora de praderas, fertilización, forrajes y granos (Nin-Pratt et al, 2019). Este aumento en la productividad está vinculado con la intensificación del uso del suelo y provoca el aumento de las cargas de nutrientes que se exportan desde los suelos hacia los cursos de agua. Si bien la mayor extensión de superficie lo ocupan los pastizales o campo natural (más del 60% del territorio, entre 2017 y 2022 se registró un importante avance en la agricultura, con 168.013 hectáreas nuevas dedicadas a los cultivos (Tabla 2). En ese mismo período, el campo natural o pastizal retrocedió un 4%, es decir, cerca de 175.000 hectáreas. Otras coberturas del suelo importantes también registraron aumentos en dicho período, como la forestación y los bosques nativos.

Tabla 2 Coberturas del suelo en hectáreas y porcentaje de área que representaron en la cuenca en 2017 y 2021, junto con la variación de la cobertura durante el período, en hectáreas y en porcentaje de cambio de las principales categorías de cobertura.

Cobertura del suelo	2017		2021		Variación	
	Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)	%
Plantaciones forestales	614.102	8,6	64.4523	9,1	30.421	5
Bosque nativo	259.488	3,6	278.438	3,9	18.950	7
Pastizales/Campo natural	4.608.671	64	4.433.929	62	-174.742	-4
Cultivos agrícolas	126.6909	18	143.4922	20	168.013	12

3. FUENTES Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

La base de información de este estudio proviene de los programas de monitoreo de agua del Río Negro, Río Yí y Tacuarembó, así como de los arroyos Grande del Sur y del Norte ejecutados por el Departamento de Seguimiento de los Componentes Ambientales (DSCA) de la División Calidad Ambiental (DCA) de DINACEA-MA. Asimismo, se incorporó información proveniente de estaciones de monitoreo automático instaladas en los embalses Rincón del Bonete y Baygorria, las que fueron instaladas en el marco del programa de seguimiento de UPM Paso de los Toros. Por otra parte, se manejó información sobre los usos del suelo en la cuenca y de concentración de clorofila en la superficie de los embalses generada por la División de Información Ambiental así como de fuentes puntuales, proveniente de la División Control Ambiental. Asimismo se incorporó información hidrológica proveniente de la DINAGUA y de la UTE. Asimismo se incorporó información producida por estudios recientes llevados a cabo por la Udelar en convenio con el MA o en el marco de la Iniciativa del Río Negro. Se tuvo en cuenta información generada por los estudios “Modelación hidro-sedimentológica y de calidad del agua del embalse Rincón del Bonete” (Udelar-Facultad de Ingeniería, 2022), “Factores ambientales que favorecen el desarrollo de cianobacterias en los embalses del Río Negro” (Udelar-Facultad de Ciencias, 2023a) y “Determinación de la concentración de fósforo total en los sedimentos de los embalses Bonete, Baygorria y Palmar” (Udelar-Facultad de Ciencias, 2023b).

3.1. Programas de monitoreo de calidad de agua

La DINACEA (MA) ejecuta el monitoreo de calidad de agua del Río Negro desde 2009. Posteriormente se comenzaron a incorporar otros cursos importantes de la cuenca; el primero de ellos fue el río Tacuarembó y sus afluentes en 2017, el río Yí en 2019 y los arroyos Grande del sur y del norte en 2020 (Figura 5). Los nombres de las estaciones llevan las iniciales de cada curso de agua. De esta forma, las estaciones ubicadas sobre el Río Negro se denominan “RN”, aquellas ubicadas sobre el Tacuarembó Grande se abrevian “TG”, las del Tacuarembó Chico “TCH”, en el Cuñapirú “CU”, Yaguarí “YA”, Casupá “CA”, Yí “YI”, Arroyo Grande del Norte “AGDN” y Arroyo Grande del Sur “AGDS”.

Yí	Río Yí	2019-05-21	2019-05-21 / 2022-02-09	6	9	34
Grande del Norte	A° Grande del Norte	2019-09-05	2019-09-05 / 2022-02-10	1	8	34
Grande del Sur	A° Grande del Sur	2019-09-05	2019-09-05 / 2022-02-10	1	8	34

Durante el período en que estuvo vigente la emergencia sanitaria por la pandemia de COVID-19 (13 marzo de 2020 al 5 de abril de 2022) la realización de los monitoreos de calidad de agua se vio interrumpida parcialmente, habiéndose suspendido varias fechas de monitoreo de los diferentes programas. Por este motivo la información referida a 2020 y 2021 es más limitada.

Por otra parte, en el marco del plan de gestión ambiental para la construcción y operación de la planta de celulosa de UPM en Paso Centenario, a partir de noviembre 2020 se comenzó a transmitir datos provenientes de estaciones automáticas de monitoreo continuo (cada 30 minutos) ubicadas en los embalses Rincón del Bonete y Baygorria. Ambas son estaciones fijas; la primera se encuentra sobre el dique de la presa mientras que la segunda está adosada a un muelle cercano a la presa. Dichas estaciones están a cargo de la empresa pero sus datos son enviados automáticamente a la DINACEA. En estas estaciones se toman datos de temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez, clorofila-a y ficocianinas en la superficie. Asimismo partir de diciembre 2022 el MA cuenta con estaciones de monitoreo continuo ubicadas en los tres embalses. La información que han comenzado a reportar será de gran utilidad para el mejor conocimiento de la calidad del agua del río y podrá ser incluida en futuros documentos, luego que se consolide el proceso de registro, transmisión y validación de los datos. En este informe se resume la información obtenida en las estaciones automáticas del Plan General de Monitoreo Ambiental (PGMA) de UPM ubicadas en Rincón del Bonete y Baygorria con una calidad de datos aceptable comprendiendo el período entre julio de 2020 y septiembre de 2022.

3.2. Parámetros analizados en agua

En la cuenca del Río Negro se analizan en muestras de superficie 15 parámetros básicos de calidad de agua y 7 metales pesados (Tabla 4). Además en el curso del Río Negro se monitorean otros 88 parámetros (Anexo I. Sustancias de uso agrícola determinadas en agua). Todos los resultados están disponibles para ser consultados en el visualizador del Observatorio Ambiental Nacional (<https://www.ambiente.gub.uy/visualizador/index.php?vis=sig>).

Para la elección de los parámetros a presentar en este informe se tuvo en cuenta los estándares de calidad de agua establecidos por la normativa vinculante (Decreto 253/79) y los valores guía de la Mesa Técnica del Agua (MTA, 2017) y los propuestos en la actualización del Decreto 253/79 (GESTA 2014). Este último documento amplía la lista de sustancias a controlar presentes en el Decreto 253/79 y es más restrictivo para algunas de ellas, a la vez que incorpora un listado de sustancias que fueron prohibidas por el Decreto 375/005, algunas de las cuales ya estaban controladas por el Decreto 253/79 pero no prohibidas.

Según el Decreto 253/79 (ratificado por la RM 99/2005) el Río Negro y los demás cursos monitoreados de su cuenca corresponden a la Clase 3 (aguas destinadas a la preservación de los seres vivos del río y al riego de cultivos de productos que no se consumen directamente) y por

tanto se tuvieron en cuenta los valores de los parámetros expresados como estándares de acuerdo a dicha categoría. La Tabla 4 da cuenta de los parámetros seleccionados.

Tabla 4 Parámetros analizados en agua seleccionados para el presente informe, abreviatura, unidad y normativa vigente (valores del Decreto 253/79) o el valor guía de la Mesa Técnica del Agua (MTA). La ausencia de normativa o valor guía se indica como “-”.

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	SatO ₂	%	-	-
	Turbidez	Turb	NTU	≤ 50	Decreto 253/79
	Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	-	-
Nutrientes	Demanda Biológica de Oxígeno	DBO ₅	mg O ₂ /L	< 10	Decreto 253/79
	Nitratos	NO ₃	mg-N/L	< 10	Decreto 253/79
	Nitritos	NO ₂	mg-N/L	-	-
	Nitrógeno total	NT	mg/L	< 1,0 lóticos mayores a orden 3 < 0,5 lénticos	MTA (2017)
	Fosfato	PO ₄	μg-P/L	-	-
Biológicos	Fósforo total	PT	μg/L	≤ 25 ≤ 30 en sist. Lénticos, ≤ 50 en cursos hasta orden 3 y ≤ 70 en cursos mayores a orden 3	Decreto 253/79 MTA (2017)
	Clorofila a	Cloa	μg/L	-	-
Metales pesados	Coliformes termotolerantes ⁽¹⁾	TMF	UFC/100mL	≤ 2000	Decreto 253/79
	Arsénico	As	mg/L	0,005	Decreto 253/79
	Cadmio	Cd	mg/L	0,001	Decreto 253/79
	Cromo	Cr	mg/L	0,05	Decreto 253/79
	Mercurio	Hg	mg/L	0,0002	Decreto 253/79
	Níquel	Ni	mg/L	0,02	Decreto 253/79
	Plomo	Pb	mg/L	0,03	Decreto 253/79
	Zinc	Zn	mg/L	0,03	Decreto 253/79

Dentro de los parámetros básicos de calidad de agua se consideraron 2 de origen biológico: la concentración de clorofila *a* (Clo-a), y la cantidad de coliformes termotolerantes, que son un conjunto de microorganismos provenientes principalmente de efluentes domésticos y ganadería.

¹ La norma establece que no se deberá exceder el límite de 2000 UFC/100 mL en ninguna de al menos 5 muestras, debiendo la media geométrica de las mismas estar por debajo de 1000 UFC/100 mL

Si bien la clorofila no cuenta con un estándar en la normativa, arroja información sobre el estado trófico de los cuerpos de agua y sobre la existencia de floraciones fitoplanctónicas. En el análisis de la comunidad de fitoplancton fueron incorporados algunos resultados del proyecto de investigación desarrollado por científicos de la Facultad de Ciencias (UdelaR) para analizar la dinámica de la comunidad de fitoplancton (y en particular de las cianobacterias), así como la forma en que es afectada por algunas forzantes del ambiente.

En el caso de los parámetros que 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 $<LC$. Los límites de cada técnica analítica están descritos en el Compendio de Metodologías Analíticas de Referencia y Preservación de Parámetros Ambientales (MA, 2023).

En cuanto a los metales pesados, se analizaron cadmio, cromo, plomo, níquel, zinc, mercurio y arsénico en todas las estaciones de monitoreo del curso del Río Negro. En las estaciones de la cuenca del Tacuarembó, Yí y los arroyos Grande solamente se analizó mercurio y arsénico.

Por otro lado, se monitorean principios activos de productos de uso agropecuario y sus derivados, muchos de ellos incluidos en la normativa (Decreto 253/79) o en los documentos posteriores que sugieren valores guía (GESTA Agua 2014; Anexo I. Sustancias de uso agrícola determinadas en agua). La gran mayoría de los activos se monitorean sólo en las estaciones del Río Negro de la cuenca alta y los embalses (RN0, RN1, RN5, RN9, RN12, RN13). Mientras que el glifosato y AMPA se determinan además en todas las estaciones de los ríos Yí, Tacuarembó, A° Grande del Norte y A° Grande del Sur.

El comportamiento de cada parámetro se determinó a partir de los rangos, el promedio y el desvío estándar de cada set de datos, considerando su distribución espacial. En el caso de los parámetros básicos, en los cuales la totalidad de los datos son cuantificables (se encuentran por encima del límite de cuantificación de la técnica analítica específica), la representación gráfica de la distribución de los valores por estación de monitoreo se realizó mediante diagramas de cajas o *boxplots* utilizando el software R versión 4.0 y el paquete de funciones *ggplot* versión 3.3.6. En los mismos las cajas están delimitadas horizontalmente por los percentiles 25 y 75, mientras que la línea horizontal dentro de la caja corresponde a la mediana de los datos. Las líneas verticales inferiores y superiores se extienden desde el primer y tercer cuartil hasta $Q1 - (1,5 * RIQ)$ y $Q3 + (1,5 * RIQ)$, respectivamente (RIQ: rango intercuartílico). Los valores fuera de este rango son considerados valores atípicos (*outliers*) y se representan individualmente.

Con la información de algunos de los parámetros analizados se aplicaron dos índices de calidad de agua. Brevemente, los índices de calidad de agua tienen el objeto de dar una apreciación directa y de fácil interpretación de la calidad del agua. Para ello los índices clasifican en categorías discretas que surgen de la integración y ponderación de un grupo de parámetros los cuales son elegidos en función del objetivo para el cual es utilizado el propio índice.

En este trabajo se aplicaron un índice de calidad de agua general (IQA) y uno específico de estado trófico. El índice de calidad de agua de la CETESB (*Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo*) integra un grupo de parámetros considerados indicadores de

contaminación ocasionada principalmente por la liberación de aguas residuales (oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, DBO₅, nitratos, fosfatos, desvío de la temperatura, turbidez y sólidos totales). Por otra parte se aplicó el índice de estado trófico para embalses tropicales y subtropicales (IET_{tsr}) de Cunha et al (2013), en la versión que incorpora únicamente el fósforo total. La metodología de estos índices se detalla en ANEXO III. Índices de calidad de aguas y de estado trófico.

3.3. Sedimentos

Los sedimentos son el hábitat de muchos organismos bentónicos y epibentónicos. También influyen en el destino ambiental de diversas sustancias al actuar como sumideros y, posteriormente, como fuentes de contaminantes hacia la columna de agua. Por otra parte, los sedimentos influyen en el ciclo de nutrientes de los cuerpos de agua, por lo que su análisis permite una evaluación más completa del estado trófico. Dado que el fósforo y nitrógeno liberado por los sedimentos puede mantener altos niveles de estos nutrientes en la columna de agua y favorecer el crecimiento algal. La DINACEA incorporó desde 2016 el análisis de estos compuestos a su programa de monitoreo.

El programa de calidad de sedimentos de la DINACEA se lleva a cabo desde el año 2013 en las estaciones RN5, RN9, RN12, RN13, RN16 y RN17. Las cuatro primeras corresponden a los embalses y son los sitios que contienen mayor proporción de sedimentos finos, los cuales son los más adecuados para detectar sustancias, mientras que las últimas dos corresponden a la desembocadura del río. Las muestras se tomaron con una frecuencia trimestral, con draga Ekman. En el período comprendido en este informe se analizaron en total 100 analitos los cuales comprenden nutrientes (Nitrógeno Total Kjeldahl y fósforo total), metales y sustancias orgánicas (ANEXO II: Parámetros determinados en sedimentos.).

3.4. Parámetros hidrológicos

La información hidrológica y climática para la elaboración del informe se obtuvo del servicio web de UTE que contiene registros diarios de libre acceso para toda la cuenca (<https://portal.ute.com.uy/institucional/ute/utei/precipitacion-niveles>). El repositorio cuenta con 147 estaciones pluviométricas, 27 estaciones de nivel aforadas con datos diarios de caudal y además ofrece los resultados de balance diarios en los embalses con destino a generación hidroeléctrica (ANEXO IV. Especificaciones de los parámetros hidroclimáticos). Estos datos se procesan para construir los diferentes parámetros hidrológicos y climáticos utilizados en el presente informe.

Complementariamente, se utilizaron los resultados obtenidos a través del proyecto de investigación “Modelación hidro-sedimentológica y de calidad de agua del embalse de Rincón del Bonete” a cargo de Facultad de Ingeniería (UdelaR) en el marco de la Iniciativa para el Río Negro. En este estudio se elaboró un modelo numérico capaz de representar la dinámica de las variables físicas del sistema y aspectos fundamentales de calidad de agua que se vinculan con la eutrofización del embalse.

Datos de precipitación

Utilizando los datos de precipitación diaria de las estaciones de UTE se realizó una interpolación mediante el método del inverso de la distancia al cuadrado para las diferentes zonas que se analizan y se generan series sintéticas en el baricentro de cada una. Se generaron series de acumulados diarios, mensuales y anuales tanto para la cuenca alta, media y baja, como para algunas subcuencas específicas: Río Negro en territorio brasileiro, Río Negro hasta la confluencia con el Río Tacuarembó, ríos Tacuarembó, Yí y Arroyo Grande.

Caudales

Para analizar los caudales circulantes en los cursos de agua se utilizaron las estaciones de nivel aforadas y se tomaron los registros diarios de caudal por estación para todo el período analizado. Resulta de interés utilizar estos datos en conjunto con las estaciones de monitoreo de calidad de agua de manera de establecer relaciones caudal-concentración, así como también determinar cargas existentes en unidades de masa/tiempo para distintos parámetros analizados. Es relevante considerar que no todas las estaciones de nivel aforadas mantienen el registro del aforo, por lo que en algunas ocasiones se cuenta solamente con registros de nivel. Los resultados que se utilizan directamente de las estaciones de aforo son los caudales promedio diarios.

En cuanto a los caudales circulantes en los embalses se utilizaron los registros de balance diario para cada uno de los tres embalses que ofrece UTE en su repositorio. En el balance se detalla: volumen inicial embalsado, volumen final embalsado, gasto de agua (suma de lo que sale del embalse), volumen turbinado, volumen vertido, volumen filtrado, volumen evaporado, aporte teórico (balance diario del embalse) y nivel en el embalse. A partir de estos datos se logra obtener el caudal de salida diario en cada embalse.

Utilizando los caudales de salida en los embalses se construyeron curvas de permanencia de caudales de manera de caracterizar cómo fueron las descargas de los embalses en el período analizado.

Niveles y tiempo de retención hidráulico

A partir de los registros del portal de UTE se contó con los registros de nivel diarios en los embalses de Rincón del Bonete, Baygorria y Palmar. Se utilizó esta información en el análisis para caracterizar las condiciones existentes en estos sistemas y que inciden en varias de las dinámicas internas. Se incluyeron los registros de variación temporal en el período analizado y también curvas de permanencia que permiten visualizar las situaciones predominantes durante el período.

El tiempo de retención hidráulico (TRH) permite indicar numéricamente la cantidad de tiempo que ha permanecido el agua en el embalse a partir de una metodología establecida. Para su cálculo se dividió el volumen medio entre el caudal de salida medio para distintos períodos de tiempo según el embalse. Para establecer el período de tiempo considerado se utilizaron los TRH teóricos de cada embalse; estos son: Rincón del Bonete 140 días, Baygorria 3 días, Palmar 22 días. De esta manera, para establecer el TRH (días) para un día determinado en el embalse de Rincón del Bonete se utilizó el volumen medio (Hm^3) en los 140 días previos y se lo dividió entre el caudal de salida medio ($\text{Hm}^3/\text{día}$) en los 140 días previos, y así para el resto de los embalses.

Complementario a la estimación del TRH estimado en cada embalse, se utilizaron resultados del proyecto de “Modelación hidro-sedimentológica y de calidad de agua del embalse de Rincón del Bonete” de manera de contar con una estimación más refinada. Dentro de los resultados del proyecto se generaron algunas salidas específicas que calculan a partir del modelo un TRH

distribuido en la grilla definida para el embalse. Este resultado permite contar con información de distribución espacial de esta variable que resulta de mayor relevancia al tratarse del embalse más extenso (donde es esperable contar con diferentes TRH para distintas zonas).

Además se incorporó en los resultados un TRH global para el sistema de embalses. En este caso se trata de un estadístico teórico pero que permite dar una idea del tiempo que el agua permanece en el sistema de embalses. Para el cálculo se acumula el volumen total embalsado (acumulado en los 3 embalses) y se considera el caudal de salida en el último embalse (Palmar). Si bien este parámetro es global, resulta de utilidad para el análisis de algunos ciclos de procesos en la cuenca.

3.5. Modelación de cargas de nutrientes

Las cargas de aporte de nutrientes presentadas son un resultado obtenido a partir de la implementación de un modelo de calidad de agua con la herramienta SWAT (*Soil & Water Assessment Tool*) de la Universidad de Texas, en el marco de la Iniciativa para el Río Negro en toda la cuenca y detallan resultados para las siguientes variables: nitrógeno total, fósforo total y sedimento. A partir de esta herramienta se incluyeron los aportes específicos de cada actividad en la cuenca integrando los resultados de aportes puntuales, aportes directos y difusos de nutrientes en el período modelado 2011-2021. A su vez se empleó información de la evolución temporal de la carga de aporte y también de su distribución espacial. Para la implementación del modelo se realizó una delimitación que resulta en 52 subcuencas y en función de esto algunos resultados se muestran con esta distribución o agrupaciones específicas. Además se establecieron diferentes usos de suelo en el modelo que toman como base la información de usos de suelo del mapa elaborado por MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca) para la cuenca en territorio uruguayo (MGAP, 2018) y la información de uso de suelo elaborado por el proyecto MapBiomias Pampa para la cuenca en territorio brasileiro (Mapbiomas, 2021). Las categorías de uso de suelo establecidas para el modelo se presentan en la Tabla 5. Resulta relevante considerar estas categorías ya que para cada una se incluyeron características específicas de rotaciones y manejo agrícola que inciden en su exportación de nutrientes (MA, 2022). En los informes específicos de modelación se detallan los criterios e información utilizada que incluyen: información de los planes de uso y manejo de suelo (MGAP), información de los anuarios estadísticos del sector lácteo, cárnico y agrícola (MGAP), entre otros.

Tabla 5 Usos de suelo utilizados en el modelo SWAT.

Uso del suelo	Descripción	Área (ha)	% Cuenca
GRAS	Campo natural	3897610	55,1
AGRP	Agricultura con pasturas	1039412	14,7
MONT	Bosque nativo	403628	5,7
EUCA	Forestación	561949	8,0
AGRC	Agricultura continua	775632	11,0
RICE	Cultivo de arroz	57337	0,8
WATR	Agua	173105	2,4
LECH	Agricultura predios lecheros	146590	2,1
URBN	Centros urbanos	12957	0,2

BARR	Suelo desnudo	133	0,002
Total	-	7068353	100

Aportes puntuales de nutrientes

Los aportes puntuales fueron incluidos en el modelo de calidad de agua descrito, pero a los efectos del presente informe se muestran de manera independiente para identificar las diferentes categorías y visualizar su peso relativo.

Los aportes puntuales de industrias y efluentes urbanos se tomaron de los Informes Ambientales de Operación que se reportan a la División Control y Desempeño Ambiental de DINACEA, así como también de los datos registrados en dicha División en las instancias de inspección.

Además se consideró como aporte puntual los efluentes provenientes de tambos (detallada en el informe de modelación; MA, 2022). A partir del número de cabezas de ganado en cada establecimiento declaradas en DICOSE-SNIG (División de Contralor de Semovientes - Sistema Nacional de Información Ganadera) para esta categoría (MGAP, 2021), se estimó la carga de aporte de nutrientes asociada a la sala de ordeño de cada establecimiento. Por otra parte, las excretas generadas fuera de la sala de ordeño fueron tomadas como aportes difusos, dentro de la rotación "LECH" y considerando generación de excretas a partir de estimaciones adaptadas a nivel nacional (Nennich et al, 2005).

Otro tipo de aporte de nutrientes que se incluye como aporte puntual está asociado a los establecimientos de ganado confinado (EGC) y se estiman también a partir del número de cabezas de ganado en cada establecimiento declaradas en DICOSE-SNIG para esta categoría y un procedimiento también detallado en el informe específico (MA, 2022).

Aportes directos

Durante el proceso de ajuste del modelo de calidad de agua se logró estimar un tipo de aporte de nutrientes a los cursos de agua que corresponde al que se genera cuando el ganado se acerca a los cursos de agua a abrevar (MA, 2022). Este aporte de nutrientes está asociado a usos de suelo que incluyen ganadería extensiva y solamente representa una parte de lo que excreta un animal, estando el resto de su aporte de nutrientes incluido dentro de los diferentes usos de suelo y en función de una carga animal. Para la estimación de la producción de excretas y su fracción específica con este destino se utilizan las estimaciones de generación para ganado con destino a producción de carne utilizadas a nivel nacional (ASAE, 2003; Perdomo, 2013).

Aportes difusos

Los aportes difusos de nutrientes se estimaron mediante la implementación de un modelo de calidad de agua utilizando la herramienta SWAT, desarrollado por el equipo técnico del Departamento de Evaluación Ambiental Integrada de DINACEA, donde se realizaron diferentes análisis vinculados al transporte de nutrientes en la cuenca (MA, 2022). Esta estimación incluye un detalle de la evolución temporal y distribución espacial de las cargas de nitrógeno total, fósforo total y sedimento exportado de la cuenca a los cursos de agua.

Los resultados del modelo se distribuyen según las unidades espaciales de cálculo que utiliza el modelo denominadas unidades de respuesta hidrológica y que permiten contar con un resultado distribuido en la cuenca. Con la implementación del modelo se definen 2900 unidades de

respuesta hidrológica que luego se muestran en los resultados, tanto distribuidas como agrupadas en las subcuencas definidas.

Los resultados de carga de aporte de nutrientes se muestran en resultados absolutos (masa/tiempo), tasa de exportación (masa/superficie/tiempo), proporción de cargas (%) según los usos de suelo o tipos de carga detallados.

3.6. Estimación de clorofila en superficie de embalses

La estimación de la concentración de clorofila-a en la superficie del agua, a partir de imágenes satelitales Sentinel 2 en los embalses del Río Negro (DIA, 2022), surge de un desarrollo metodológico de la División de Información Ambiental (DIA) del Ministerio de Ambiente. La misma se basa en la correlación de la concentración de clorofila en la superficie del agua con la firma espectral de las imágenes satelitales del ambiente, utilizando las reflectancias de las muestras de agua para cada longitud de onda entre 320 y 950 nm. De esta forma, se estimó la concentración de clorofila-a en la superficie de los embalses durante los años 2020, 2021 y 2022 y de allí se tomó la concentración de clorofila-a promedio de cada embalse para cada año, distinguiendo el período estival e invernal de cada uno.

4. RESULTADOS

4.1. Calidad del agua en los diferentes sectores de la cuenca

La Figura 6 muestra el índice de calidad de agua IQA (CETESB) aplicado a la información obtenida entre 2018 y 2022 en la cuenca del Río Negro. Este índice pondera datos de pH, oxígeno, DBO₅, turbidez, sólidos totales, fósforo total, nitrógeno total y coliformes fecales, por lo que ofrece una visión bastante general de los parámetros básicos de calidad de agua. El índice muestra una condición de calidad de agua “media” en prácticamente todos los tramos monitoreados, independientemente del sector de la cuenca. El sector que presentó mejores valores del IQA corresponde al tramo medio del Río Negro, entre los embalses Rincón del Bonete y Palmar. Por otra parte los valores más bajos se registraron en el tramo alto del Río Negro, el tramo alto del río Cuñapirú y los últimos tramos del río Yí.

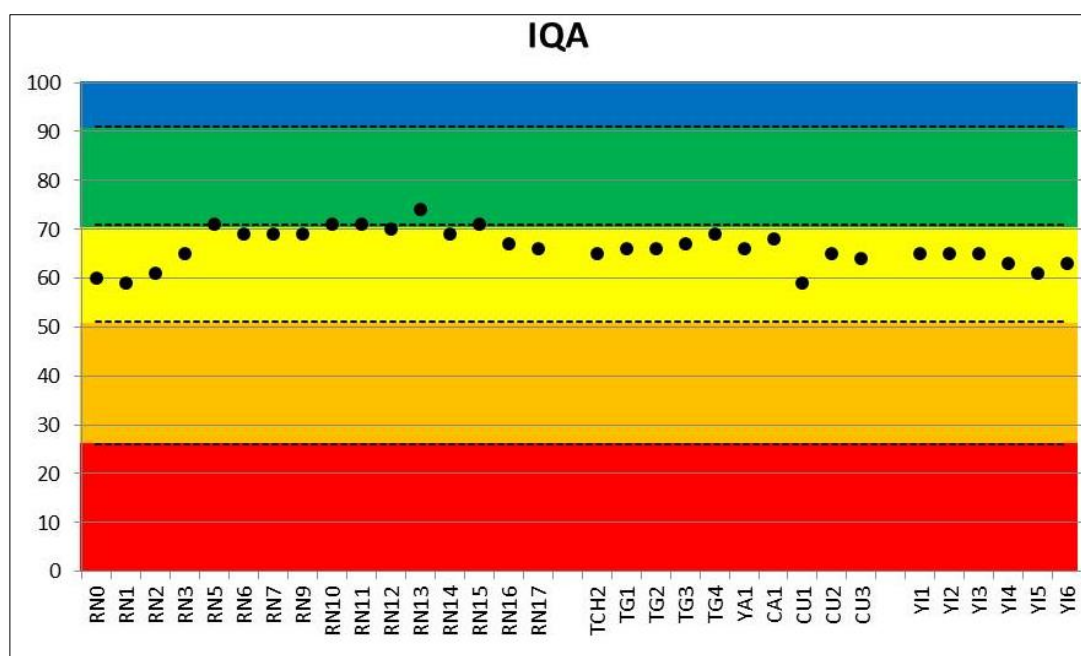


Figura 6 Índice de Calidad de Agua (Índice de Qualidade das Aguas, CETESB) calculado para cada estación de monitoreo de la cuenca del Río Negro.

El índice que cuenta con la serie de datos completas entre 2018 (tramos del Río Negro y de la cuenca del Tacuarembó) o 2019 (tramos del Yí) y 2022. El nombre de las estaciones indica el curso de agua en donde se ubican: Río Negro (RN), Tacuarembó (TG), Tacuarembó Chico (TCH), Cuñapirú (CU), Yaguarí (YA), Casupá (CA) y Yí (YI). Los colores refieren a: calidad Excelente (azul), Buena (verde) Media (amarillo), Mala (naranja) y Muy mala (rojo).

Por otra parte la calidad del agua presentó variaciones en varios parámetros entre sus diferentes tramos y subcuencas. Los parámetros básicos en los cuales ello fue más evidente fueron la conductividad, el nitrato, el fósforo total y el fosfato (Figura 7).

En el caso de la conductividad, destacaron los arroyos Grande del Norte y del Sur con valores promedio que duplican al promedio de los del Río Negro, Tacuarembó y Yí. Pero esta notable diferencia disimula que el río Yí por su parte también tiene una mayor conductividad promedio en relación al Río Negro y al río Tacuarembó. Este último por su parte, si bien presentó valores promedio semejantes al Río Negro, presentó también mayor dispersión de los valores en los cuales algunos fueron superiores a los más elevados del Río Negro.

El nitrato en el AGdS (Arroyo Grande del Sur) presentó valores más elevados que el resto de los cursos de la cuenca del Río Negro. En este caso el AgdN (Arroyo Grande del Norte) no acompañó esta situación, sino que se asemeja más a las restantes subcuencas. Si bien en este caso los promedios son comparables, destaca en la cuenca del río Tacuarembó una mayor dispersión de los valores, varios de los cuales son superiores a las restantes subcuencas.

Situación similar ocurrió con el fosfato, donde el AGdS presentó valores sumamente elevados en relación al resto de los cursos de agua, pero en este caso el río Yí es el curso que destacó frente las restantes subcuencas al presentar una mayor dispersión de los datos, la mayor parte de los cuales fueron más elevados que los de las restantes subcuencas.

En el caso del PT, se observó una situación muy semejante a lo mencionado para el fosfato.

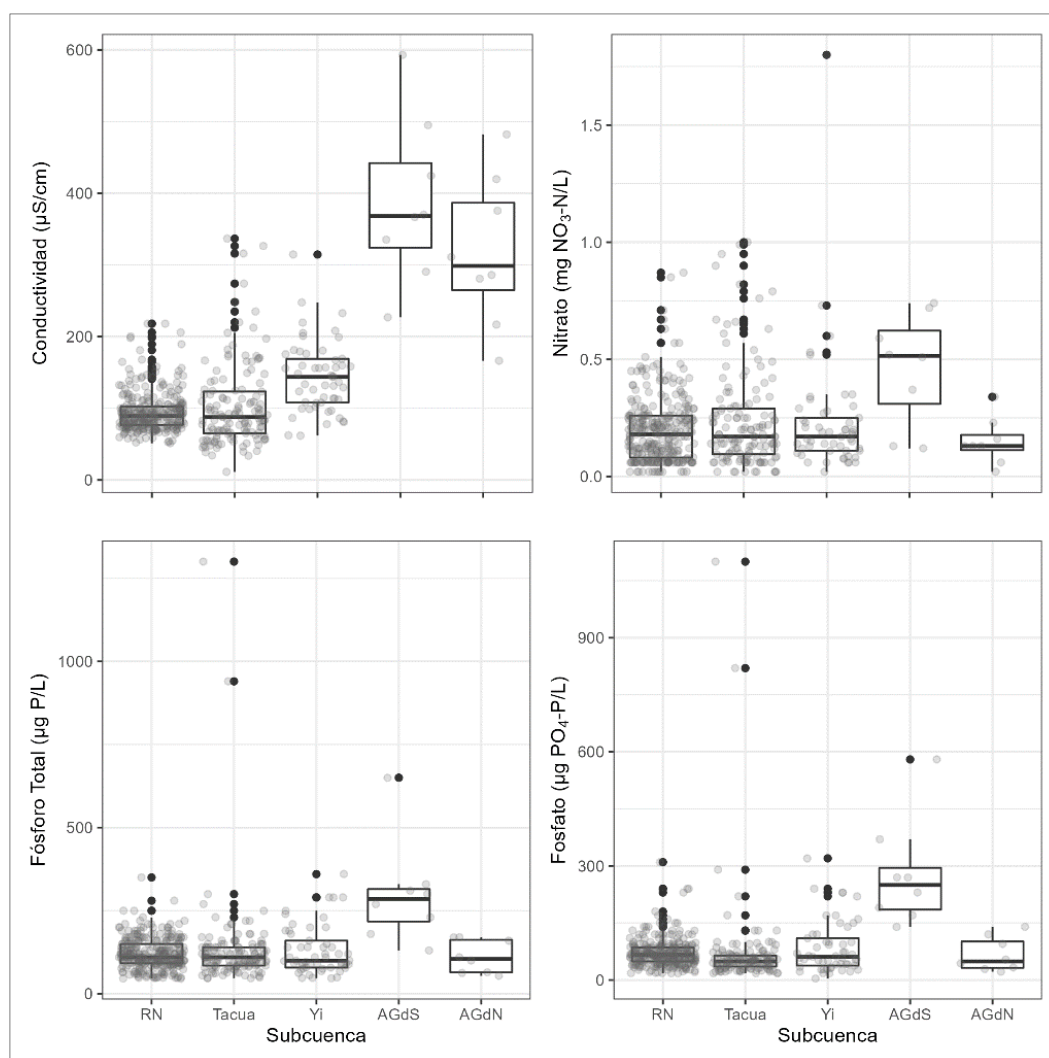


Figura 7 Distribución de valores para parámetros seleccionados para los puntos ubicados en el Río Negro (RN), en la subcuenca del Río Tacuarembó (Tacua), Río Yi (Yi), Arroyo Grande del Sur (AGdS) y Arroyo Grande del Norte (AGdN).

4.2. Curso del Río Negro y los embalses

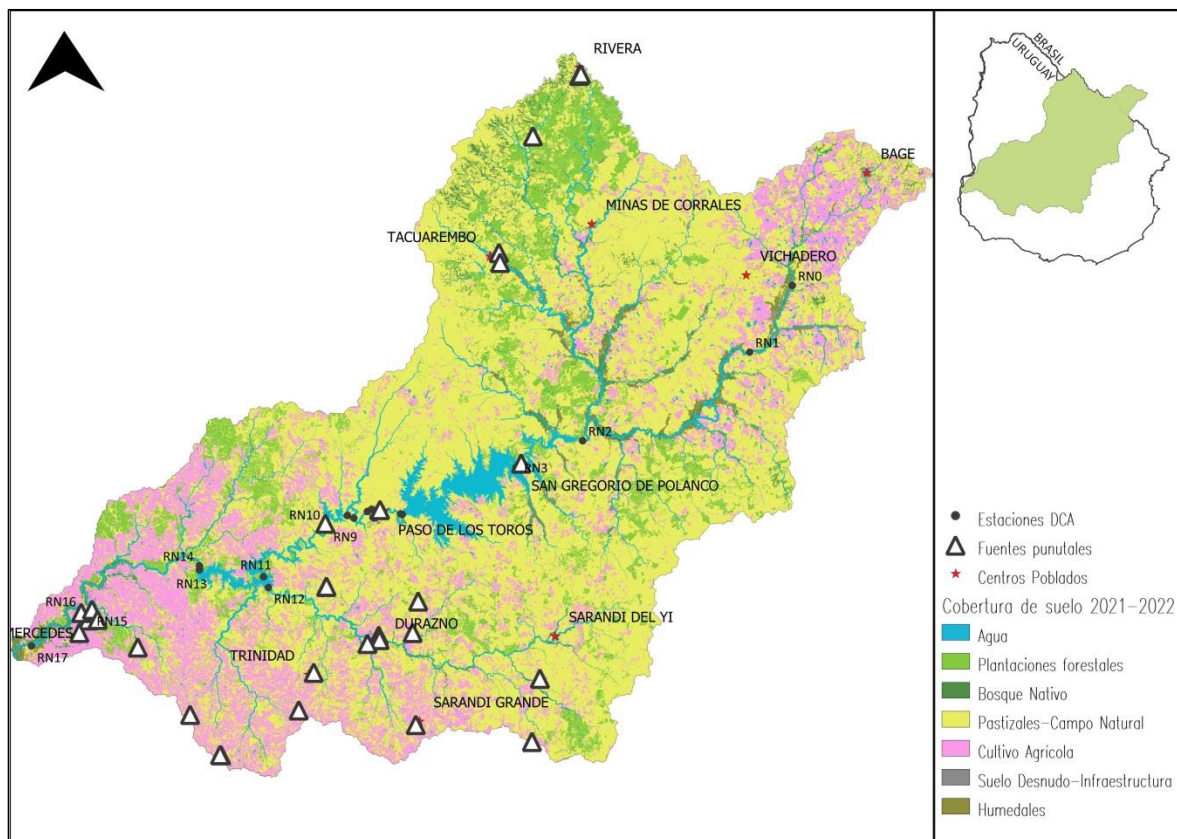


Figura 8 Cuenca del Río Negro con detalle de los puntos de muestreo a lo largo del Río Negro y los embalses. Se indican los principales usos del suelo en la cuenca así como las fuentes puntuales controladas (tambos, feed-lots, industrias y PTAR).

4.2.1. Monitoreo de medición continua

Los datos de alta frecuencia que se muestran provienen de las estaciones automáticas ubicadas en el embalse Rincón del Bonete (ARB50) y en el embalse de Baygorria (ABA98). Se presenta la información obtenida entre el 6 de julio 2021 al 30 de septiembre 2022. En este sentido, es importante tener presente que los estadísticos generales contruidos a partir de los datos y los análisis estacionales contienen el doble de datos de invierno que para el resto de las estaciones del año. El análisis cuantitativo de los datos se presentó en diagramas de cajas por estación del año (indicando la mediana, percentiles 25% y 75%, y valores extremos como puntos).

Temperatura

La temperatura es un parámetro muy conservado y estable, por lo que las diferencias registradas entre los embalses son menores. Las medianas estacionales siempre tuvieron una diferencia entre embalses menor a 1 °C siendo sus valores de 25, 5°C en verano, 18,4 °C y 18 °C en otoño, 12,9 °C en invierno y 22,7 °C y 21,9 °C en primavera en Rincón del Bonete y Baygorria. Si bien las temperaturas registradas en cada sitio son similares, en Rincón del Bonete el rango de datos

presenta mayor amplitud que en Baygorria (amplitud de 21,06 °C en Rincón del Bonete y de 18,6 °C en Baygorria) (Figura 9).

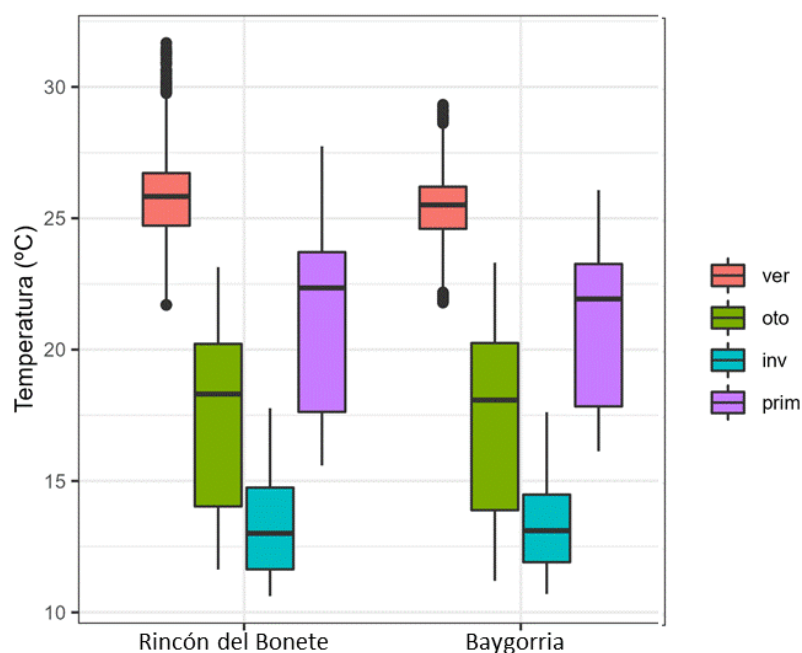


Figura 9 Variación estacional de los datos válidos de temperatura (°C) entre julio 2021 y setiembre 2022, en las estaciones de monitoreo automático del PGMA ubicadas en Rincón del Bonete (n=20794) y Baygorria (n=21261).

Oxígeno disuelto

La concentración del oxígeno disuelto fue globalmente mayor en Rincón del Bonete, donde la mediana (9,7 mg/L) fue 4% mayor que en el embalse Baygorria (9,3 mg/L). Estacionalmente, en verano y otoño la concentración de oxígeno fue levemente superior en Rincón del Bonete (8 y 7,8 mg/L en verano y 9,5 y 8,9 mg/L en otoño para Rincón del Bonete y Baygorria), en tanto que en invierno y primavera fue mayor en Baygorria (10,4 y 10,5 mg/L en invierno y 8,4 y 8,5 mg/L en primavera para Rincón del Bonete y Baygorria) (Figura 10). En ningún momento las concentraciones estuvieron por debajo del límite establecido en la normativa de 5 mg/L. En ambos sitios se midió mayor concentración de oxígeno en invierno y menor en verano. Esta observación tiene una explicación física, puesto que a menor temperatura del agua mayor es la capacidad de disolución del oxígeno. Por otra parte durante el verano se observó la mayor cantidad de valores extremos (Figura 10). En el caso de Bonete éstos se presentaron únicamente por encima de la mediana, en tanto que en Baygorria los valores extremos se presentaron mayormente por encima aunque también se registraron unos pocos por debajo de la mediana. Los registros extremos posiblemente estén asociados a picos de biomasa fitoplanctónica, donde las altas tasas de fotosíntesis pueden provocar los valores superiores, en tanto que elevadas tasas de respiración por el contrario pueden conducir a bajos valores de oxígeno.

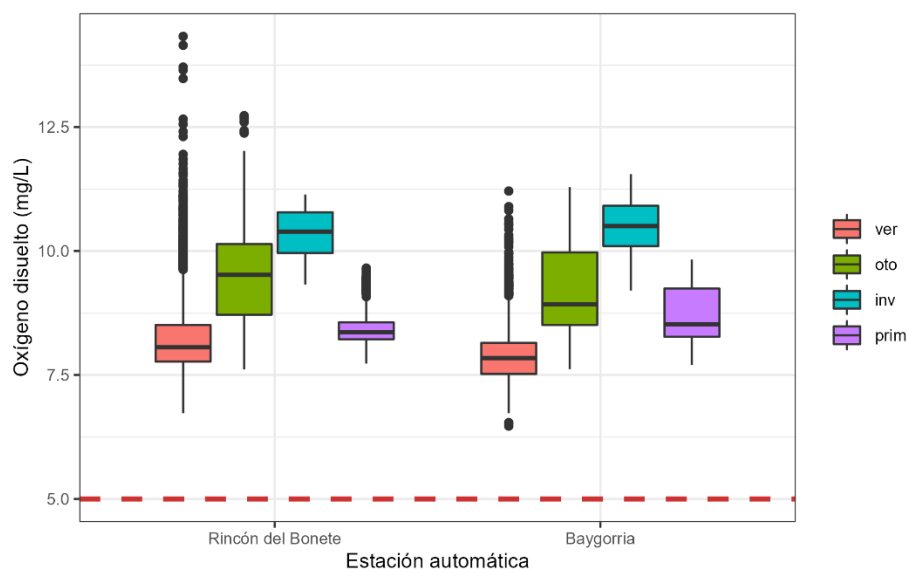


Figura 10 Variación estacional de los datos válidos de oxígeno disuelto (mg/L) entre julio 2021 y setiembre 2022, en las estaciones de monitoreo automático del PGMA ubicadas en Rincón del Bonete (n=18326) y Baygorria (n=20953). Las líneas entrecortadas indican el mínimo y máximos establecidos para las aguas Clase 3 en el Decreto 253/79.

pH

Los valores de pH tuvieron un comportamiento similar en ambos sitios, observándose una dinámica estacional donde los valores durante verano y otoño (mediana de 7,8 y 7,7 en verano y 7,8 en otoño para Rincón del Bonete y Baygorria) fueron algo mayores que durante el invierno y primavera (mediana de 7,5 para ambas estaciones y embalses) (Figura 11). Estas variaciones si bien son ligeras pueden tener una explicación biológica, similar a lo expresado para el oxígeno en tanto mayores tasas de fotosíntesis favorecen el aumento del pH y por el contrario altas tasas de respiración lo disminuyen. Por otra parte, sólo en el embalse Baygorria se registraron valores por debajo de lo establecido por el Decreto 253/79. Considerando todo el período analizado, sólo el 3% de los datos estuvieron fuera de la normativa en Rincón del Bonete y 0,5% en el caso de Baygorria.

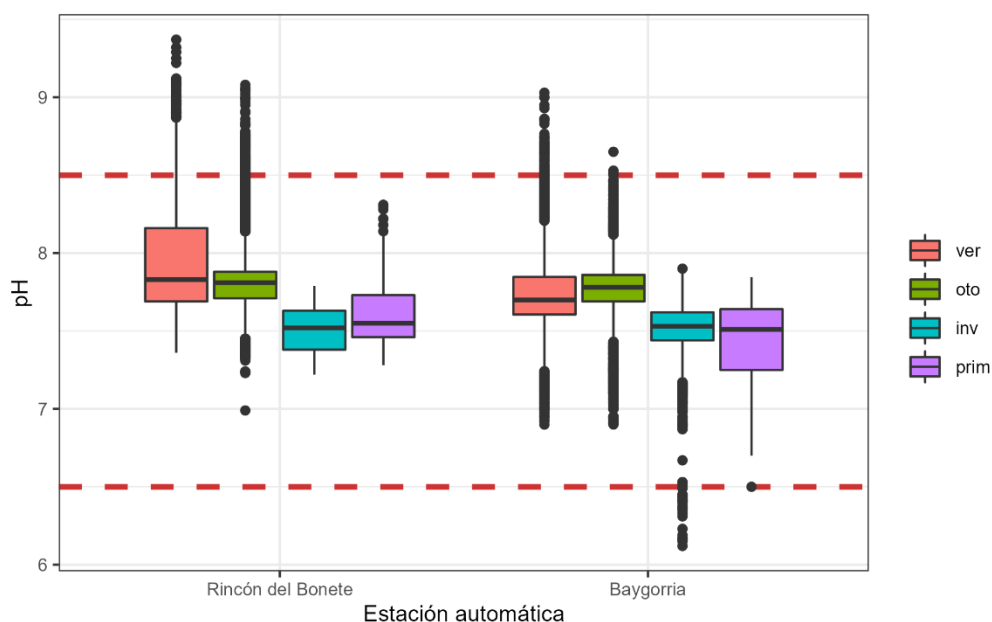


Figura 11 Variación estacional de los datos válidos de pH entre julio 2021 y setiembre 2022, en las estaciones de monitoreo automático del PGMA ubicadas en Rincón del Bonete (n=18239) y Baygorria (n=20952). Las líneas entrecortadas indican el mínimo y máximos establecidos para las aguas Clase 3 en el Decreto 253/79.

Conductividad

La conductividad mostró una dinámica estacional similar en ambos embalses durante el período de monitoreo, con valores relativamente mayores durante el verano y el otoño (mediana de 83,2 y 84,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en Rincón del Bonete y 91,2 y 91,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en Baygorria para verano y otoño respectivamente) y menores durante el invierno y la primavera (mediana de 67 y 73,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en Rincón del Bonete y de 72,6 y 81 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en Baygorria) (Figura 12). Entre estas últimas dos estaciones, el invierno presentó los menores valores. Por otra parte en términos globales, la conductividad en Bonete presentó valores ligeramente menores que Baygorria (las medianas fueron de 76,6 y 82,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente).

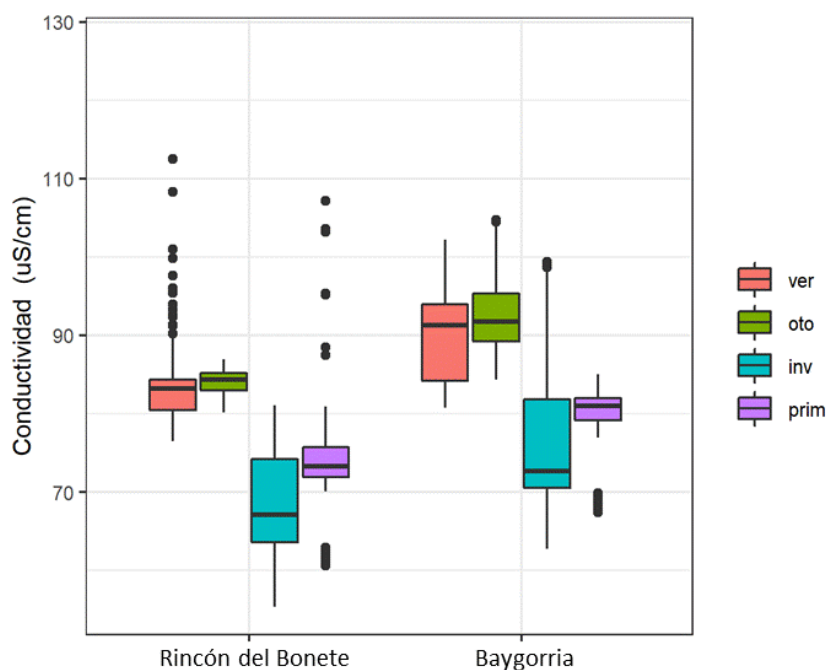


Figura 12 Variación estacional de los datos válidos de conductividad ($\mu\text{S/cm}$) entre julio 2021 y setiembre 2022, en las estaciones de monitoreo automático del PGMA ubicadas en Rincón del Bonete ($n=20976$) y Baygorria ($n=20954$).

Turbidez

Las medianas de turbidez en ambos sitios fueron iguales (27 NTU). No obstante, en Rincón del Bonete se registró una mayor frecuencia de valores extremos o atípicos. Asimismo, en la comparación estacional en Bonete se registraron los mayores valores de otoño (mediana de 38,6 NTU) a diferencia de Baygorria en donde los mayores valores se registraron en invierno (31,3 NTU) (Figura 13). Durante el período monitoreado, salvo algunos valores excepcionales que superaron la normativa (2,5% de las mediciones en Rincón del Bonete y 0,2% en Baygorria), en general los valores se mantuvieron por debajo del estándar de calidad (50 NTU).

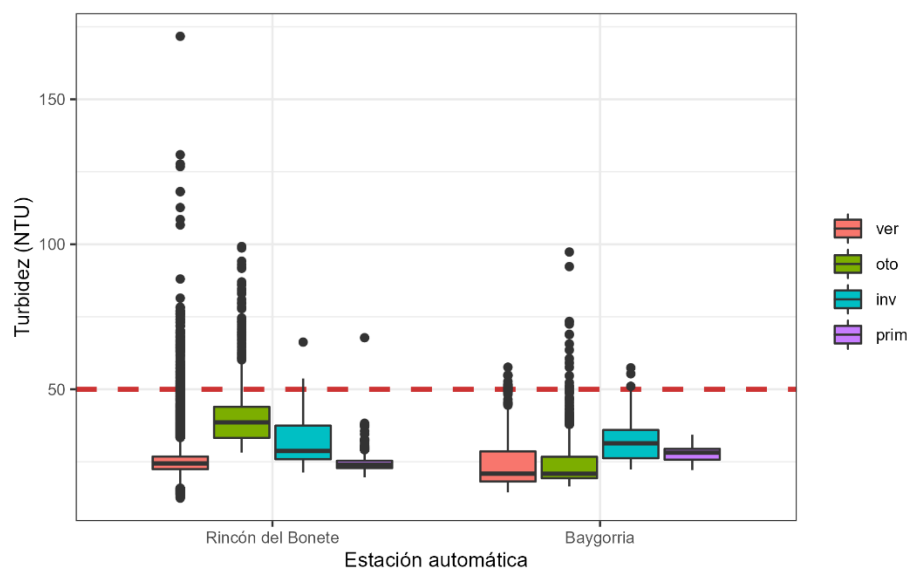


Figura 13 Variación estacional de los datos válidos de turbidez (NTU) entre julio 2021 y setiembre 2022, en las estaciones de monitoreo automático del PGMA ubicadas en Rincón del Bonete (n=16443) y Baygorria (n=19512). Las líneas entrecortadas indican el mínimo y máximos establecidos para las aguas Clase 3 en el Decreto 253/79.

4.2.2. Parámetros fisicoquímicos

A continuación se presenta la información proveniente de los muestreos estacionales de temperatura, pH, conductividad, alcalinidad, oxígeno disuelto y sólidos suspendidos totales recabada para el período.

Temperatura

La temperatura de los cuerpos de agua acompaña a la del ambiente, pero debido al elevado calor específico del agua, poseen cierta inercia térmica que determina que sus variaciones sean menos dramáticas que en el aire. En nuestro país, los cuerpos de agua tienen una temperatura media superficial aproximada de 12 °C en invierno y 25 °C en verano. La temperatura en superficie del agua presentó un promedio de 20,4 °C (N= 263) y su variación estuvo fuertemente marcada por la estacionalidad (Figura 14). La estación climática en la cual el promedio fue mayor correspondió al verano (26,4 °C) en tanto que el menor valor promedio ocurrió en invierno (14,5 °C). Por otra parte, no se registraron diferencias importantes en la temperatura del agua superficial entre las estaciones de curso de agua y embalses.

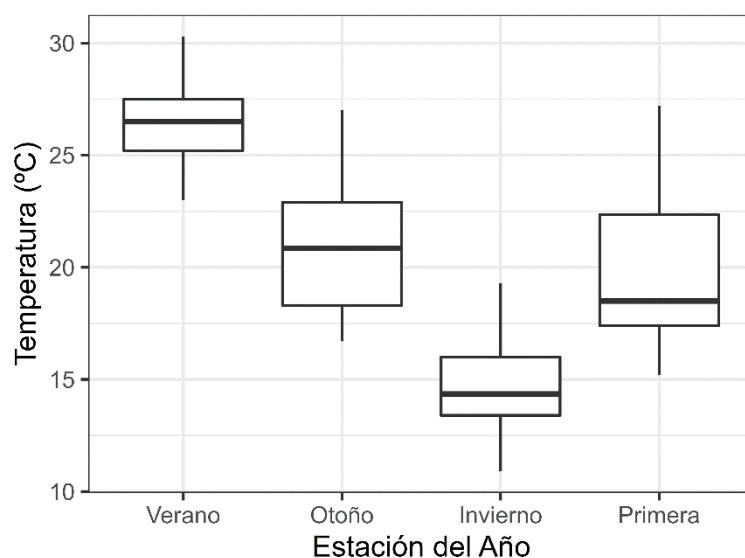


Figura 14 Registro de temperatura en el agua según las estaciones del año en el Río Negro.

pH

El pH es el logaritmo de la concentración de iones de hidrógeno y da cuenta del nivel de acidez o alcalinidad del agua. Este factor es muy importante para los procesos bioquímicos naturales. Normalmente el pH en los cuerpos de agua naturales se encuentran en valores ligeramente superiores a la neutralidad (6,5 a 7,5).

El valor promedio de pH para todo el período en el Río Negro fue de 7,5 (N=263), no observándose diferencias importantes a lo largo del curso (Figura 15). La serie temporal de pH muestra cierta variación cíclica, asociada a la estacionalidad. La misma puede estar determinada por la fotosíntesis del fitoplancton, la cual es mayor en los meses más cálidos y tiende a aumentar los valores del pH (Figura 16).

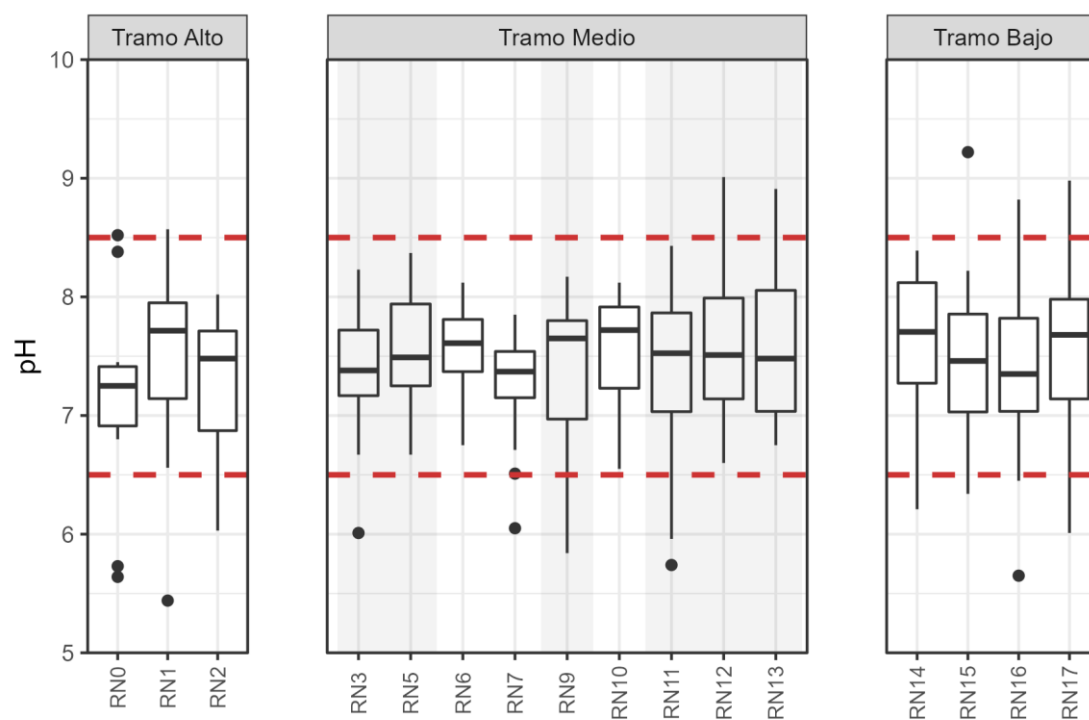


Figura 15 Variación espacial del pH a lo largo del Río Negro. Las áreas grises dentro del tramo medio indican las estaciones ubicadas en embalses. Las líneas entrecortadas indican el mínimo y máximos establecidos para las aguas Clase 3 en el Decreto 253/79.

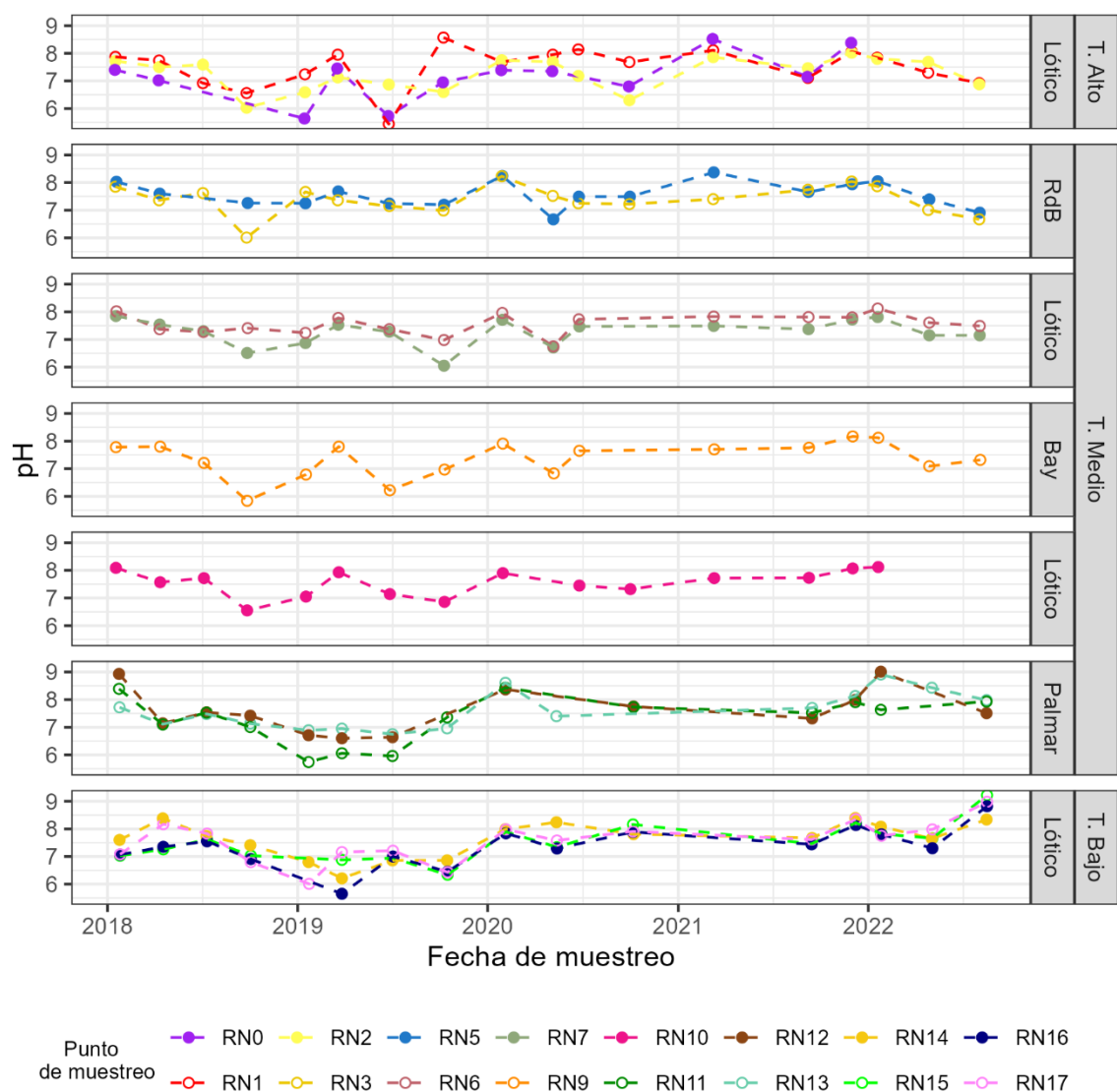


Figura 16. Variación temporal del pH a lo largo del Río Negro. T. alto= tramo alto, T. medio= tramo medio, T. bajo= tramo bajo. RdB= embalse Rincón del Bonete, Bay= embalse Baygorria.

Conductividad

La conductividad eléctrica es un indicador de la cantidad de iones disueltos en el agua. El promedio de conductividad para todo el período en el Río Negro fue de 96,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (N=263). Especialmente, en el tramo de la cuenca alta se observaron elevados valores de conductividad (promedio = 124,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$) en relación a los restantes tramos, con una tendencia a su disminución (Figura 17). El tramo medio del Río Negro presenta cierta estabilización de los valores de conductividad, con un promedio de 89,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en tanto que en el tramo bajo el mismo tiende a aumentar nuevamente a lo largo del curso (promedio de 101,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

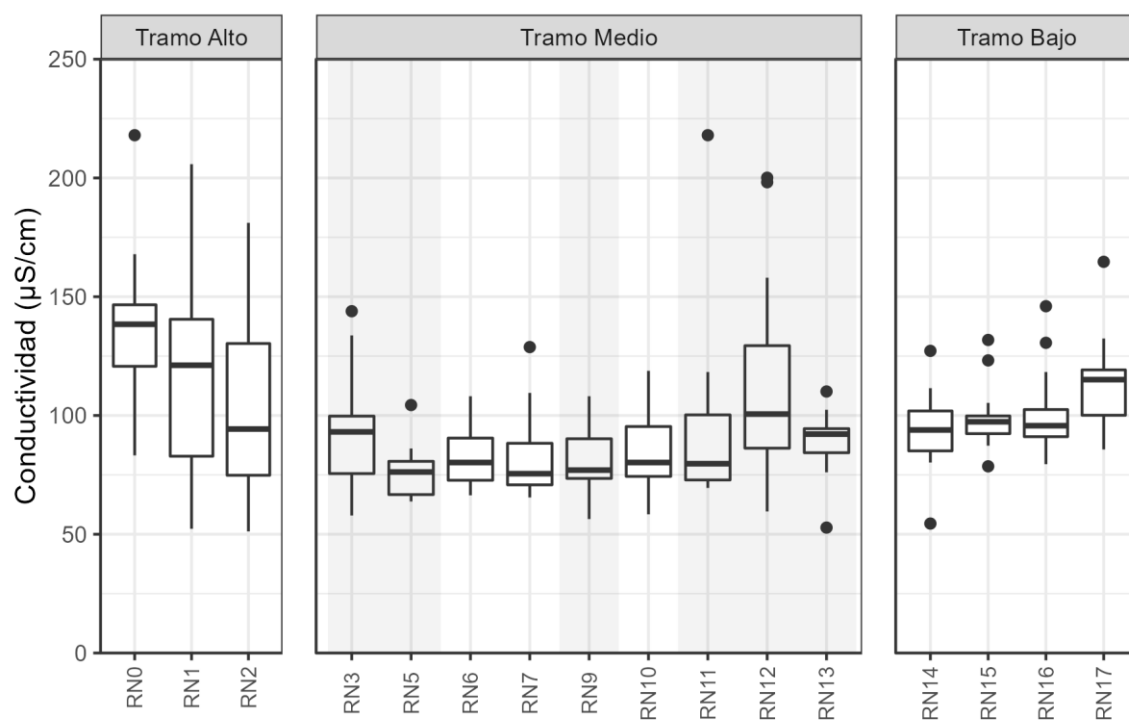


Figura 17. Variación espacial de la conductividad a lo largo del Río Negro. Las áreas grises dentro del tramo medio indican las estaciones ubicadas en embalses.

A lo largo del período de estudio no se observaron tendencias de incremento o disminución de la conductividad (Figura 18). No obstante, la variabilidad observada en las estaciones del tramo superior del río fue mayor que en el resto de las estaciones.

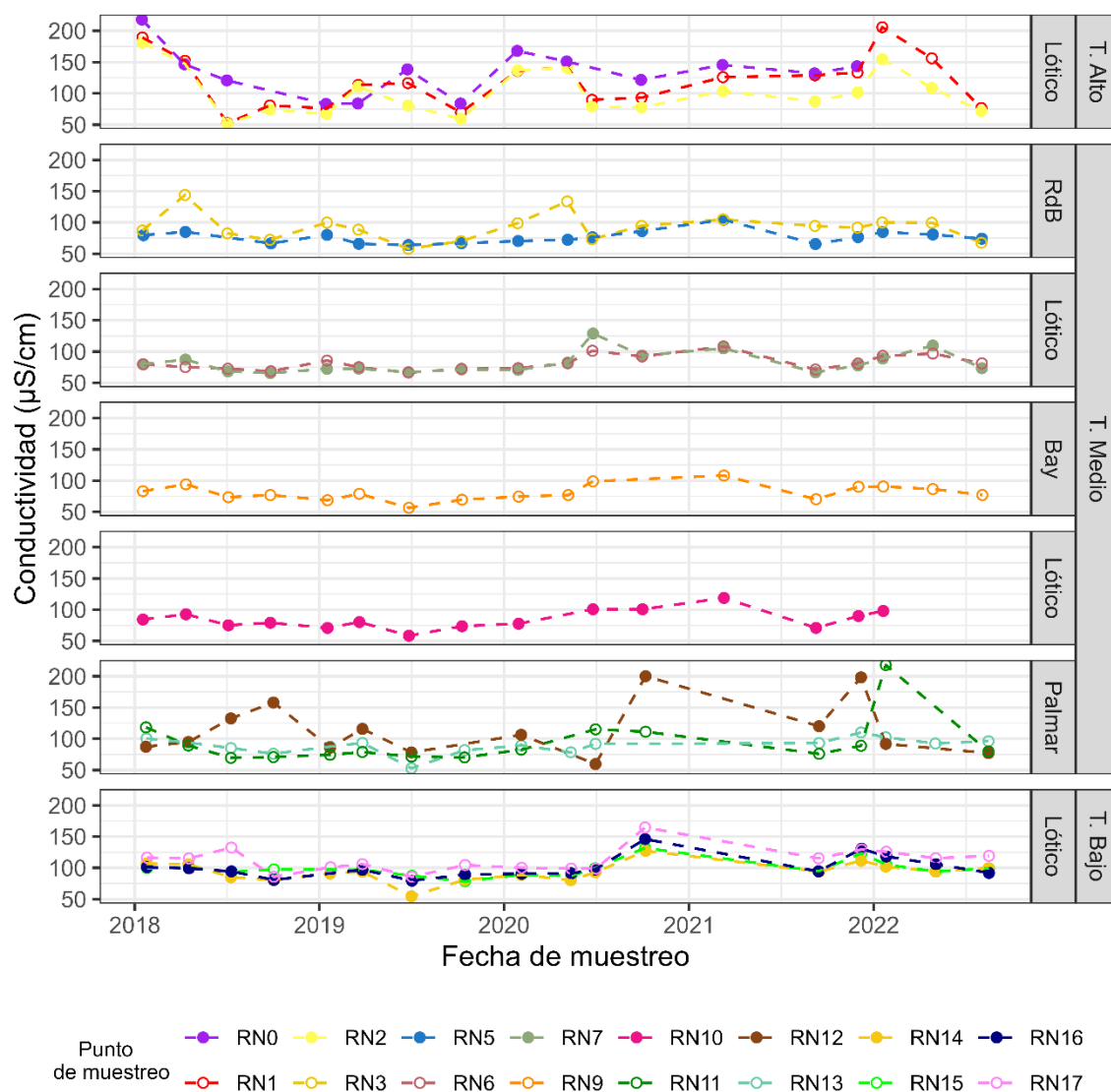


Figura 18. Variación temporal de la conductividad a lo largo del Río Negro. T. alto= tramo alto, T. medio= tramo medio, T. bajo= tramo bajo. RdB= embalse Rincón del Bonete, Bay= embalse Baygorria.

Oxígeno disuelto

El oxígeno es un gas que se encuentra disuelto en el agua. Además de los procesos biológicos de respiración o descomposición de la materia orgánica que lo consumen y la fotosíntesis que lo produce, su solubilidad aumenta con la disminución de la temperatura. Por este motivo en invierno existe una tendencia a registrarse mayores concentraciones de oxígeno que en verano. Por otra parte, los cuerpos de agua con gran cantidad de plantas y/o fitoplancton experimentan grandes variaciones de oxígeno a lo largo del día, presentando valores elevados (10 mg/L) durante las horas de mayor luminosidad y valores bajos (6 mg/L) durante las horas nocturnas. Valores por debajo de este último indican afectaciones por exceso de materia orgánica, cuya descomposición consume oxígeno. El decreto 253/79 el cual es la norma de calidad de agua vigente en nuestro país, establece un mínimo aceptable de 5 mg/L en los cursos de agua naturales.

A lo largo del Río Negro el oxígeno disuelto se encontró por encima del límite establecido en la norma, siendo su promedio de 8,7 mg/L y no registrándose diferencias importantes entre tramos. (Figura 19). En el tramo de la cuenca alta del Río Negro el promedio de los valores de oxígeno disuelto (7,8 mg/L) fueron algo inferiores a los restantes tramos, siendo el tramo medio de 8,8 mg/L y el del tramo inferior, de 9,0 mg/L.

A lo largo de la serie temporal no se encontraron tendencias de incremento o disminución (Figura 20). No obstante, se pueden observar las variaciones anuales relacionadas con la temperatura del agua.

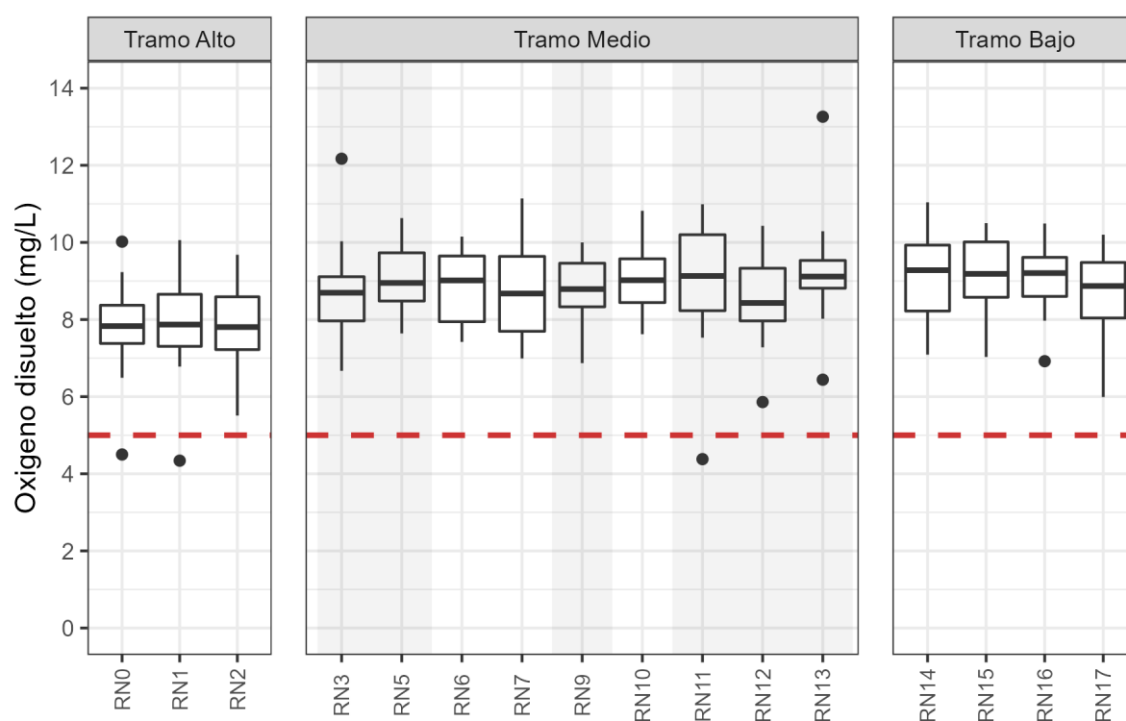


Figura 19. Variación espacial de la concentración de oxígeno en el agua a lo largo del Río Negro. Las áreas grises dentro del tramo medio indican las estaciones ubicadas en embalses. La línea entrecortada indica el mínimo establecido para las aguas naturales en el Decreto 253/79.

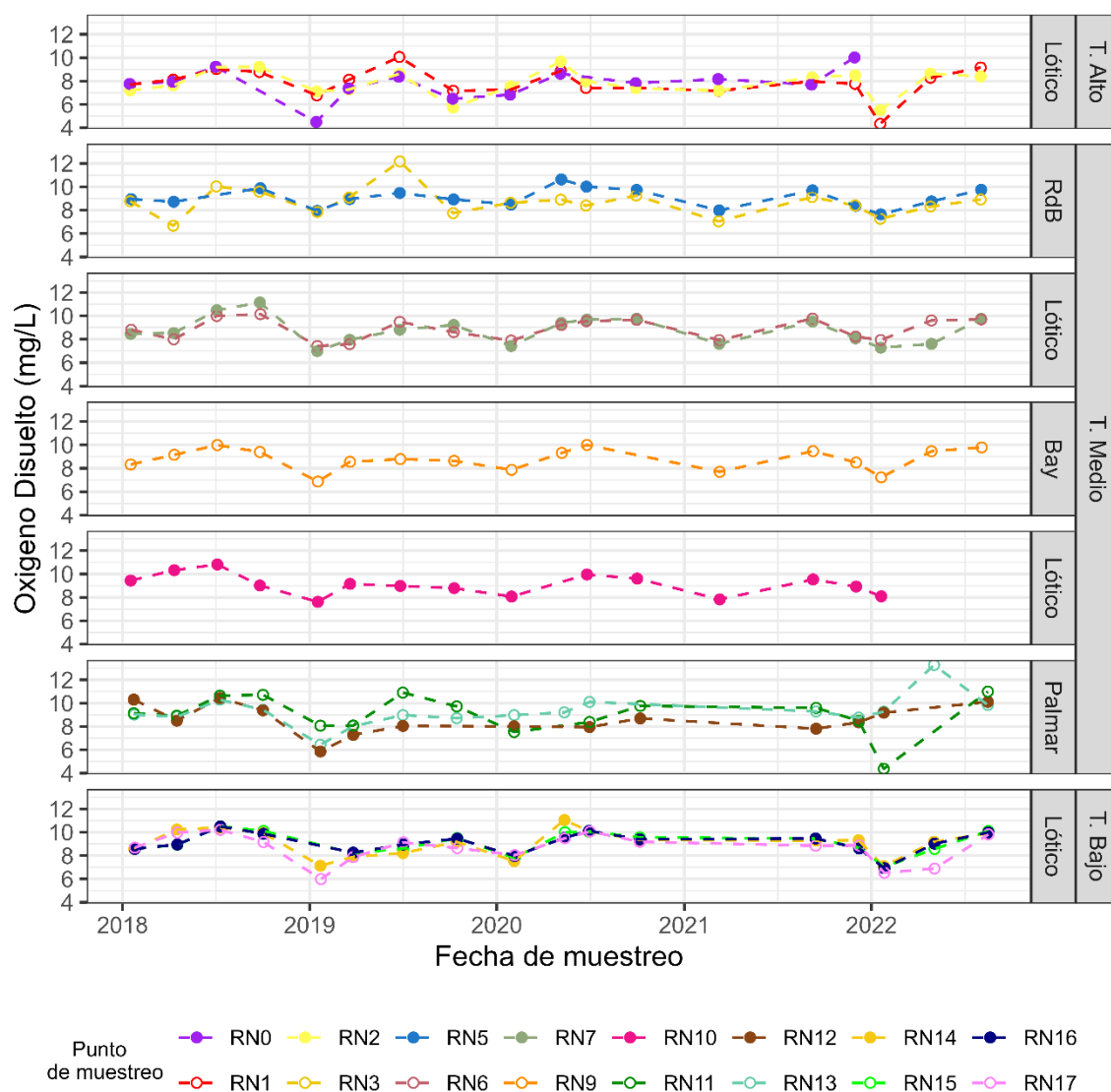


Figura 20 Variación temporal de la concentración de oxígeno en el agua lo largo del Río Negro. T. alto= tramo alto, T. medio= tramo medio, T. bajo= tramo bajo. RdB= embalse Rincón del Bonete, Bay= embalse Baygorria.

Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales comprenden las partículas sólidas que se encuentran suspendidas en el agua y pueden ser retenidas por filtración. Su origen está principalmente en las partículas del suelo (limos y arcillas), aunque también pueden tener un origen orgánico. Estas partículas pueden adsorber moléculas de sustancias contaminantes y nutrientes y por otra parte afectar la penetración de la luz en el agua, lo que tiene importantes implicancias en el funcionamiento del ecosistema acuático.

Los sólidos suspendidos totales en la serie temporal 2018-2022 en el Río Negro mostraron un patrón de distribución espacial caracterizado por una mayor concentración en la cuenca alta (promedio de 52,1 mg/L), disminuyendo en forma muy importante hacia el tramo medio

(promedio de 9,0 mg/L), manteniéndose luego en valores similares en el tramo bajo (promedio de 14,6 mg/L (Figura 21).

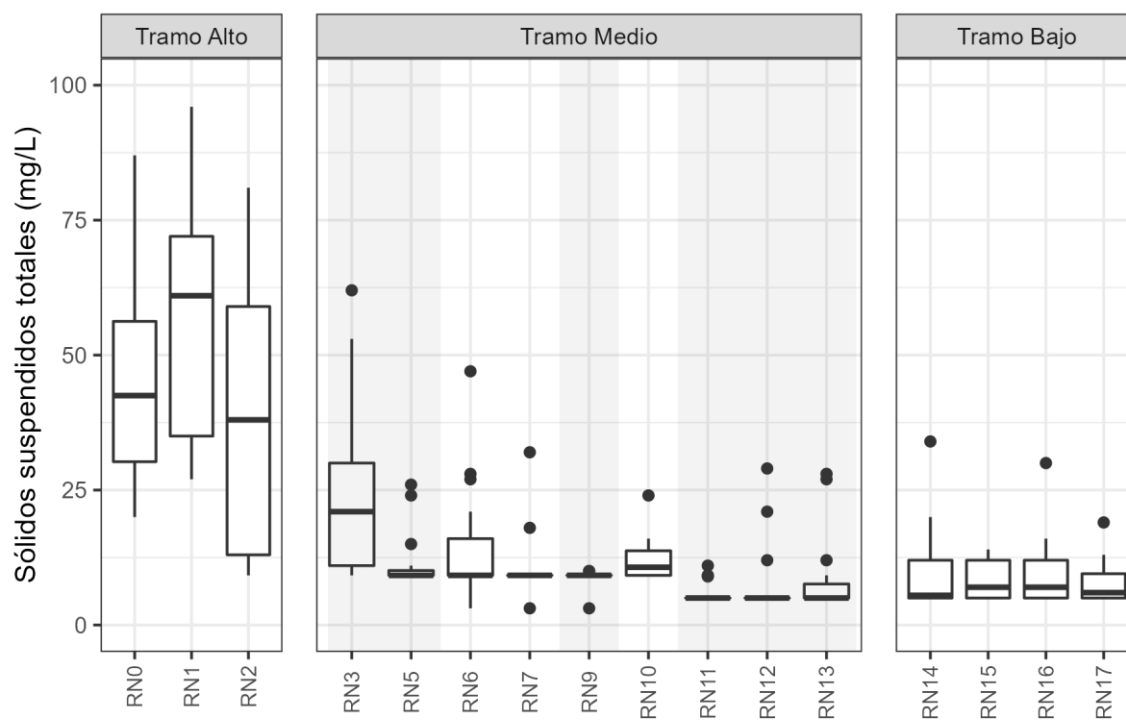


Figura 21 Variación espacial de la concentración de sólidos suspendidos totales en el agua a lo largo del Río Negro. Las áreas grises dentro del tramo medio indican las estaciones ubicadas en embalses.

No se observaron tendencias de incremento o decrecimiento a lo largo del período en estudio (Figura 22). No obstante, la variabilidad de este parámetro en las estaciones de monitoreo del tramo alto fue mucho mayor que en el resto de los tramos.

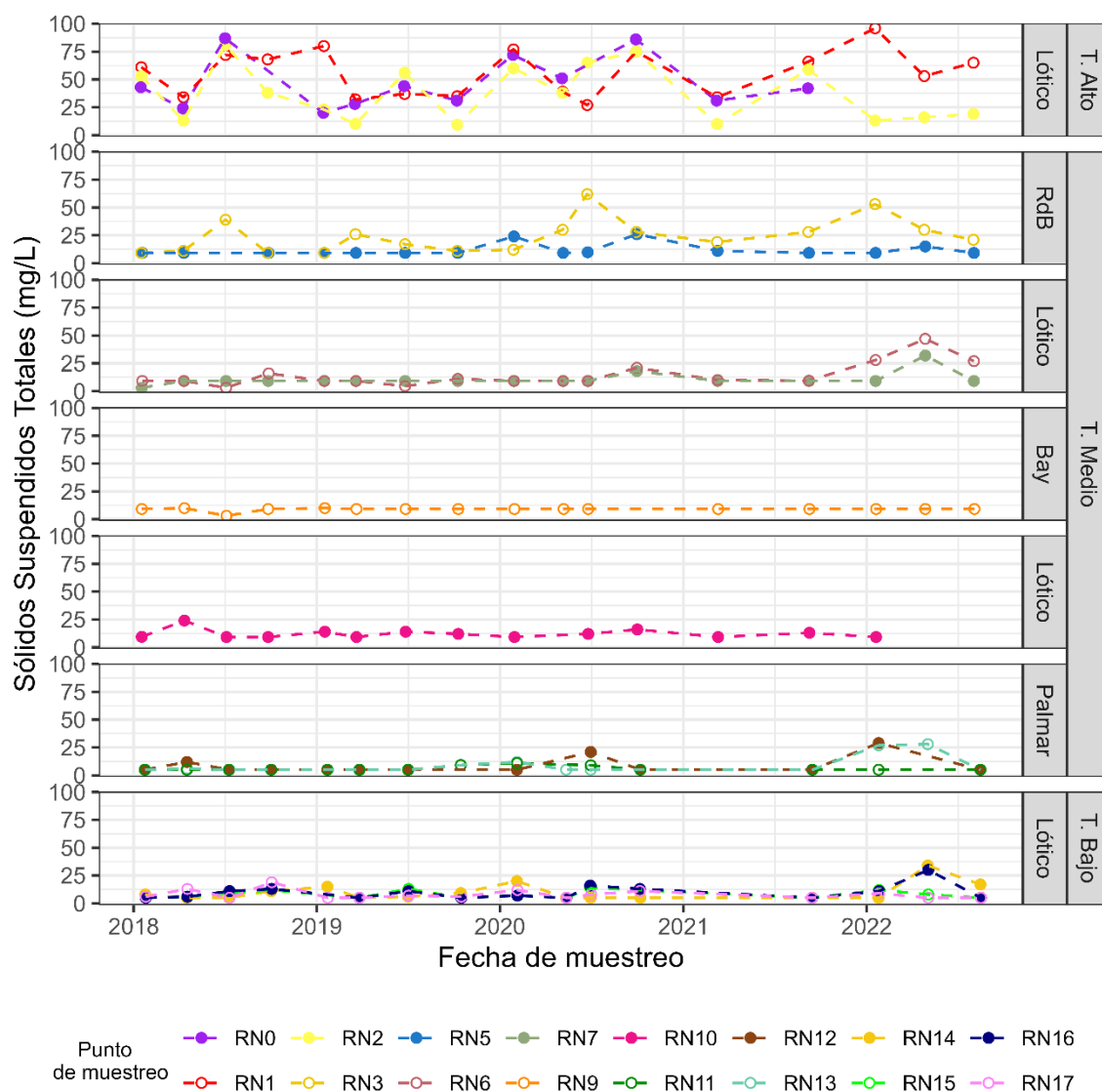


Figura 22 Variación temporal de la concentración de sólidos suspendidos totales en el agua lo largo del Río Negro. T. alto= tramo alto, T. medio= tramo medio, T. bajo= tramo bajo. RdB= embalse Rincón del Bonete, Bay= embalse Baygorria.

Nitrógeno Total

Junto con el fósforo, el nitrógeno es uno de los nutrientes más importantes de los ambientes acuáticos. En los cuerpos de agua dulce, el nitrógeno se encuentra en mayores concentraciones que el fósforo (normalmente de un orden de magnitud superior). Los altos valores de concentración de nitrógeno, al igual que los de fósforo, se asocian a vertidos de efluentes domésticos e industrias que procesan productos de origen animal o vegetal, así como a la escorrentía de suelos sometidos a agricultura o cría de animales.

A lo largo del curso del Río Negro, el nitrógeno total (NT) experimentó variaciones (Figura 23). En el tramo alto los valores fueron más elevados (promedio 1,7 mg/L), presentando una tendencia a disminuir aguas abajo. En el tramo medio este parámetro se registró en general en menores concentraciones (promedio 0,94 mg/L), con excepción de la primera estación del tramo y la

estación adyacente a la desembocadura del río Yí. Finalmente en el tramo bajo del Río Negro, los valores de NT se mantienen similares al tramo de embalses (promedio 0,98 mg/L), con la excepción de la última estación, la cual registró un aumento en su concentración.

En la serie temporal en tanto no se observaron tendencias en el período (Figura 24).

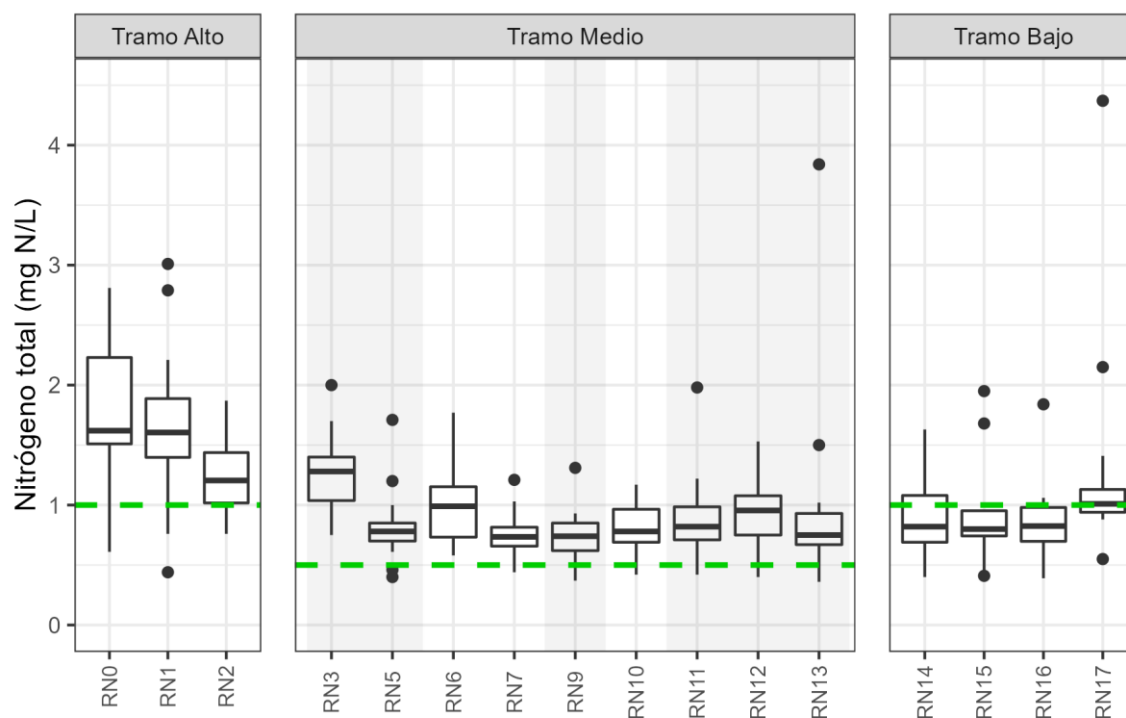


Figura 23 Variación espacial de la concentración de nitrógeno total en el agua a lo largo del Río Negro. Las áreas grises dentro del tramo medio indican las estaciones ubicadas en embalses. La línea verde entrecortada indica el máximo establecido en la propuesta.

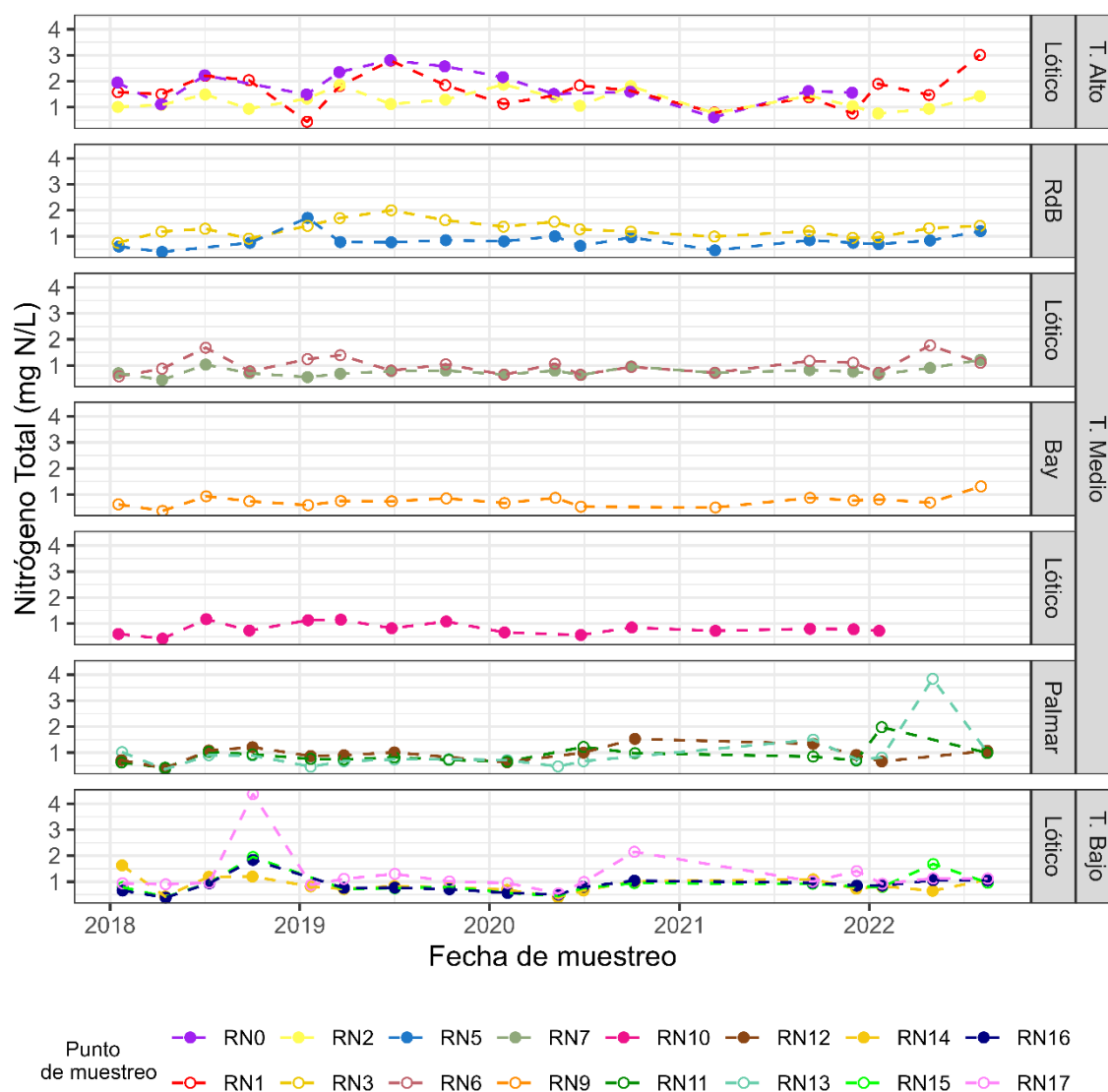


Figura 24 Variación temporal de la concentración de nitrógeno total en el agua lo largo del Río Negro. T. alto= tramo alto, T. medio= tramo medio, T. bajo= tramo bajo. RdB= embalse Rincón del Bonete, Bay= embalse Baygorria.

Nitrato

El nitrato es el principal ion del nitrógeno disuelto en el agua. Cuando las concentraciones de nitrato son elevadas en relación al nitrógeno total, se debe a la descarga de efluentes o de escorrentía de campos agrícolas.

La concentración de nitrato en el curso del Río Negro experimentó mayor variación en relación al NT en los tres tramos (Figura 25). El tramo alto presentó la mayor concentración promedio (0,25mg/L) aunque con una tendencia decreciente a lo largo del tramo. En el tramo de embalses el promedio fue similar al tramo alto, con una tendencia de aumento hacia la cola de Palmar pero una disminución hacia la cabecera. El promedio de este tramo fue de 0,19 mg/L. Finalmente en el tramo bajo los valores se mantienen similares a las estaciones de embalses, siendo el promedio de este tramo 0,22mg/L.

En la serie temporal no se observaron tendencias francas (Figura 26). En la primera estación de monitoreo (RN0) se observó una importante variabilidad, con varios picos a lo largo del período.

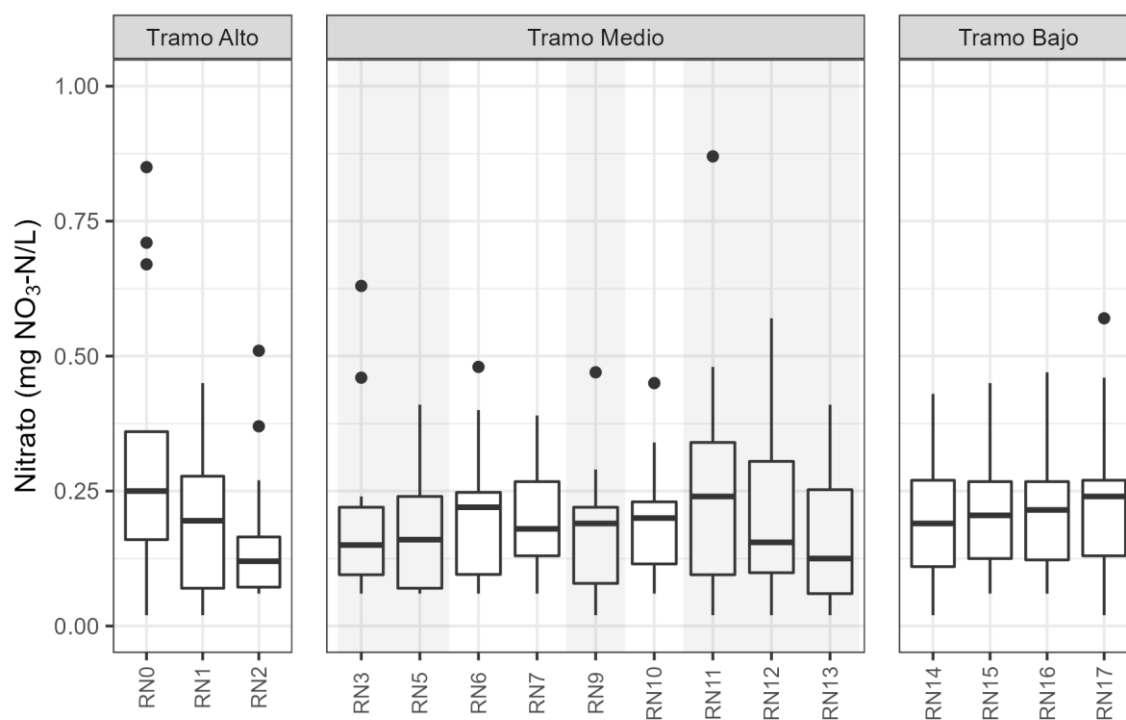


Figura 25 Variación espacial de la concentración de nitrato en el agua a lo largo del Río Negro. Las áreas grises dentro del tramo medio indican las estaciones ubicadas en embalses.

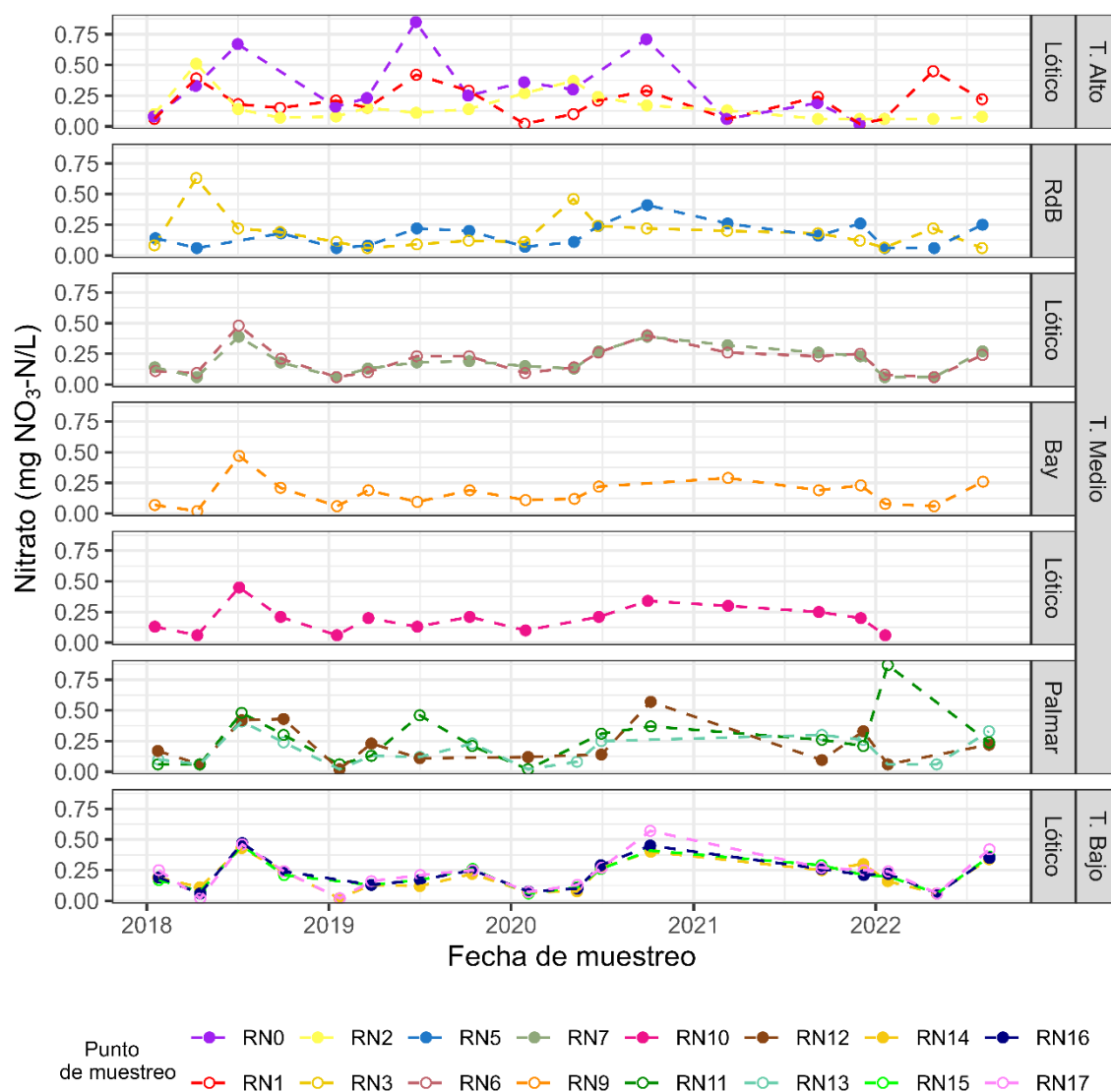


Figura 26. Variación temporal de la concentración de nitrato en el agua lo largo del Río Negro. T. alto= tramo alto, T. medio= tramo medio, T. bajo= tramo bajo. RdB= embalse Rincón del Bonete, Bay= embalse Baygorria.

Amonio

El amonio es otro ion importante del nitrógeno. En aguas naturales y con buenos niveles de oxígeno se encuentra en menores concentraciones que el nitrato. Su presencia puede evidenciar descargas de fuentes con elevado contenido de materia orgánica.

En el Río Negro, el amonio en el tramo alto presentó los mayores valores de concentración (promedio de 0,10 mg/L) (Figura 27). En el tramo de los embalses experimentó una disminución, fundamentalmente entre las estaciones RN3 (San Gregorio de Polanco) y RN5 (represa Gabriel Terra). En el tramo medio los datos fueron por una parte más homogéneos (la diferencia entre el percentil 25 y el 75 e incluso entre los percentiles 5 y 95 es menor que en los datos del tramo alto) pero a su vez presentaron varios valores puntuales superiores al percentil 25. En ese tramo asimismo destaca el aumento abrupto para este parámetro en la estación RN12 ubicada en la

confluencia del río Yí. El tramo bajo por su parte presentó valores de concentración similares al tramo medio, aunque con una tendencia de incremento hacia las dos últimas estaciones (Figura 27).

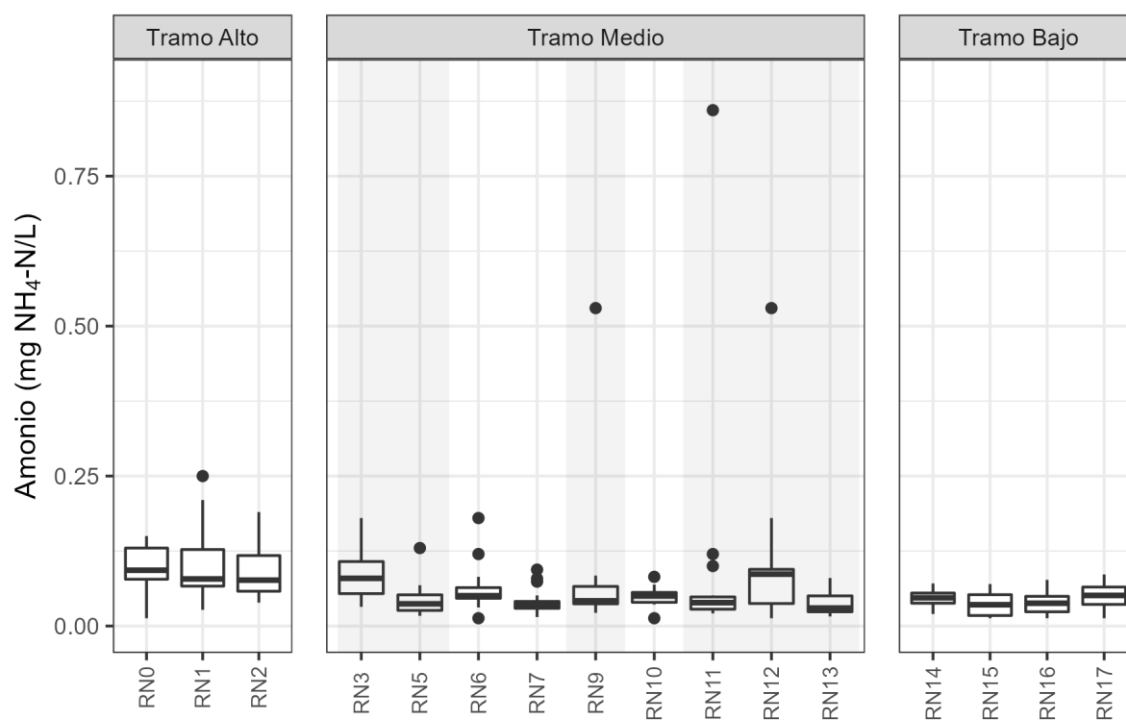


Figura 27. Variación espacial de la concentración de amonio en el agua a lo largo del Río Negro. Las áreas grises dentro del tramo medio indican las estaciones ubicadas en embalses.

La serie temporal tampoco manifestó tendencias para este parámetro (Figura 28).

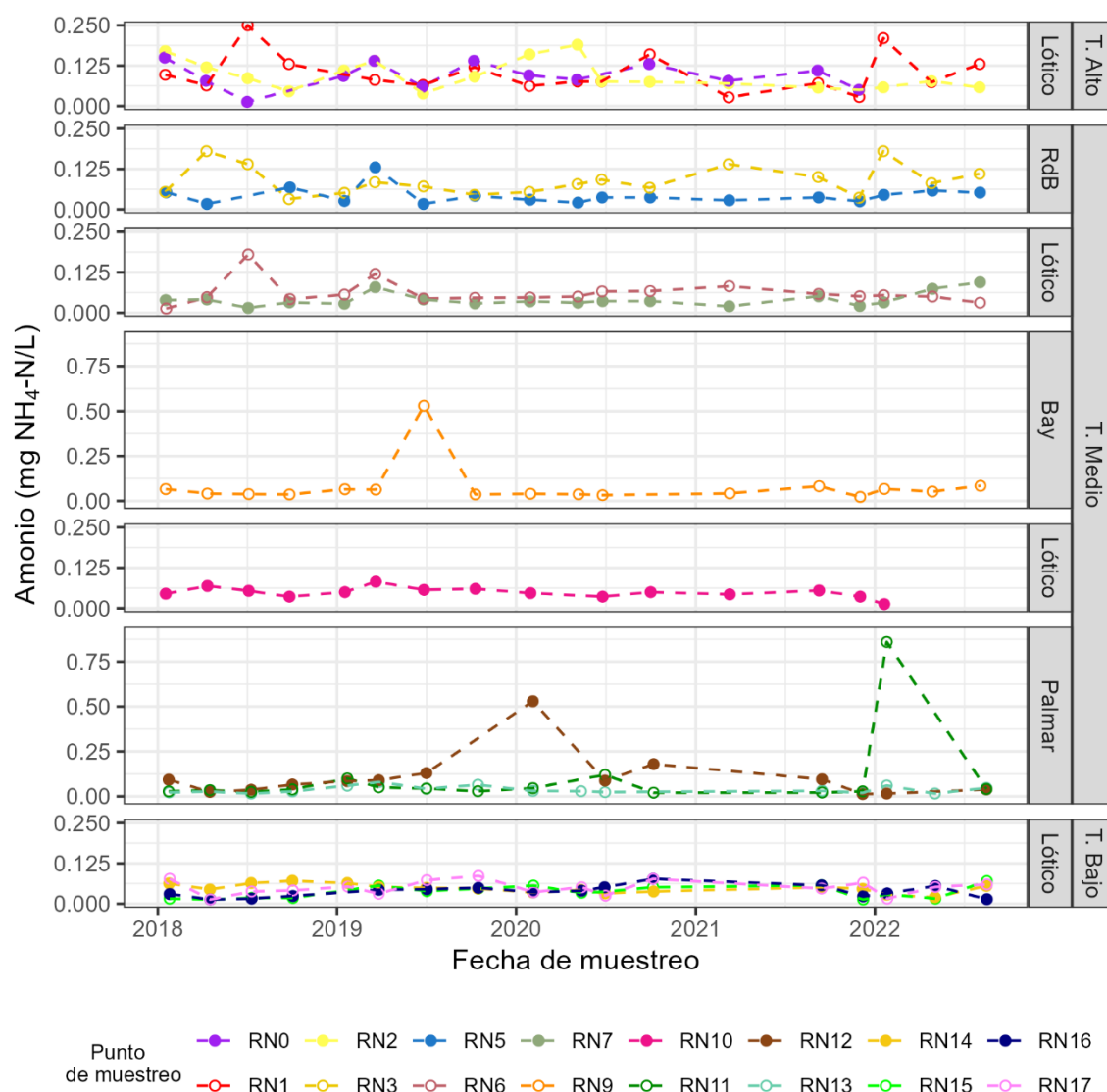


Figura 28. Variación temporal de la concentración de amonio en el agua lo largo del Río Negro. T. alto= tramo alto, T. medio= tramo medio, T. bajo= tramo bajo. RdB= embalse Rincón del Bonete, Bay= embalse Baygorria.

Fósforo Total

El fósforo es uno de los nutrientes más importantes para el funcionamiento de los ambientes acuáticos y está directamente relacionado con la cantidad de organismos que los habitan. Los ambientes con grandes cantidades de fósforo presentan importantes cantidades de vegetación, o en su lugar de fitoplancton, lo que puede afectar negativamente la calidad del agua. El aporte excesivo de fósforo puede provenir de la erosión de los suelos o del lavado de parte de los fertilizantes utilizados en la agricultura. También puntualmente puede provenir de aguas residuales tanto domésticas como de industrias que procesan productos de origen animal o vegetal.

El comportamiento del fósforo total (PT) en el curso del Río Negro fue similar a lo observado para el nitrógeno (Figura 29): el tramo alto presentó elevados valores (promedio 158 µg/L), siendo a su

vez mayores cuanto más arriba se encuentre el sitio; en el tramo medio los valores se moderaron (promedio 116 $\mu\text{g/L}$), aunque existieron algunos sitios con mayores valores (primera estación del tramo y la adyacente a la desembocadura del río Yí); finalmente el tramo más bajo presentó una tendencia de incremento aguas abajo y un promedio similar al tramo medio (promedio 128 $\mu\text{g/L}$). Por otra parte todos los valores de este parámetro se encontraron por encima del límite establecido en el Decreto 253/79 (25 $\mu\text{g/L}$). Esta situación se da para la mayoría de los registros en todos los cuerpos de agua monitoreados y da cuenta primeramente de que el valor establecido en la norma es sumamente restrictivo y poco realista. Ello no significa que en muchos lugares la concentración de PT no se encuentre en valores ciertamente elevados y se deba trabajar en políticas que tiendan a reencauzar esta situación, lo cual forma parte de las líneas de acción del MA vinculadas a la preservación de los recursos hídricos.

Por otro lado, la serie temporal no muestra tendencias claras de incremento o disminución del PT a lo largo del período estudiado (Figura 30).

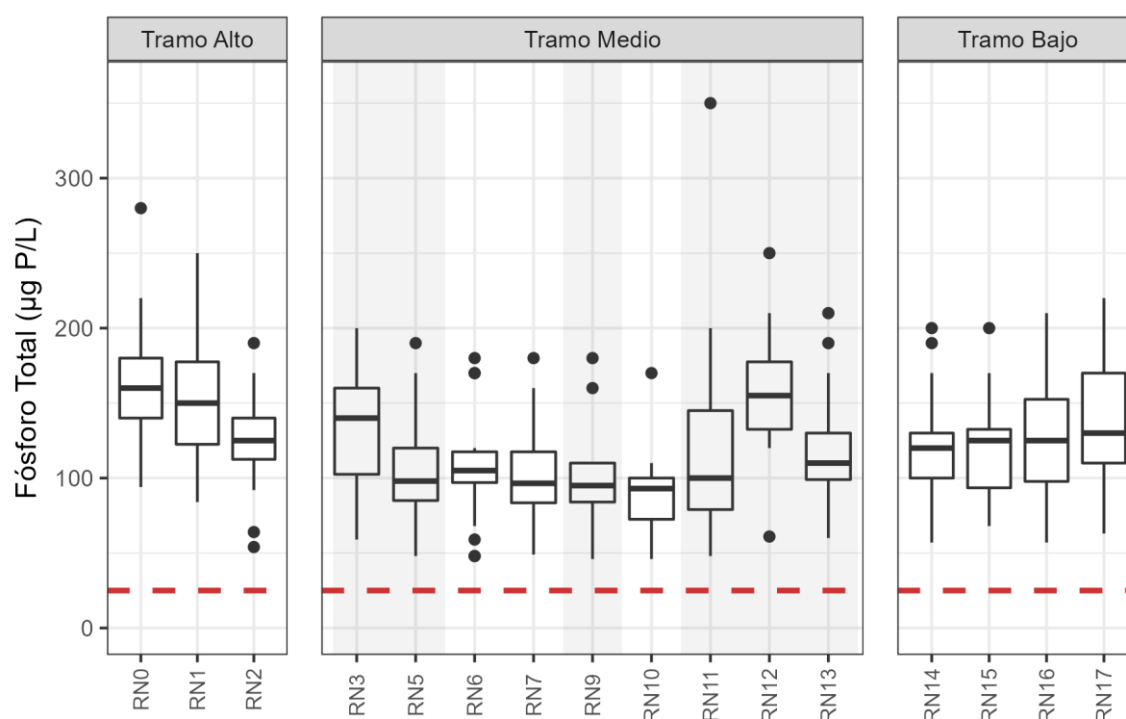


Figura 29. Variación espacial de la concentración de fósforo total en el agua a lo largo del Río Negro. Las áreas grises dentro del tramo medio indican las estaciones ubicadas en embalses. La línea entrecortada indica el máximo establecido para las aguas naturales en el Decreto 253/79.

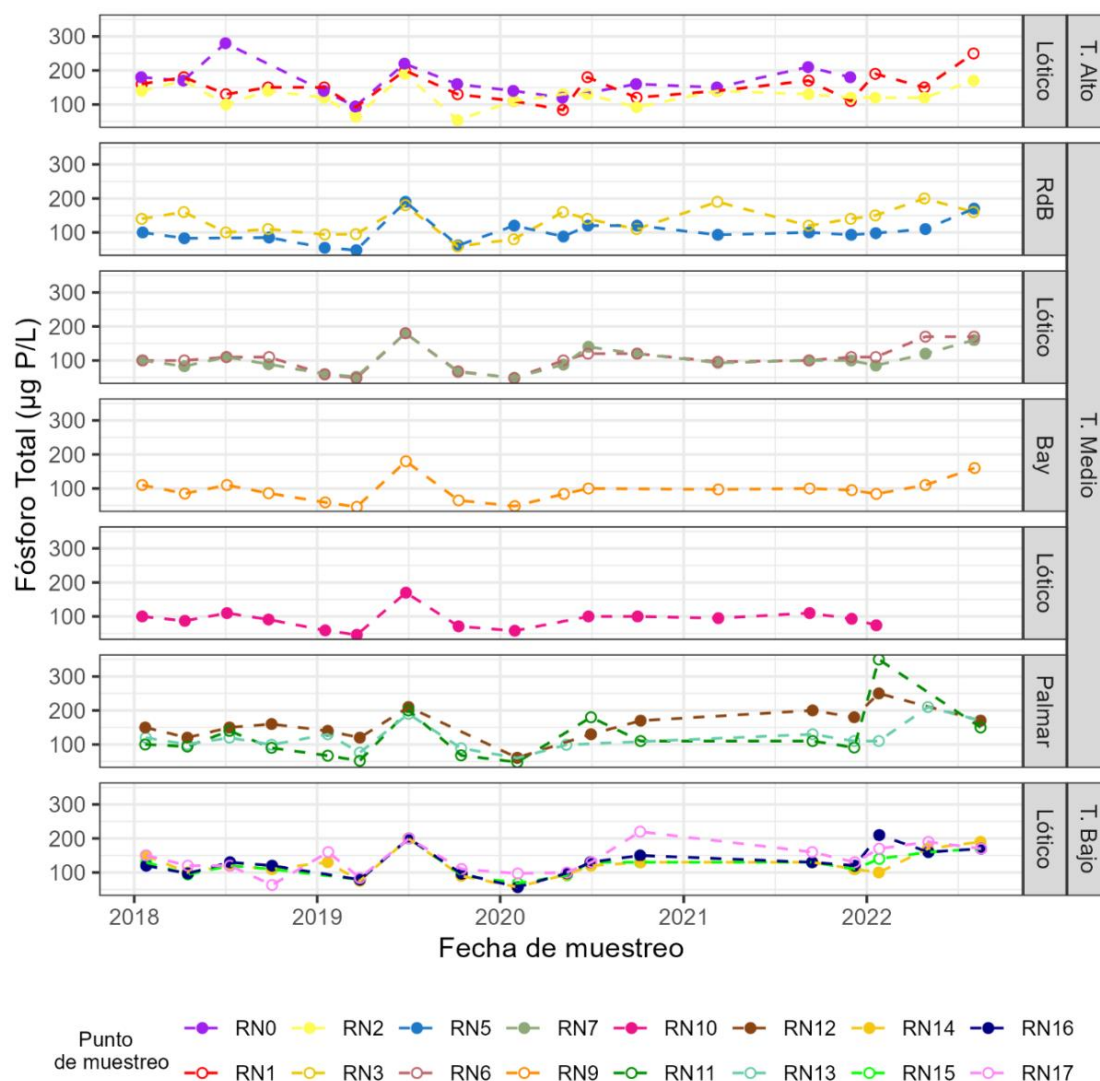


Figura 30. Variación temporal de la concentración de fósforo total en el agua lo largo del Río Negro. T. alto= tramo alto, T. medio= tramo medio, T. bajo= tramo bajo. RdB= embalse Rincón del Bonete, Bay= embalse Baygorria.

Fosfato

El fosfato es la fracción disuelta del fósforo en el agua. Normalmente su concentración se encuentra muy por debajo de la del fósforo total (el cual lo contiene). Sin embargo, cuando las concentraciones de fosfato representan una alta proporción del fósforo total, se debe a la descarga de efluentes o de la pérdida de fertilizantes no adsorbidos al suelo en la escorrentía de campos agrícolas.

La distribución del fosfato en el curso del Río Negro siguió el mismo patrón ya observado para los anteriores nutrientes (Figura 31). El promedio en el tramo superior fue de 85 µg/L, en el tramo medio el mismo fue de 66 µg/L en tanto que en el tramo inferior fue de 84 µg/L. Se destaca el elevado valor puntual de la estación adyacente al río Yí, la cual si bien para los restantes parámetros también presentó valores más elevados que las estaciones vecinas, en este caso el incremento fue mayor.

La serie temporal tampoco mostró un patrón de incremento o disminución a lo largo del período para este parámetro (Figura 32).

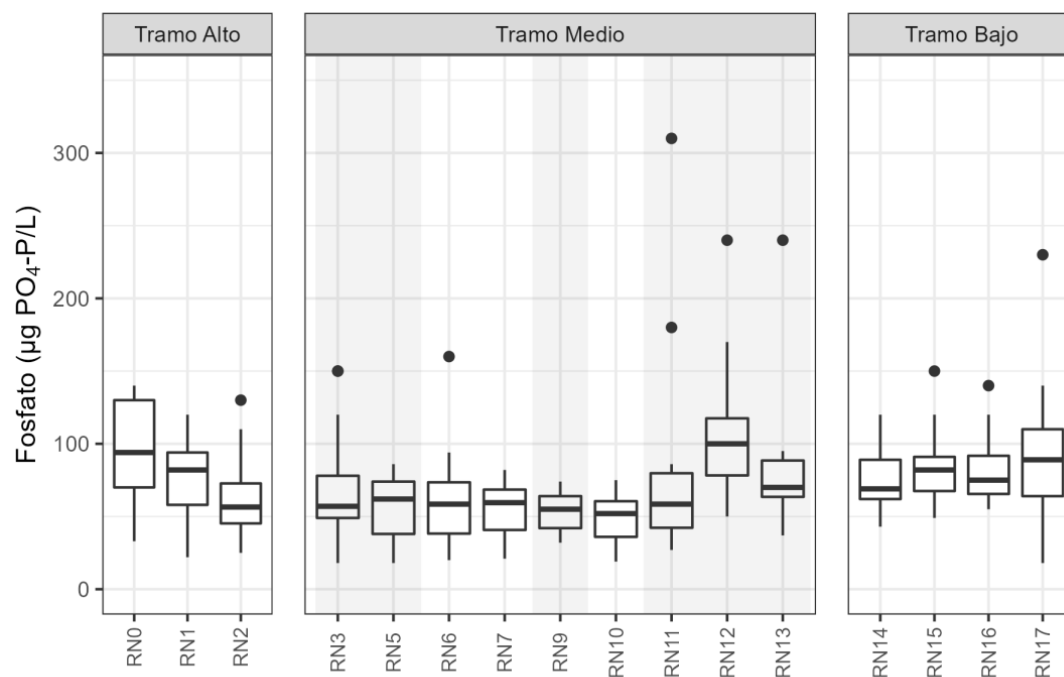


Figura 31 Variación espacial de la concentración de fosfato en el agua a lo largo del Río Negro. Las áreas grises dentro del tramo medio indican las estaciones ubicadas en embalses.

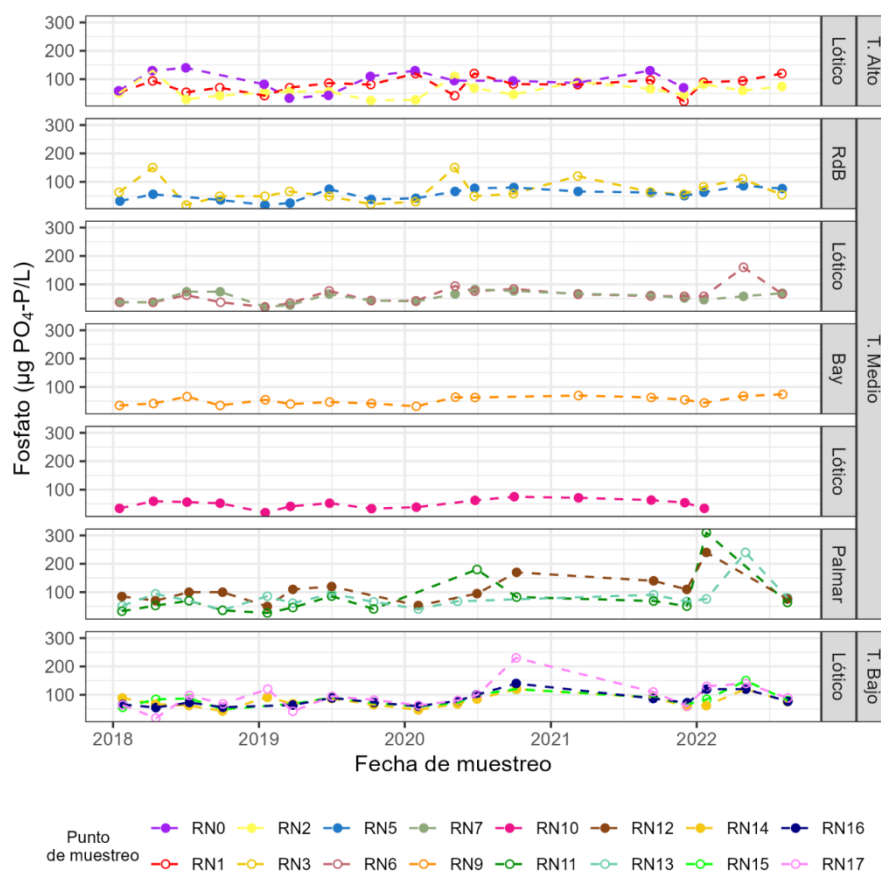


Figura 32 Variación temporal de la concentración de fosfato en el agua lo largo del Río Negro. T. alto= tramo alto, T. medio= tramo medio, T. bajo= tramo bajo. RdB= embalse Rincón del Bonete, Bay= embalse Baygorria.

Índice de Estado Trófico en Embalses (IET_{tsr})

El índice de estado trófico de embalses tropicales y subtropicales (IET_{tsr}) aplicado empleando únicamente el fósforo total, indica que la mayoría de las estaciones de los embalses del Río Negro durante el período comprendido (2018-2022) se encontraron en estado eutrófico (Tabla 6).

Tabla 6 Estado trófico de los embalses del Río Negro, según el IET tsr para el promedio de los datos medidos entre 2018 y 2022.

Embalse	Estación	IET tsr	Estado Trófico
Bonete	RN3	60	Eutrófico
Bonete	RN5	59	Eutrófico
Baygorria	RN9	59	Mesotrófico
Palmar	RN11	60	Eutrófico
Palmar	RN12	61	Eutrófico
Palmar	RN13	60	Eutrófico

4.2.3. Parámetros biológicos

Coliformes termotolerantes

Los coliformes termotolerantes son microorganismos que habitan el tracto intestinal de los animales de sangre caliente y por tanto son indicadores de contaminación con materia fecal a la vez que presentan un importante potencial de patogenicidad. La presencia en los cuerpos de agua puede ser de origen natural debido a la presencia de aves u otros organismos de sangre caliente. El acceso del ganado al agua así como la descarga de aguas servidas sin tratamientos adecuados puede aumentar la concentración de coliformes termotolerantes.

En el curso del Río Negro, la presencia de coliformes termotolerantes cumplió con lo estipulado por la norma vinculante: para los cuerpos de agua Clase 3, la concentración de coliformes termotolerantes debe ser inferior a 2000 UFC/100 mL en al menos 5 muestras consecutivas, debiendo la media geométrica de las mismas estar por debajo de 1000 CF/100 mL. No obstante, se destacan dos sitios con mayor concentración de estos microorganismos. El sitio RN1 cuyo promedio fue de 444 UFC/100 mL y en el sitio RN16 donde fue de 426 UFC/100 mL.

Concentración de clorofila-a en muestras de agua

La clorofila-a en el agua es un estimador de la biomasa de fitoplancton. Es un parámetro altamente variable debido a que la comunidad del fitoplancton es muy dinámica, donde factores como la temperatura, cantidad de luz en el agua, tiempo de residencia, turbulencia y cantidad de nutrientes tienen importante incidencia en las tasas de crecimiento de las diferentes especies de algas y cianobacterias que lo componen. Como regla general, se debe tener en cuenta que los valores de clorofila son mayores durante el verano así como cuando el agua tiene elevados tiempos de residencia.

El valor promedio de clorofila-a en todas las estaciones de monitoreo se encontró cercano a 11 µg/L, el cual es un valor moderado. No obstante, los valores de clorofila cubren un rango muy amplio, de 2 a 653 µg/L. Las medianas de la mayoría de las estaciones de monitoreo están en el entorno de los 2 µg/L, el cual es un valor esperable en un curso de agua. No obstante, algunas estaciones de monitoreo presentaron valores más elevados, en particular RN1, RN13 y RN17 con medianas en el entorno de los 4 µg/L. En algunas estaciones, principalmente de los embalses, se registraron valores superiores a 10 µg/L, que se corresponden con una alta probabilidad de presencia de floraciones de cianobacterias (Chorus y Welker, 2021). En algunas ocasiones la concentración de clorofila estuvo un orden de magnitud por encima de este valor (Figura 33).

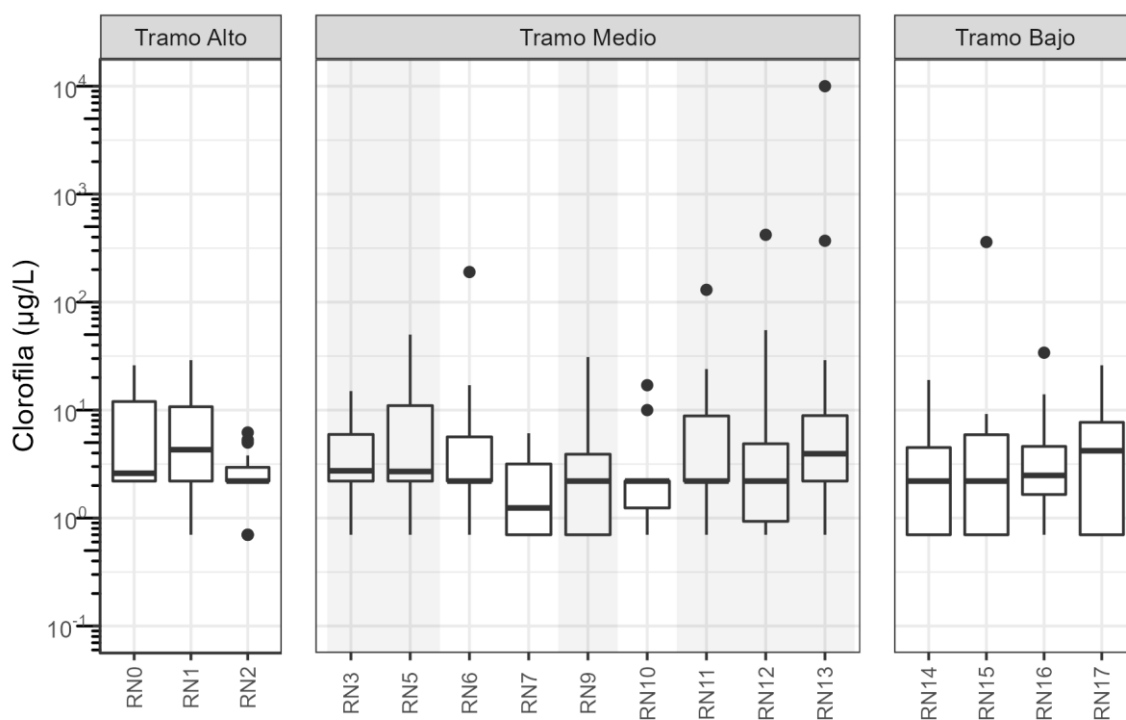


Figura 33 Variación espacial de la concentración de clorofila en el agua a lo largo del Río Negro. Nótese que la escala es logarítmica.

Estimación de clorofila-a por imágenes satelitales

El informe técnico de la División Información Ambiental de septiembre 2022 (Validación de modelos de clorofila-a con imágenes Sentinel 2 en el Río Negro) da cuenta de la concentración de clorofila en superficie de los embalses entre 2017 y 2022. El mismo destaca en términos generales un gradiente de aumento de las concentraciones promedio de clorofila-a desde Rincón del Bonete (zona de San Gregorio de Polanco) hacia Palmar, en el que la clorofila prácticamente se incrementa en 4 veces sus valores (Tabla 7).

Temporalmente, se evidenció que los meses del verano y el otoño se detecta mayor concentración de clorofila respecto del invierno y la primavera. Teniendo esto en cuenta, la información fue agrupada en estos dos períodos, obteniendo promedios para invierno-primavera que no superaron los 10 µg/L, en tanto que en el período verano-otoño los promedios alcanzaron 38 µg/L.

Por otra parte, al visualizar la serie temporal de verano-otoño, se observó una gran variabilidad interanual en los valores promedio de clorofila-a en todos los embalses (Tabla 7), destacando el año 2021 como el año con menor concentración en todos los embalses y 2022 como el año con mayor concentración promedio, en el cual en Palmar llegó a 65 µg/L.

Tabla 7 Valores promedio de clorofila a estimados a partir de imágenes satelitales Sentinel2 durante los períodos indicados. Datos proporcionados por la DIA.

Promedio Cloa (µg/L)	Ver/Oto 2018	Inv/Prim 2018	Ver/Oto 2019	Inv/Prim 2019	Ver/Oto 2020	Inv/Prim 2020	Ver/Oto 2021	Inv/Pri m 2021	Ver/Oto 2022
Bonete	19	13	17	9	15	6	6	6	19
Baygorria	29	15	16	11	25	7	8	7	34
Palmar	49	7	27	8	43	9	7	6	65

Al visualizar el promedio de clorofila en cada píxel de las imágenes durante los veranos y otoños de la serie temporal 2018-2022, se observaron zonas diferenciales de acumulación, siendo las cabeceras y los brazos cercanos a éstas los sitios de mayor concentración de clorofila (Figura 34).

En Rincón del Bonete, en general las concentraciones más altas se visualizaron sobre las márgenes oeste de los brazos Cardozo (margen norte del embalse) (1) y de las Conchas (margen sur) (2). Hacia el noroeste de San Gregorio de Polanco también se observa una acumulación, aunque de menor extensión (brazo del Carpintería) (3). Por otra parte, es probable que el área de color rojo observado en las márgenes que rodean la península de San Gregorio (4) no necesariamente refleje la concentración de clorofila en el agua. Ello ocurre porque debido a la escasa profundidad del agua en esa zona, en algunos momentos la misma se encuentra sin agua y cubierta por pasto, lo cual induce a confusión del algoritmo que cuantifica la clorofila en agua. No obstante, en algunas ocasiones en que la zona tenía agua, asimismo presentaba floraciones.

En Baygorria las zonas con mayores concentraciones de clorofila-a promedio se registraron en los dos brazos más cercanos a la represa (A° Rolón y A° Tres árboles) (5 y 6), fundamentalmente sobre sus márgenes oeste.

Palmar fue el embalse que registró mayores concentraciones de clorofila. En el mismo se pueden distinguir tres zonas de gran acumulación. La zona que registró mayor acumulación es el tramo ubicado sobre el primer tercio del embalse partiendo desde su cabecera, donde hacia el sur se ubican los brazos del Tala (7) y de los Laureles (8), siendo el lugar con mayor concentración de clorofila-a la zona comprendida entre estos brazos y la presa. Otra zona ubicada en Andresito y el brazo del A° Grande del Sur (9) y finalmente otra zona ubicada aguas arriba de una península (10) ubicada frente a la desembocadura del río Yí (paso del Puerto), donde el embalse tiene dirección norte-sur. En esas tres zonas el promedio de clorofila-a de las imágenes tomadas entre enero y julio de cada año fue superior a 30, 40 y hasta más de 80 mg/L.

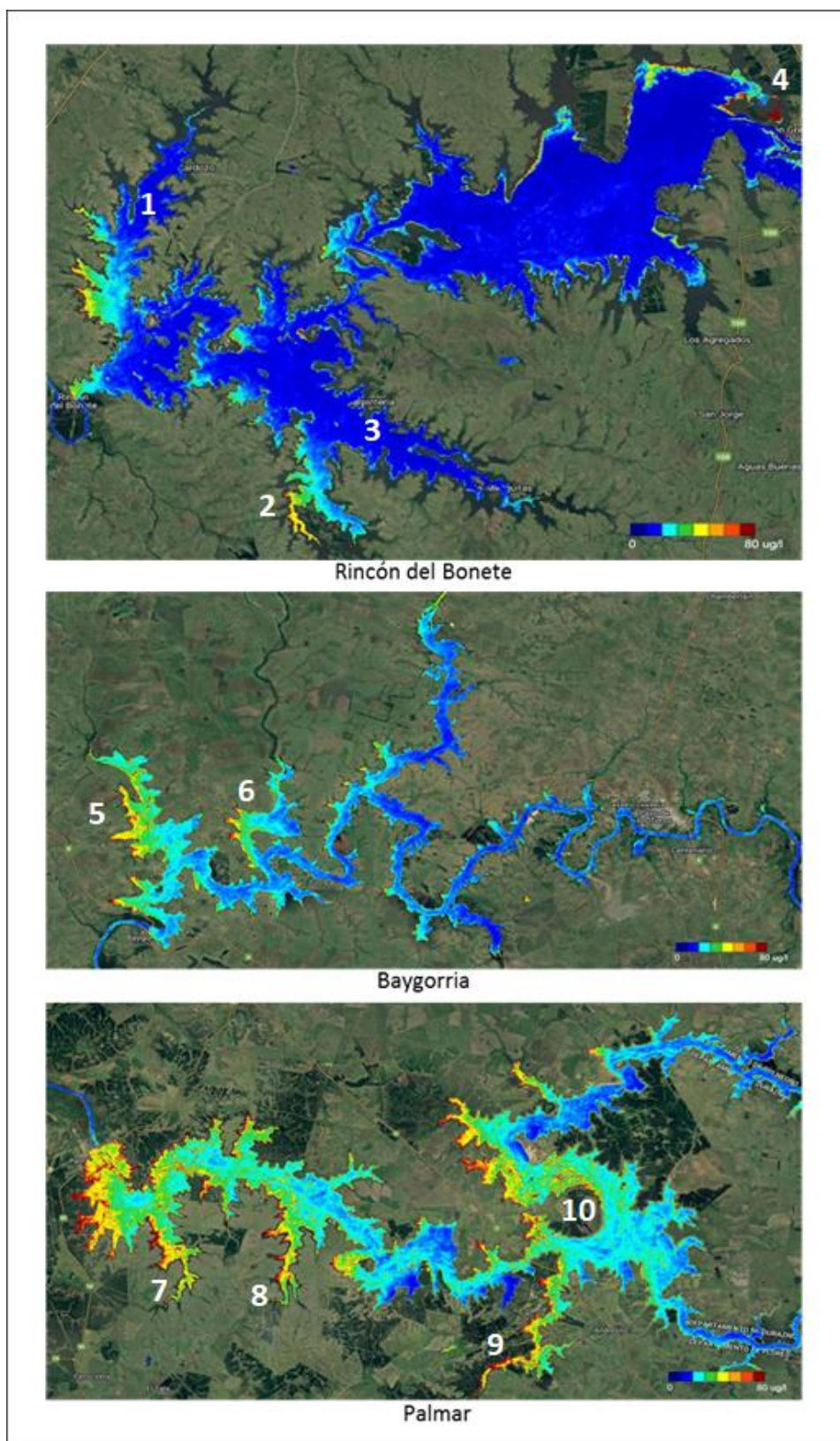


Figura 34 Valores promedio de clorofila entre 2018 y 2022 estimados a partir de las imágenes Sentinel2 tomadas en los meses de verano y otoño durante esos años. Imágenes proporcionadas por la DIA.

Referencias: 1= Brazo del Cardozo, 2 = Brazo de las Conchas, 3= Brazo del Carpintería, 4 = San Gregorio, 5 = Brazo del Rolón, 6= Brazo del Tres Árboles, 7 = Brazo del Arroyo del Tala, 8 = Brazo del Arroyo de los Laureles, 9= Arroyo Grande del Sur y 10 = Península frente a la desembocadura del Río Yi.

4.2.4. Metales y compuestos orgánicos contaminantes

La Tabla 8 resume la frecuencia y concentración máxima con la que se detectaron los metales analizados. Se detectaron todos los elementos analizados. El zinc fue el más frecuentemente detectado y el que presentó mayor concentración máxima y mayor porcentaje de incumplimientos de la normativa de calidad. El cadmio fue el elemento menos detectado, aunque presentó dos incumplimientos y el cromo fue el único que no presentó incumplimientos con los valores máximos establecidos en la norma vinculante.

Tabla 8 Metales pesados detectados en el Río Negro. Número de muestras analizadas (N), porcentaje de eventos en que el compuesto fue detectado, máximo valor cuantificado (Máx) y número de eventos donde se incumple la normativa.

Metal	N	% Detectables	Máx (mg/L)	Incumplimientos
As	303	48	0,0070	1
Cd	303	20	0,0060	2
Cr	303	50	0,0160	0
Hg	303	21	0,0002	1
Ni	303	34	0,0360	2
Pb	284	48	0,0400	14
Zn	303	58	0,1800	19

No se evidenció un patrón de distribución espacial para estos elementos. No obstante, algunos de ellos aparecieron con mayor frecuencia en el tramo alto del Río Negro. El sitio donde se detectó cadmio con mayor frecuencia fue la estación RN2, aunque los incumplimientos para este metal se registraron en las estaciones RN7 y RN11. El cromo presentó una mayor distribución, registrándose en forma más frecuente (entorno del 33%) en las estaciones RN2, RN5, RN9 y RN10 aunque sin presentar incumplimientos. La presencia de mercurio en el curso del Río Negro fue muy escasa, no así el plomo que fue detectado con frecuencia en las estaciones de fondo RN5, RN9 y RN13 (entorno del 50%), así como en las estaciones del tramo alto (RN0, RN1 y RN2) con una frecuencia del 25 al 29%. Finalmente el zinc fue detectado más frecuentemente en las estaciones del tramo alto del Río Negro (30 al 38%) así como en las estaciones RN5, RN13 de fondo y RN17 (entorno del 25%).

En el río Negro se analizaron 83 compuestos de uso agrícola. Todos ellos fueron detectados en alguna de las muestras analizadas y 25 de ellos nunca pudieron ser cuantificados (Ver Anexo I. Sustancias de uso agrícola determinadas en agua). En 4 ocasiones se superaron las concentraciones estipuladas en la normativa (Tabla 9).

Tabla 9 Muestras que incumplieron la normativa

Compuesto	Fecha	Punto de monitoreo	Concentración determinada (µg/L)	Valor guía (GESTA 2014)
Permetrina	2022-04-28	RN5	0,260	0,004 (µg/L)
Heptacloro	2018-01-15	RN0	0,029	No detectable
Heptacloro	2018-01-16	RN1	0,020	No detectable
Dieldrin	2022-08-04	RN9	0.0029	No detectable

La dinámica temporal refleja mayormente una variación propia de las técnicas de laboratorio mientras que espacialmente no se ve una tendencia definida. Una excepción es el AMPA, que presentó para la mayoría de los monitoreos una mayor concentración en la cuenca alta (RN0 y RN1) que en los embalses y temporalmente se observó un incremento en su concentración en enero.

4.2.5. Cargas de nutrientes aportados desde la cuenca

Las cargas de nutrientes aportadas desde la cuenca se muestran para nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) según su evolución anual y proporción en cada categoría. A su vez se presentan los resultados en su distribución espacial considerando el promedio de aporte del período analizado. Estos resultados se construyen a partir de cargas de aporte diarias por lo que para la discusión también se utilizan diferentes análisis espaciales y temporales de esta información.

Nitrógeno total

Las cargas de aporte promedio de NT en el período 2017-2021 en la cuenca alta, media y baja del Río Negro modeladas a partir de la información de usos del suelo y actividades puntuales permitió visualizar que en la cuenca existen zonas de mayor presión en términos de exportación de NT asociados a los usos de suelo y actividades específicas (Figura 35 arriba). Asimismo al diferenciar el tipo de actividad por tramos de la cuenca, se pudo observar las proporciones de cargas aportadas por las diferentes categorías en los tres tramos de la cuenca (Figura 35 abajo).

El promedio de cargas de NT exportadas por unidad de área de cada sector de la cuenca del Río Negro durante el período 2017-2021 fue de 5,39, 4,73 y 5,12 Kg/ha/año para la cuenca alta, media y baja, respectivamente. La carga de NT anual en la cuenca alta, media y baja del Río Negro tuvo una marcada variación, a causa de las variaciones en los aportes difusos (Figura 34). En la cuenca alta los mayores valores de exportación ocurrieron durante 2017 (24.315 ton/año) y los de menor durante el año 2020 (6.245 ton/año). En la cuenca media los valores de mayor exportación sucedieron durante 2019 (22.252 ton/año) y los de menor durante el año 2020 (6.093 ton/año). En la cuenca baja los valores de exportación mayor ocurrieron durante 2017 (8.040 ton/año) y los de menor durante el año 2020 (1.406 ton/año).

El aporte difuso de NT en la cuenca alta del Río Negro varió entre un 26,5 % para el año 2020 y un 81,2 % en el año 2017, siendo el aporte directo el segundo en relevancia, superando al difuso en 2020. En la cuenca media el aporte difuso varió entre un 25,2 % para el año 2020 y un 79,5 % en el año 2019, siendo también el aporte directo el segundo en relevancia. En la cuenca baja del Río

Negro el aporte difuso varió entre un 21,4 % para el año 2020 y un 84,5 % en el año 2019, siendo también el aporte directo el segundo en relevancia (Figura 36).

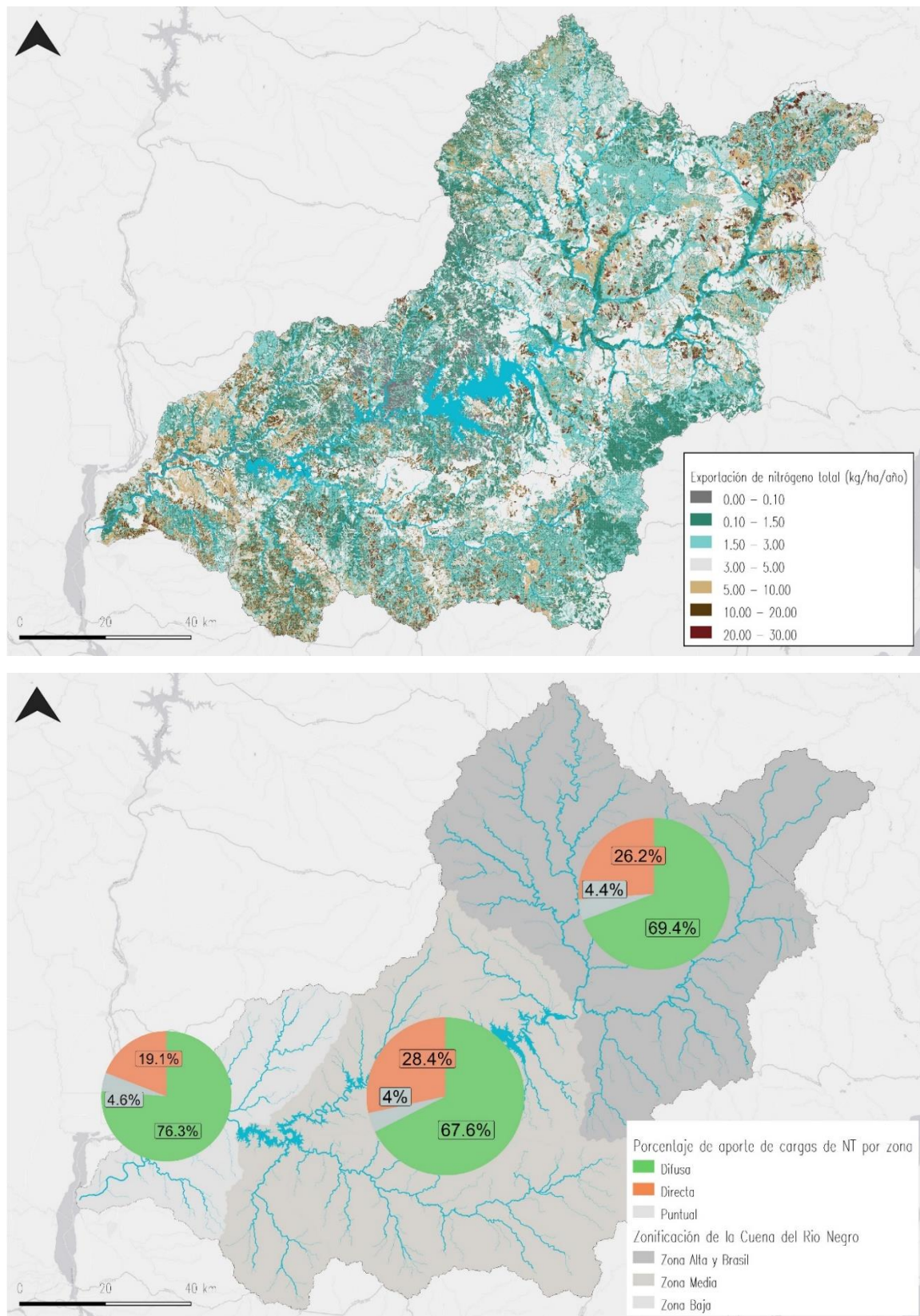


Figura 35 Carga de aporte de NT promedio por unidad de superficie en período 2017-2021 (kg/ha/año), arriba. Porcentaje de aporte de NT según categoría (%), abajo.

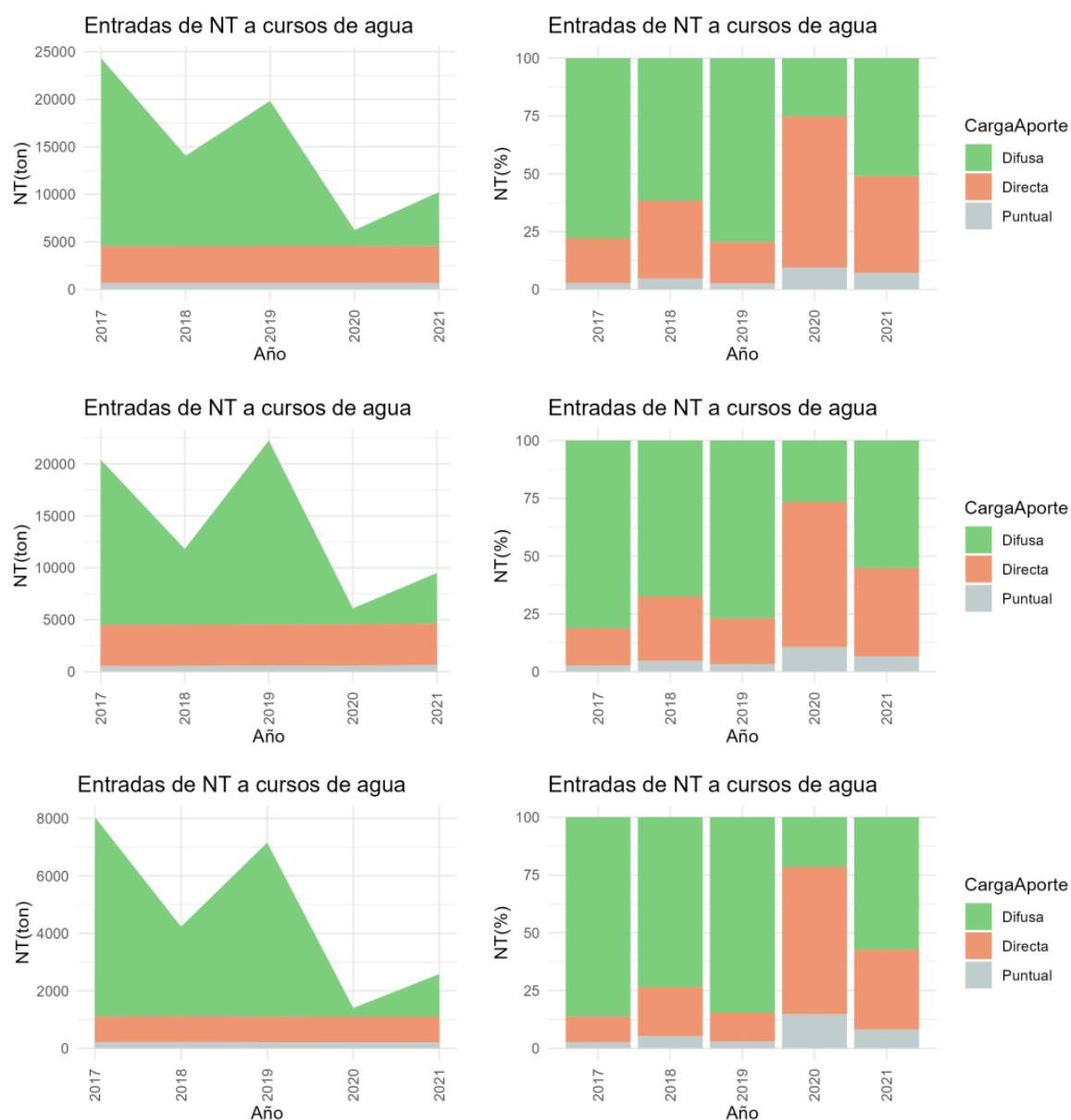


Figura 36. Carga de aporte de NT anual (ton/año) en cuenca alta (primera fila), cuenca media (segunda fila) y cuenca baja (tercera fila), izquierda. Proporción de carga de aporte anual de NT según categorías en cuenca alta (primera fila), cuenca media (segunda fila) y cuenca baja (tercera fila), derecha.

Fósforo total

La modelación de la carga de aporte promedio de PT en el período 2017-2021 en la cuenca alta, media y baja del Río Negro mostró que al igual que para el NT a lo largo de la cuenca existen zonas de mayor presión en términos de exportación de PT asociados a los usos de suelo y actividades específicas (Figura 37).

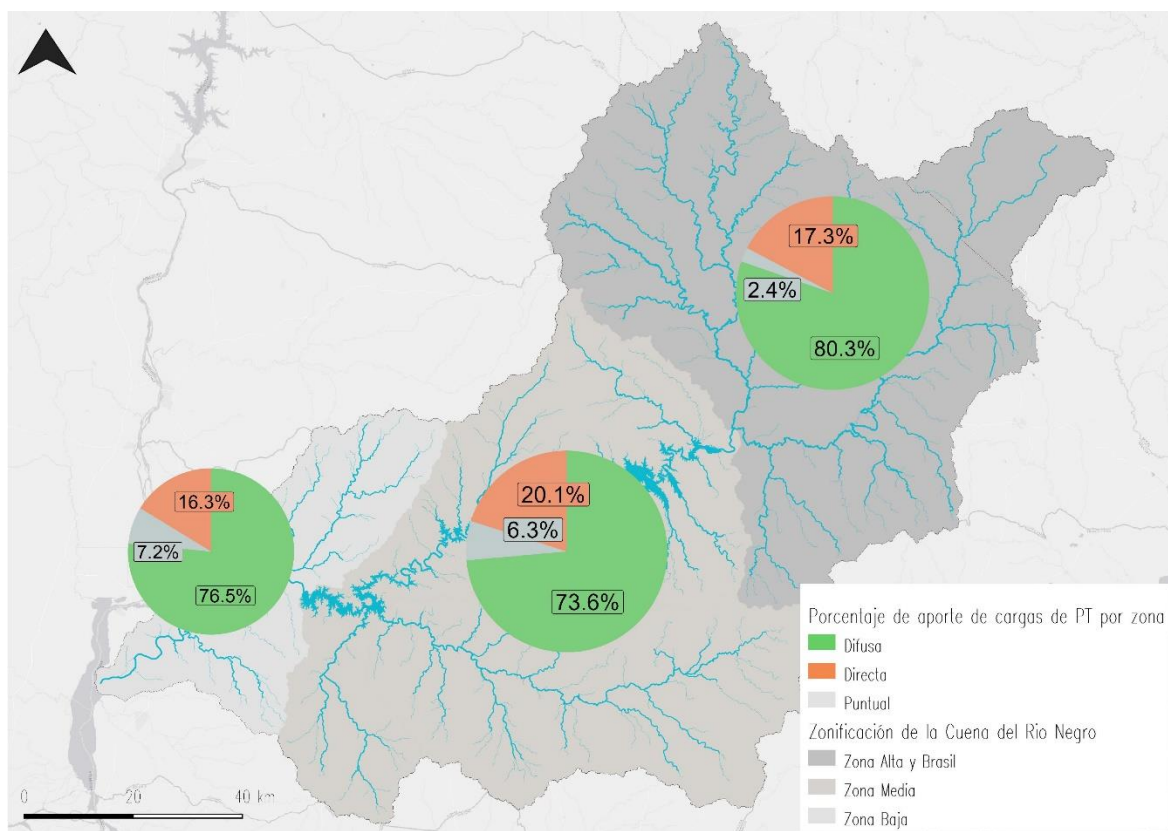
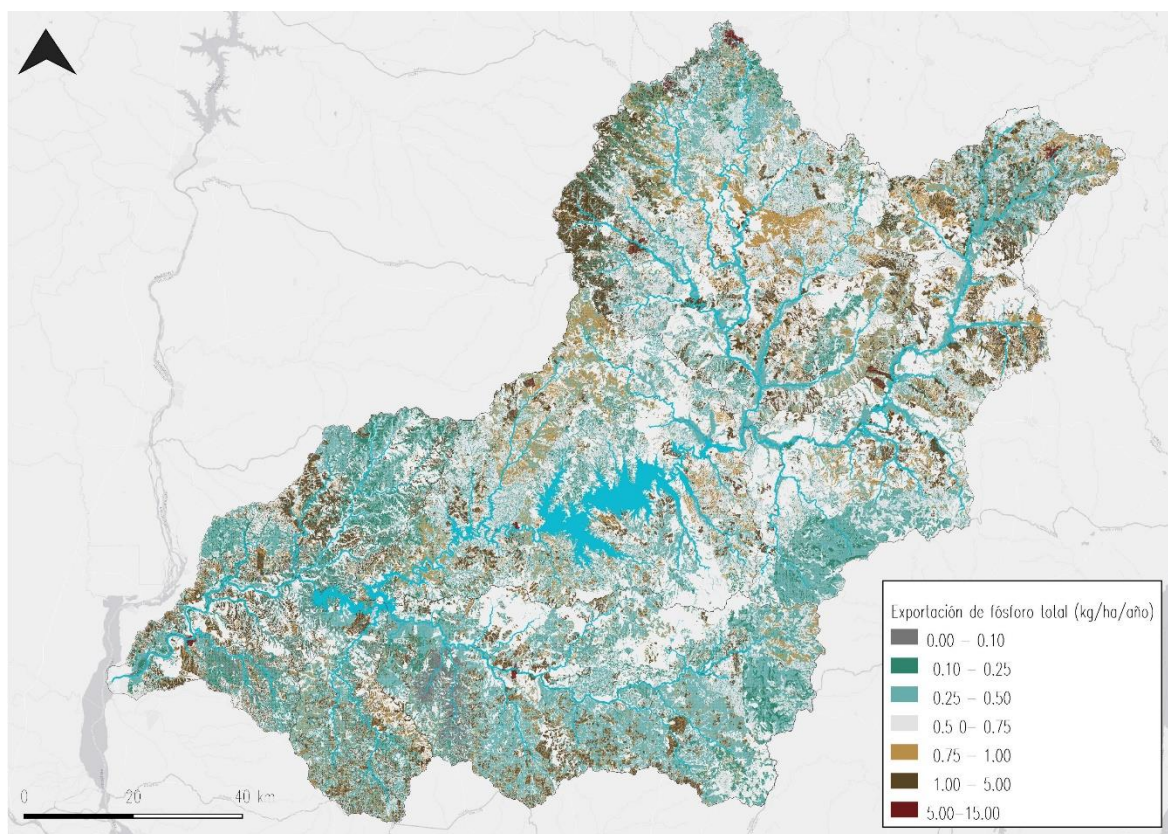


Figura 37. Carga de aporte de PT promedio por unidad de superficie en el período 2017-2021 (kg/ha/año), arriba. Porcentaje de aporte de PT promedio en período 2017-2021 según categoría (%), abajo.

El promedio de cargas de PT exportadas por unidad de área de cada sector de la cuenca del Río Negro durante el período 2017-2021 fue de 0,80, 0,77 y 0,85 Kg/ha/año para la cuenca alta, media y baja, respectivamente. La carga de PT anual en la cuenca alta, media y baja del Río Negro también tuvo una marcada variación en particular para el aporte difuso (Figura 37). En la cuenca alta los valores de exportación mayores ocurrieron durante 2019 (4.643 ton/año) y los de menor durante el año 2020 (902 ton/año). En esos años ocurrió lo mismo para la cuenca media (4.429 ton/año y 968 ton/año) y para la cuenca baja (1.261 ton/año y 200 ton/año).

Por otra parte el aporte de la carga difusa de PT en la cuenca alta del Río Negro varió entre un 36,1 % para el año 2020 y un 87,9 % en el año 2019, siendo el aporte directo el segundo en relevancia, superando al difuso en 2020. En la cuenca media el aporte difuso varió entre un 32,1 % para el año 2020 y un 85 % en el año 2019, siendo también el aporte directo el segundo en relevancia. Igual situación se encontró en la cuenca baja, donde el aporte difuso varió entre un 17,8 % para el año 2020 y un 86,9 % en el año 2019, siendo también el aporte directo el segundo en relevancia (Figura 38).

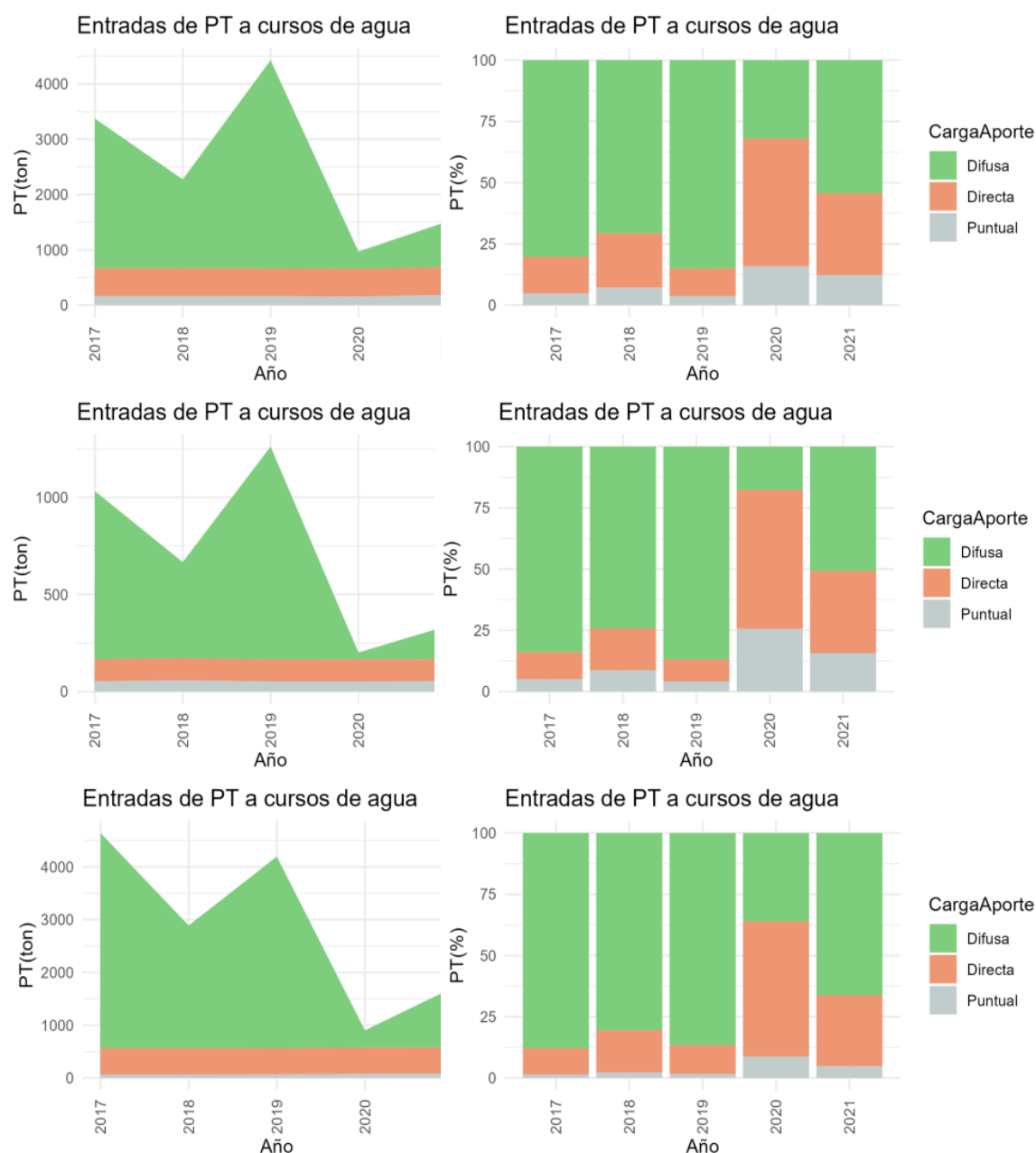


Figura 38. Carga de aporte de PT anual (ton/año) en cuenca alta (primera fila), cuenca media (segunda fila) y cuenca baja (tercera fila), izquierda. Proporción de carga de aporte anual de PT según categorías en cuenca alta (primera fila), cuenca media (segunda fila) y cuenca baja (tercera fila), derecha.

4.2.6. Sedimentos

Nutrientes

Como se explicó anteriormente, la mayoría de las estaciones donde se obtienen muestras de sedimento provienen de aquellas ubicadas en los embalses.

El promedio de la concentración de Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK) en el sedimento fue de 1196 mg/Kg, con un rango de 260 a 2900 mg/Kg. Las estaciones de embalses (RN5, RN9, RN12 y RN13) presentaron en promedio mayor concentración de este parámetro (1515 mg/Kg) frente a las

estaciones RN16 y RN17 ubicadas en las cercanías de la desembocadura del río (558 mg/Kg) (Figura 39).

El PT registró un promedio de 233 mg/Kg considerando todas las muestras, con un rango de 69 a 540 mg/Kg. En cuanto a la variación de las concentraciones de fósforo entre los puntos de monitoreo, se observa que el embalse Rincón del Bonete presenta un promedio mayor (353 mg/kg) a los sitios ubicados río abajo. Al igual que para el NTK el sitio RN16, aguas debajo de la ciudad de Mercedes, es el que presenta menor concentración de nutrientes (Figura 39).

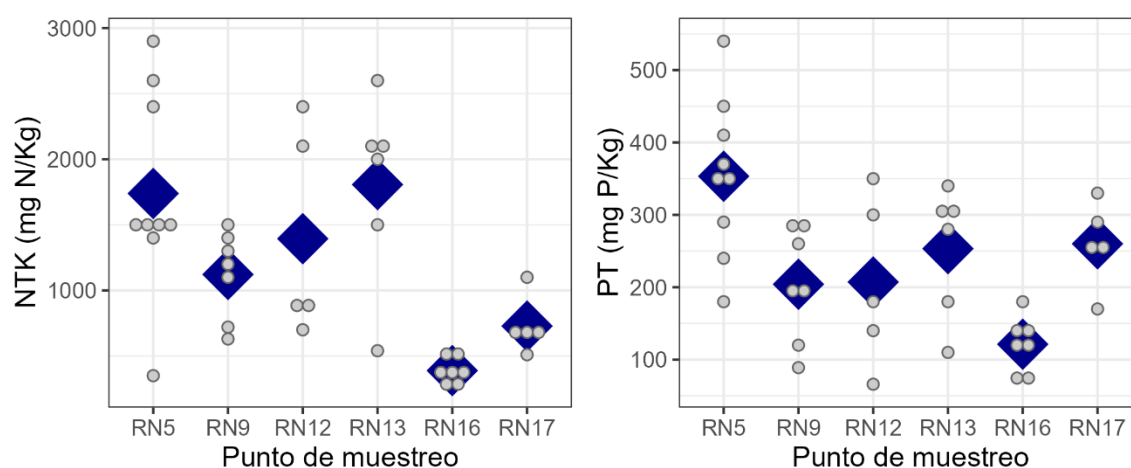


Figura 39. Concentración de nutrientes en el sedimento de la cuenca del Río Negro. Los puntos grises indican el valor cuantificado en cada muestra, mientras que los rombos azules indican la concentración promedio de cada sitio para el quinquenio analizado.

Metales

En muchos casos las muestras presentaron valores por debajo del límite de detección de la técnica analítica empleada en el laboratorio. Por este motivo en la Tabla 10 se informa el porcentaje de muestras que presentaron valores por encima del límite de detección de la técnica. Por otra parte, al carecer en la norma nacional de valores máximos admisibles de metales en sedimentos, se empleó una norma canadiense como referencia (*Interin Sediment Quality Guidelines* - ISQG del Consejo Canadiense de Ministerios de Ambiente) (Burton, 2022). En el caso del níquel que no está regulado por esta normativa, se utilizaron los valores propuestos por MacDonald et al (2000).

Existió una tendencia a registrar con mayor frecuencia los metales en los embalses, y en algunos casos en forma decreciente a lo largo de las estaciones. En frecuencia de detección, el zinc fue detectado en el 100% de las muestras aunque en concentraciones inferiores a los umbrales establecidos por la ISQG. El cromo y el níquel también fueron metales detectados con muy alta frecuencia, fundamentalmente en los embalses, con algunos valores de incumplimiento de la norma ISQG en los embalses. El mercurio fue detectado con una frecuencia importante siendo la mayor en RN5 (92%) y la menor en RN13 (7%). El arsénico también fue detectado con frecuencia, con una tendencia a disminuir a lo largo del río (desde el 77% de las muestras en RN5 al 50% en RN17) y con baja frecuencia de incumplimientos. Finalmente el cadmio fue el metal con menor frecuencia de detección, siendo RN9 el sitio con mayor frecuencia de detección (23%), el cual fue el sitio también con mayor porcentaje de incumplimiento de la norma ISQG (6%) (Tabla 10).

Tabla 10 Metales pesados en sedimentos del Río Negro.

Parámetro	Estación de muestreo	Nº total	Nº detectables	% detectable	ISQG TEL			ISQG PEL		
					Valor guía (mg/Kg)	Nº Incump.	% Incump.	Valor guía (mg/Kg)	Nº Incump.	% Incump.
Arsénico	RN5	13	10	77	7,24	6	46	17	0	0
	RN9	13	8	62	7,24	2	15	17	0	0
	RN12	11	6	55	7,24	3	27	17	0	0
	RN13	14	8	57	7,24	3	21	17	1	7
	RN16	14	8	57	7,24	2	14	17	0	0
	RN17	12	6	50	7,24	1	8	17	0	0
Cadmio	RN5	13	2	15	0,68	4	31	3,53	1	8
	RN9	13	3	23	0,68	6	46	3,53	1	8
	RN12	11	1	9	0,68	5	45	3,53	0	0
	RN13	14	2	14	0,68	6	43	3,53	0	0
	RN16	14	2	14	0,68	5	36	3,53	0	0
	RN17	12	2	17	0,68	5	42	3,53	0	0
Cromo	RN5	13	13	100	52,3	2	15	90	0	0
	RN9	13	13	100	52,3	1	8	90	0	0
	RN12	11	11	100	52,3	0	0	90	0	0
	RN13	14	14	100	52,3	0	0	90	0	0
	RN16	14	13	93	52,3	0	0	90	0	0
	RN17	12	11	92	52,3	0	0	90	0	0
Mercurio	RN5	13	12	92	0,13	0	0	0,49	0	0
	RN9	13	11	85	0,13	0	0	0,49	0	0
	RN12	11	7	64	0,13	0	0	0,49	0	0
	RN13	14	10	71	0,13	0	0	0,49	0	0
	RN16	14	11	79	0,13	0	0	0,49	0	0
	RN17	12	9	75	0,13	0	0	0,49	0	0
Níquel	RN5	13	13	100	18	8	62	36	1	8
	RN9	13	13	100	18	3	23	36	0	0
	RN12	11	10	91	18	0	0	36	0	0
	RN13	14	14	100	18	3	21	36	0	0
	RN16	14	11	79	18	0	0	36	0	0
	RN17	12	10	83	18	0	0	36	0	0

Parámetro	Estación de muestreo	Nº total	Nº detectables	% detectable	ISQG TEL			ISQG PEL		
					Valor guía (mg/Kg)	Nº Incump.	% Incump.	Valor guía (mg/Kg)	Nº Incump.	% Incump.
Plomo	RN5	13	11	85	30,2	0	0	91,3	0	0
	RN9	13	10	77	30,2	0	0	91,3	0	0
	RN12	11	7	64	30,2	0	0	91,3	0	0
	RN13	14	11	79	30,2	0	0	91,3	0	0
	RN16	14	10	71	30,2	0	0	91,3	0	0
	RN17	12	10	83	30,2	0	0	91,3	0	0
Zinc	RN5	13	13	100	124	0	0	315	0	0
	RN9	13	13	100	124	0	0	315	0	0
	RN12	11	11	100	124	0	0	315	0	0
	RN13	14	14	100	124	0	0	315	0	0
	RN16	14	14	100	124	0	0	315	0	0
	RN17	12	12	100	124	0	0	315	0	0

Los valores presentados corresponden a : Número total de muestras analizadas; Número de muestras donde se detectó el metal; % de muestras donde se detectó; Valor guía, número de muestras con concentraciones mayores al valor guía y porcentaje de muestras con concentraciones mayores al valor guía para ISQG Interim sediment quality guidelines TEL (concentración con baja o nula probabilidad de afectar a los organismos bentónicos; Threshold Effect Level) y PEL (concentración en la cual es altamente probable observa efectos en organismos bentónicos; Probable Effect Level).

Compuestos orgánicos

De los 86 compuestos de uso agrícola o derivados de éstos, 58 fueron detectados y cuantificados en los sedimentos (Ver ANEXO II: Parámetros determinados en sedimentos.). La estación RN5 fue la que registró mayor frecuencia de registro de estos analitos (37%), en tanto que en las restantes estaciones se registraron entre el 20 y el 30% de las muestras. El único compuesto que se cuantificó fue la cipermetrina, medida en 5 ocasiones en un rango de 1,5 - 302,3 µg/Kg.

En cuanto a las sustancias fenólicas, se detectó su presencia en el 60% de las muestras, en su mayoría en la estación RN12 (55% de las muestras) (Tabla 11).

Tabla 11 Sustancias fenólicas en sedimento. Porcentaje de muestras donde se detectó (% detectados), concentraciones promedio, máxima y mínima en mg/Kg.

Estación	% Detectados	Concentración (mg/Kg)		
		Promedio	Mín.	Máx.
RN5	33	0,128	0,021	0,330
RN9	25	0,032	0,021	0,054

RN12	55	0,087	0,032	0,290
RN13	36	0,07	0,026	0,160
RN16	43	0,105	0,031	0,280
RN17	33	0,087	0,023	0,180

Los compuestos halogenados extraíbles (EOX) se encontraron en el 96% de las muestras por debajo del límite de detección, no habiéndose encontrado en ningún caso por encima de los niveles de cuantificación de la técnica analítica.

Finalmente, los compuestos halogenados totales (TOX) se detectaron el 89% de las muestras, encontrándose en todas las estaciones con aproximadamente la misma frecuencia (88 al 91%) (Tabla 12).

Tabla 12. Compuestos halogenados totales (TOX) en sedimento. Porcentaje de muestras donde se detectó (% detectados), concentraciones promedio, máxima y mínima en mg/Kg.

Estación	% Detectados	Concentración (mg/Kg)		
		Promedio	Mín.	Máx.
RN5	88	7	5	14
RN9	89	9	5	23
RN12	88	13	8	23
RN13	91	8	5	14
RN16	90	8	3	18
RN17	90	10	7	17

4.3. Río Tacuarembó

4.3.1. Parámetros fisicoquímicos

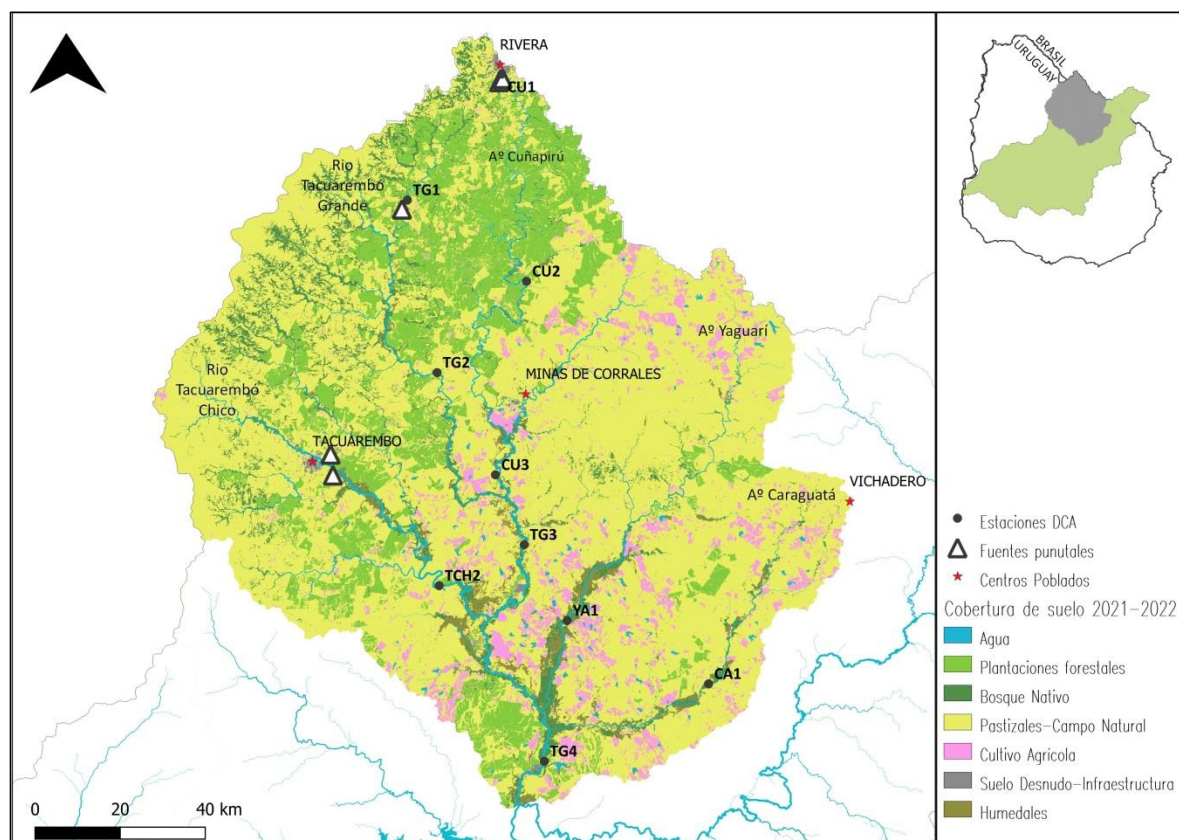


Figura 40 Cuenca del Río Tacuarembó donde se indican los puntos de muestreo en la misma. Se indican los principales usos del suelo en la cuenca así como las fuentes puntuales controladas (industrias y PTAR).

Temperatura

En la cuenca del Tacuarembó (Figura 40) la temperatura superficial del agua presentó un promedio de 20°C (N= 114) y su variación estuvo fuertemente marcada por la estacionalidad (Figura 41) y osciló entre 25 °C promedio en verano y 13 °C promedio en invierno.

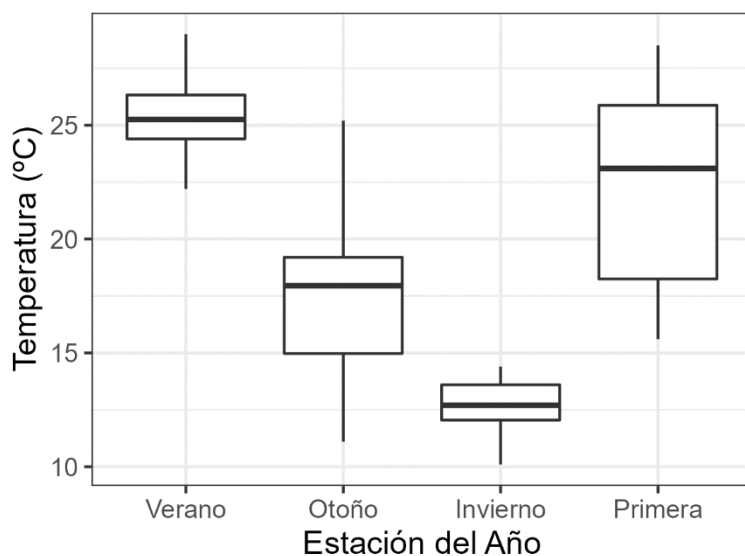


Figura 41. Registro de temperatura en el agua según las estaciones del año en el río Tacuarembó.

pH

El valor promedio de pH en la cuenca del Tacuarembó fue de 7,2 (N= 114) y se mantuvo mayormente dentro del rango establecido en la normativa. A lo largo del río Tacuarembó, se observó una tendencia de incremento del pH a lo largo del curso (Figura 42). Asimismo el promedio del pH de cada tributario hacia la desembocadura en el río Tacuarembó fue similar al pH del Tacuarembó en su última estación.

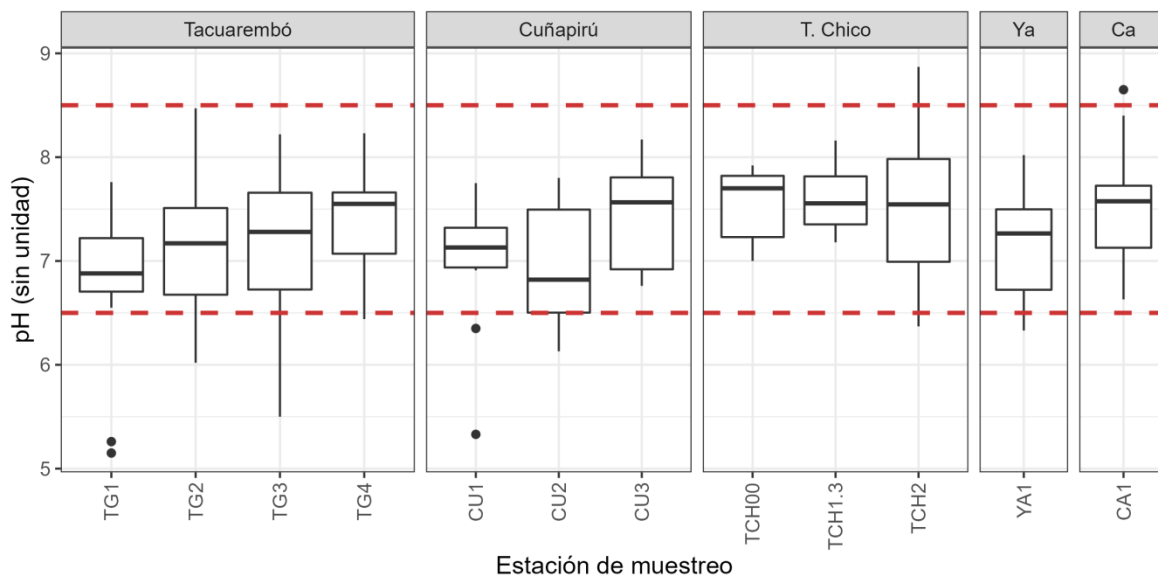


Figura 42 Variación espacial del PH del agua en la cuenca del río Tacuarembó. Las líneas entrecortadas indican el rango establecido para las aguas naturales en el Decreto 253/79. T. Chico = río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caragatá.

A lo largo del período no se observaron tendencias de incremento o disminución de este parámetro, más allá de sus variaciones naturales (Figura 43).

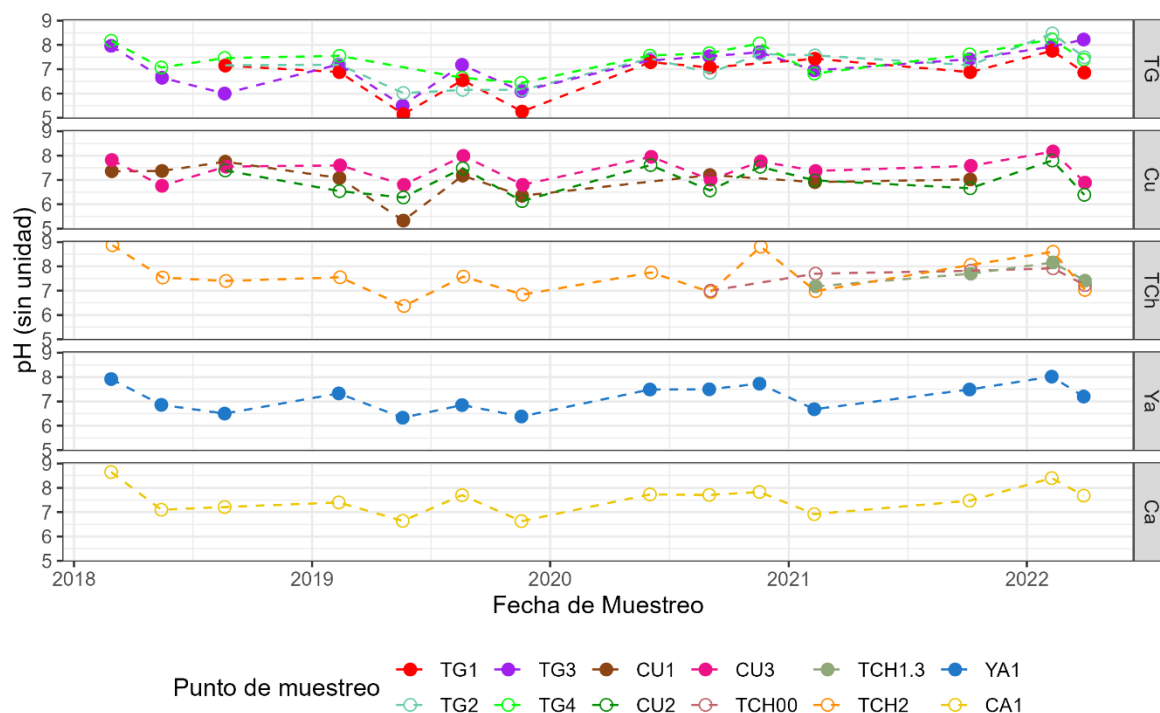


Figura 43 Variación temporal del pH del agua en la cuenca del río Tacuarembó (TG). Cu=Cuñapirú, TCh= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá. CA, CU, YCH, TG y YA son las estaciones de muestreo de cada curso de agua.

Conductividad

La conductividad en la cuenca del Tacuarembó presentó un promedio de 94,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 44). En términos generales, los arroyos Caraguatá y Yaguarí presentaron mayores valores promedio de conductividad (153,4 y 117,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente). En el A° Cuñapirú por su parte la estación de cabecera presentó mayores valores de conductividad respecto a los sitios aguas abajo del curso. A lo largo del río Tacuarembó la conductividad fue incrementándose paulatinamente y al igual que lo observado para el pH, los tributarios contribuyen al aumento del parámetro.

A lo largo del período no se observaron tendencias de incremento o disminución en la conductividad en ninguno de los cursos monitoreados (Figura 45).

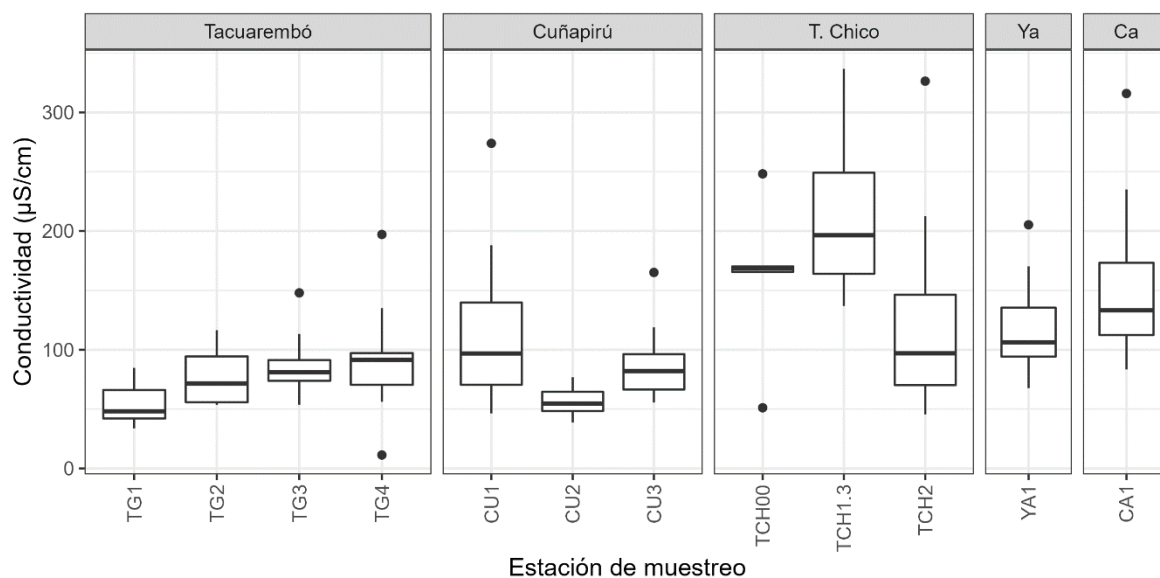


Figura 44 Variación espacial de la conductividad del agua en la cuenca del río Tacuarembó. T. Chico= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá.

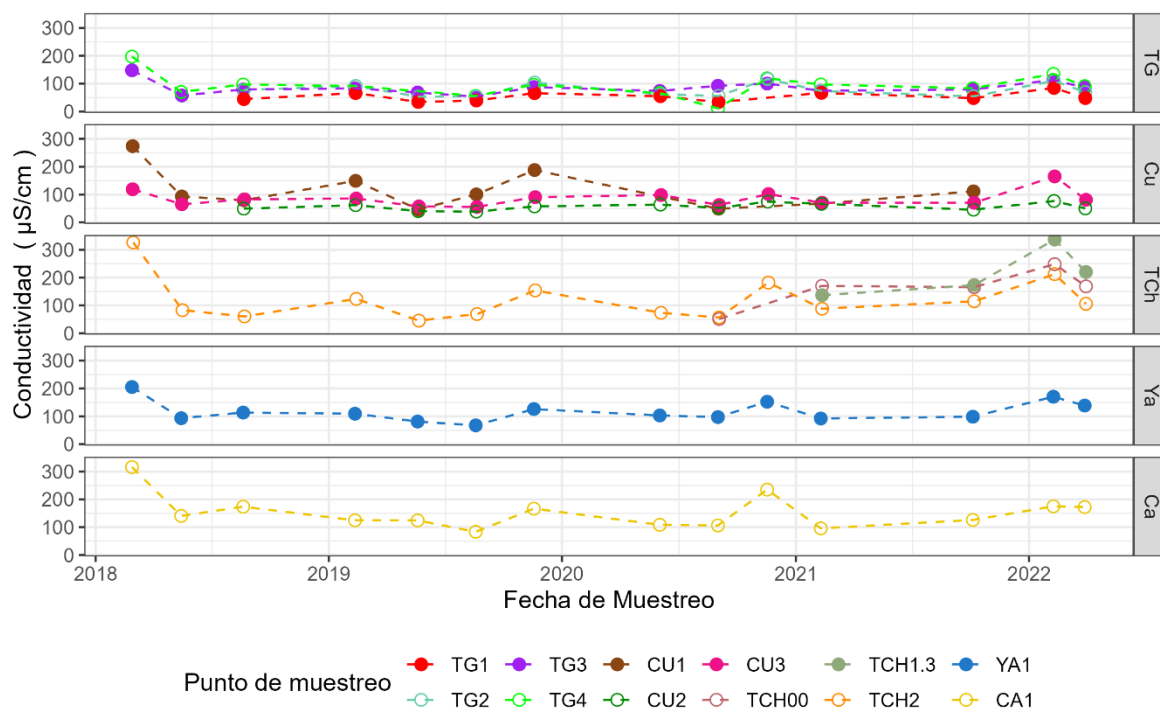


Figura 45 Variación temporal de la conductividad del agua en la cuenca del río Tacuarembó (TG). Cu=Cuñapirú, TCh= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá. CA, CU, YCH, TG y YA son las estaciones de muestreo de cada curso de agua.

Oxígeno Disuelto

En la cuenca del Tacuarembó el valor promedio de oxígeno fue de 8,6 mg/L, cumpliendo siempre con la norma vinculante (Figura 46). La concentración de oxígeno fue similar en los diferentes

cursos de la cuenca, con valores promedio entre 8,3 y 9,3 mg/L en los distintos sitios donde fue medido. Al observar los diferentes cursos de agua de la cuenca, nuevamente el A° Cuñapirú presentó una tendencia de incremento gradual.

A lo largo de la serie temporal no se encontraron tendencias de incremento o disminución de oxígeno (Figura 47).

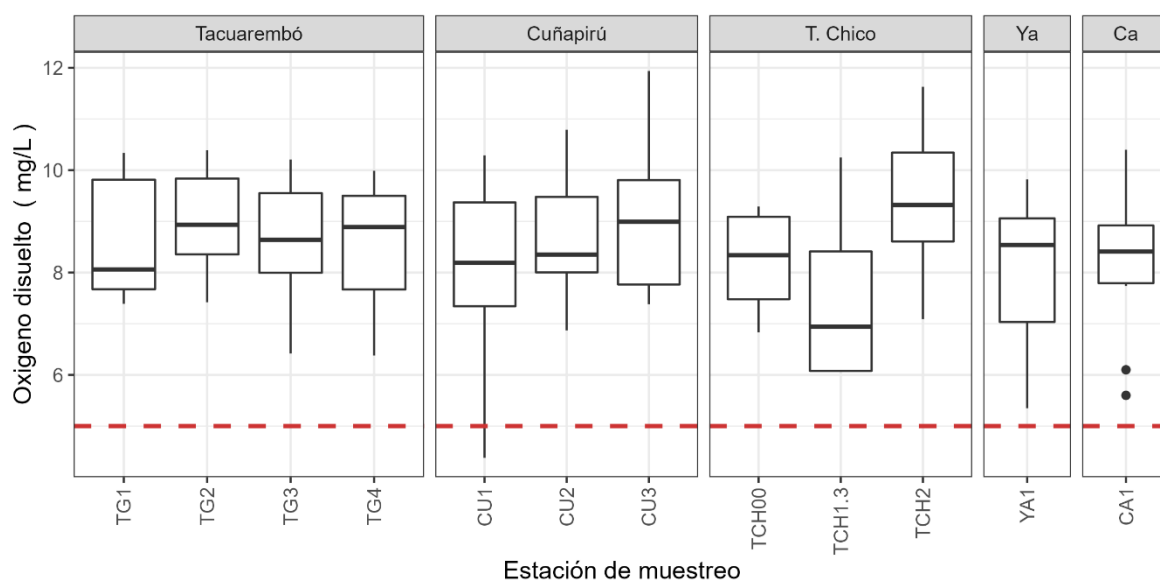


Figura 46 Variación espacial de la concentración de oxígeno disuelto en el agua en la cuenca del río Tacuarembó.

La línea entrecortada indica el mínimo establecido para las aguas naturales en el Decreto 253/79. T. Chico= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá. CA, CU, YCH, TG y YA son las estaciones de muestreo de cada curso de agua.

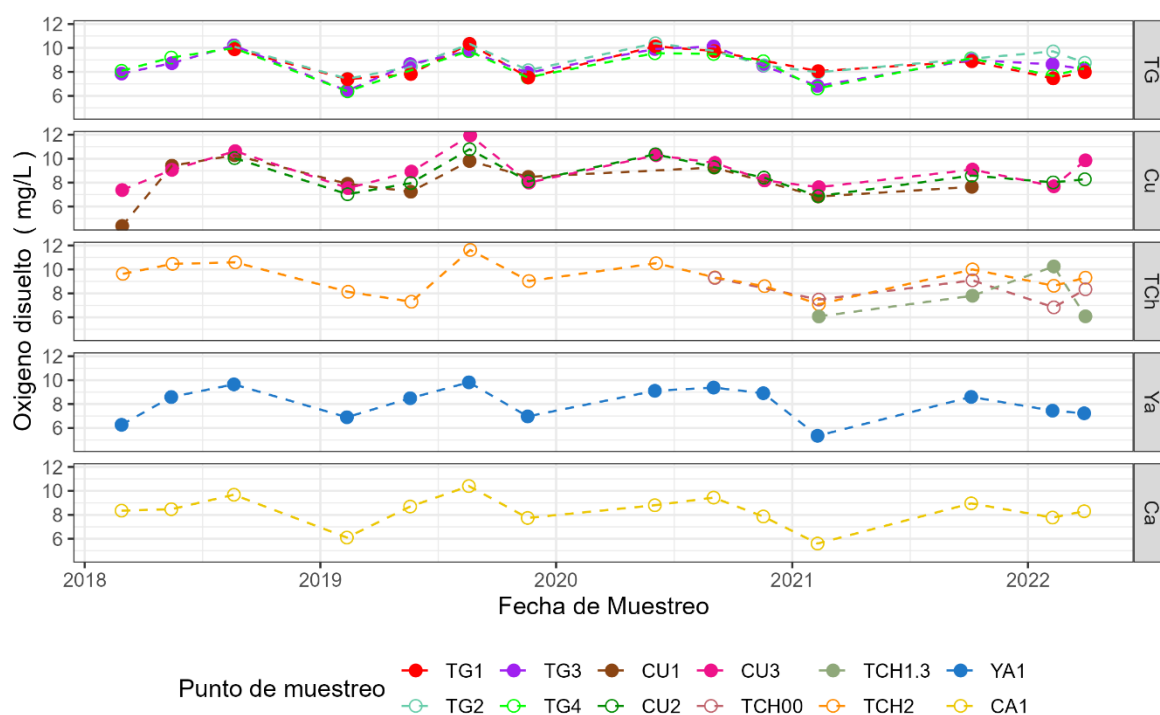


Figura 47 Variación temporal de la concentración de oxígeno disuelto en el agua en la cuenca del río Tacuaembó (TG). Cu=Cuñapirú, TCh= río Tacuaembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá. CA, CU, YCH, TG y YA son las estaciones de muestreo de cada curso de agua.

Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales en la cuenca del Tacuaembó son relativamente bajos, similares al tramo bajo del Río Negro (promedio de 20,3 mg/L). Espacialmente a lo largo del curso del Tacuaembó se observó una tendencia de incremento gradual de este parámetro, aunque los valores en todos los casos son bajos con excepción de algunos tramos, en particular en el Tacuaembó Chico (Figura 48).

Por otra parte no se observaron tendencias de incremento o decrecimiento a lo largo del período en estudio (Figura 49). No obstante se observaron en los diferentes cursos o estaciones de monitoreo ocasionales picos, entre los cuales destacan los ocurridos en otoño de 2019 e invierno de 2020 porque son coincidentes tanto en el río Tacuaembó Grande como en el arroyo Cuñapirú y el Tacuaembó Chico.

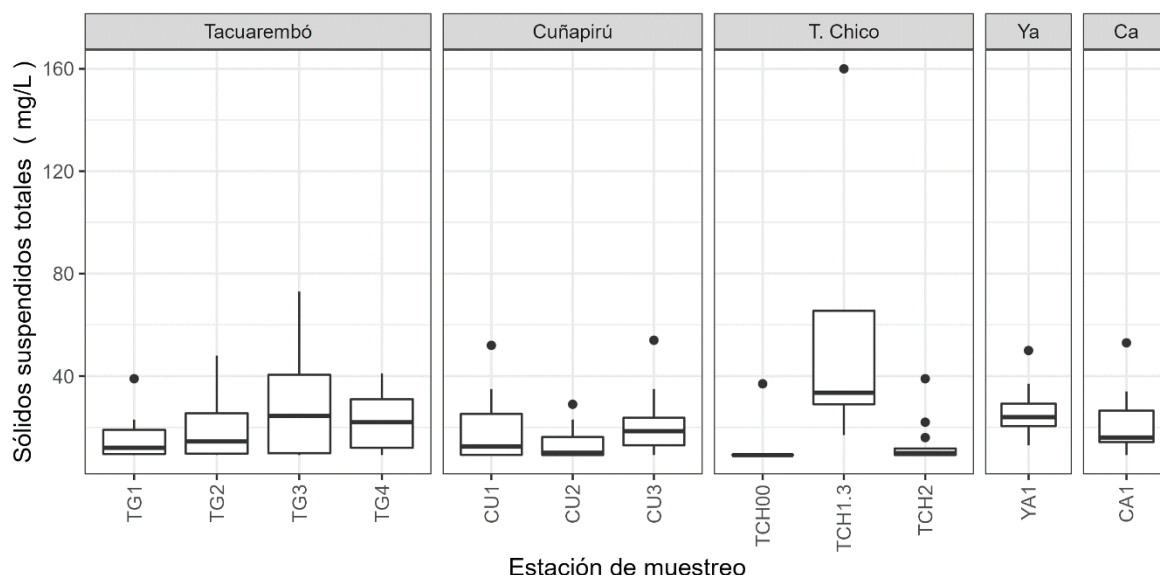


Figura 48. Variación espacial de la concentración de sólidos suspendidos totales en el agua en la cuenca del río Tacuarembó. T. Chico= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá.

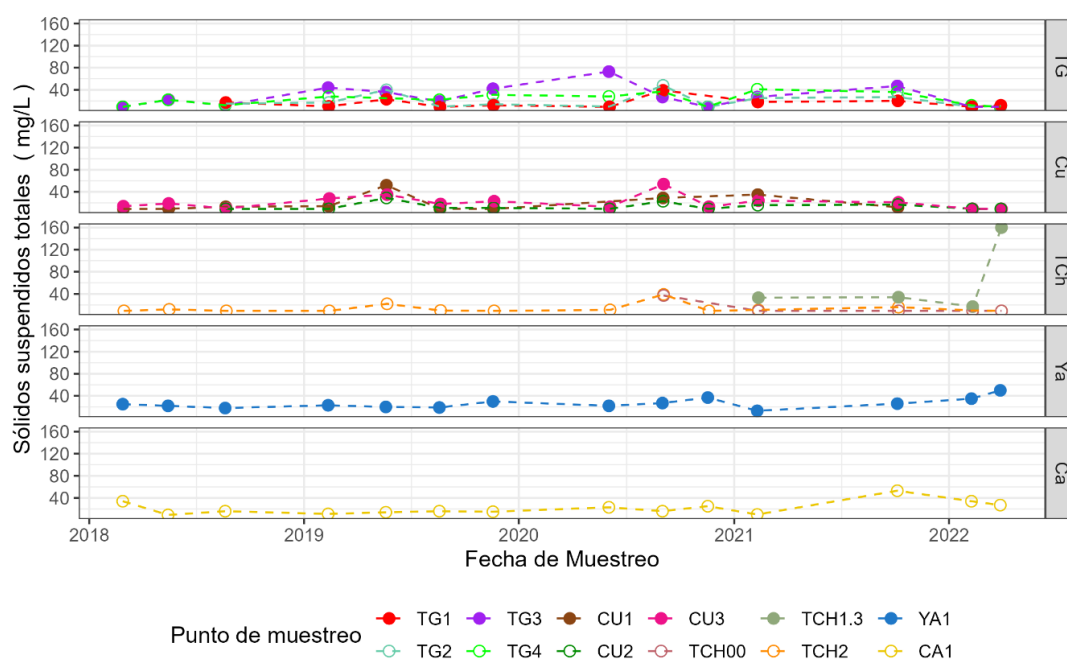


Figura 49 Variación temporal de la concentración de sólidos suspendidos totales en el agua en la cuenca del río Tacuarembó (TG). Cu=Cuñapirú, TCh= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá. CA, CU, YCH, TG y YA son las estaciones de muestreo de cada curso de agua.

Nitrógeno Total

En la cuenca del Tacuarembó, el nitrógeno total (NT) presentó valores promedio inferiores a 2 mg/L, siendo el Tacuarembó Chico el que presentó mayores valores con un promedio de 2,0 mg/L (Figura 50). El río Tacuarembó presentó una ligera tendencia de incremento a lo largo de su recorrido, aunque la misma no es considerable. Al igual que en otros parámetros, se observa que

la concentración del compuesto es mayor en los cuatro afluentes al momento de su desembocadura en el río Tacuarembó que en este último.

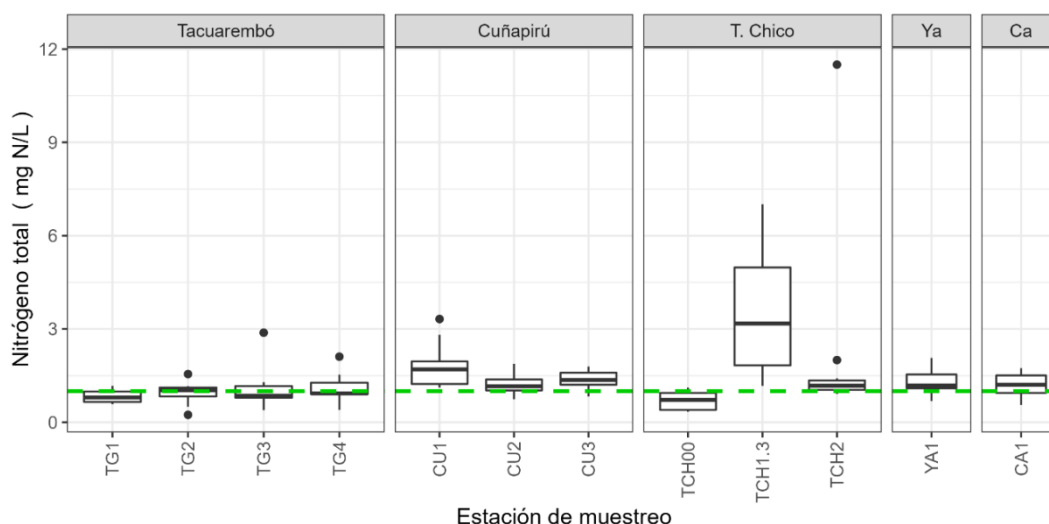


Figura 50. Variación espacial de la concentración de nitrógeno total en el agua de la cuenca del río Tacuarembó. La línea entrecortada indica el máximo establecido en la propuesta de la MTA. T. Chico= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá.

Respecto al comportamiento del NT en el tiempo, no se observan tendencias ni grandes variaciones durante el período de estudio (Figura 51). Sin embargo se pudo apreciar una concentración sumamente elevada en el Tacuarembó Chico en verano de 2018 y un aumento menor en la primavera de 2019 en la tercera estación del Tacuarembó y la primera del Cuñapirú.

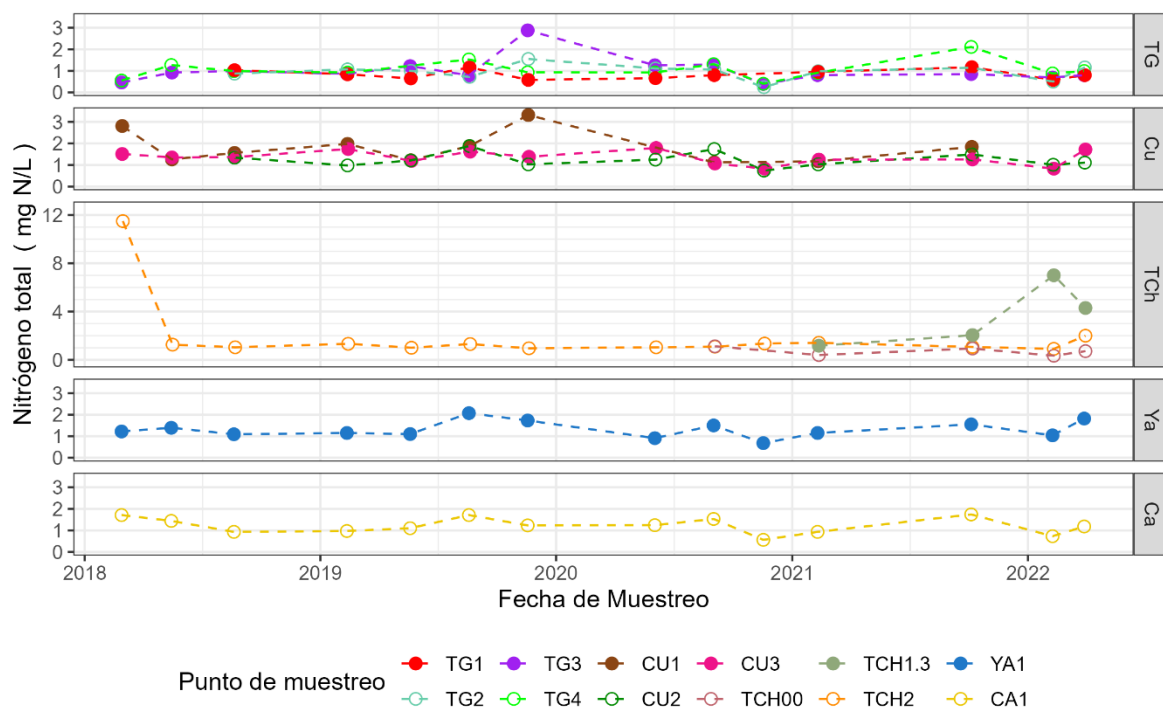


Figura 51 Variación temporal de la concentración de nitrógeno total en el agua en la cuenca del río Tacuaembó (TG). Cu=Cuñapirú, Tch= río Tacuaembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá. CA, CU, YCH, TG y YA son las estaciones de muestreo de cada curso de agua.

Nitrato

El valor de concentración de nitrato en el río Tacuaembó en promedio fue de 0,17 mg/L, similar a la de los A° Yaguarí y Caraguatá (0,14 y 0,18 respectivamente). El valor promedio de nitrato en el río fue superior en A° Cuñapirú (0,36mg/L), en tanto que en el Tacuaembó Chico fue de 0,34 mg/L. En el A° Cuñapirú los valores descienden desde la primera estación, ubicada sobre la ciudad de Rivera (CU1), donde el promedio es de 0,48 mg/L, hasta 0,25mg/L en la estación previa a la desembocadura en el Tacuaembó (CU3) (Figura 52). En el caso de estos dos últimos cuerpos de agua se evidencia la existencia de fuentes puntuales que afectan los cursos.

Temporalmente, no se observan tendencias de incremento o disminución de este parámetro, aunque sí una mayor variabilidad en el A° Cuñapirú y el río Tacuaembó Chico (Figura 53).

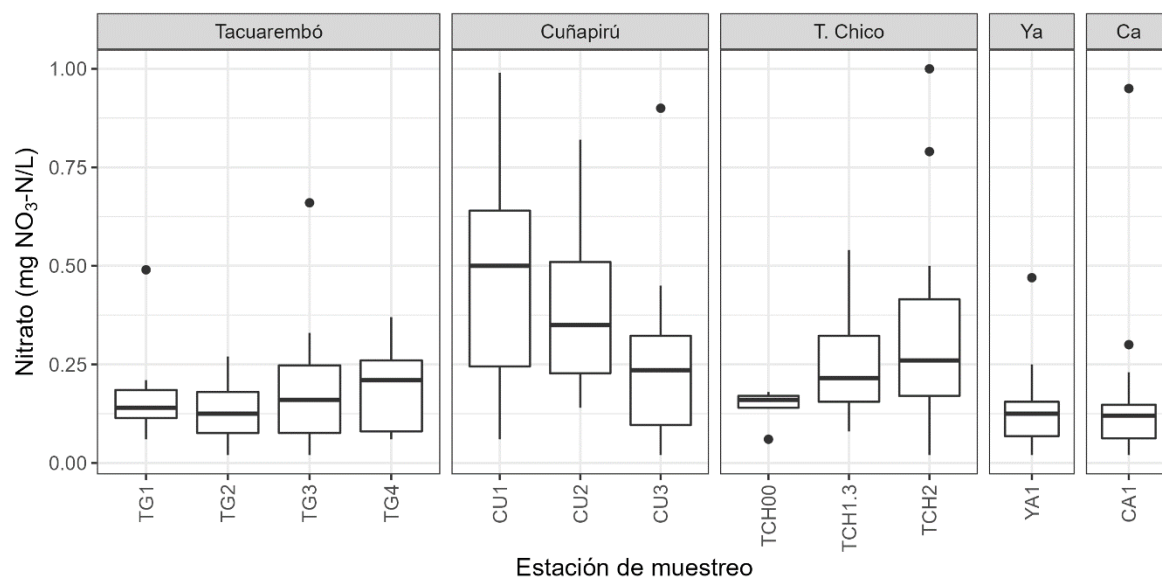


Figura 52. Variación espacial de la concentración de nitrato en el agua en la cuenca del río Tacuarembó. T. Chico= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá.

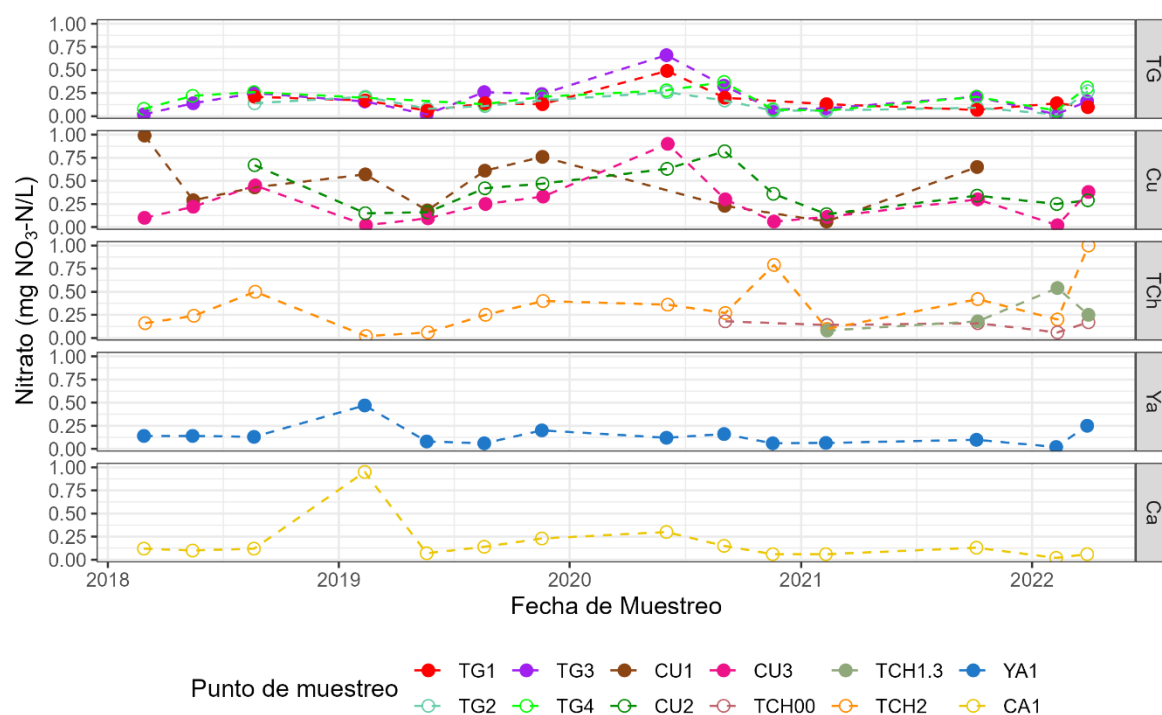


Figura 53. Variación temporal de la concentración de nitrato en el agua en la cuenca del río Tacuarembó (TG). Cu= Cuñapirú, Tch= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá. CA, CU, YCH, TG y YA son las estaciones de muestreo de cada curso de agua.

Amonio

El valor promedio de amonio en la cuenca del Tacuarembó fue de 0,09 mg/L (Figura 54). Los valores de este parámetro son bajos, lo cual es esperable para los cursos de agua naturales. Sin

embargo, existen sitios donde los valores son más elevados al promedio, en especial la estación ubicada aguas debajo de la ciudad de Tacuarembó en el río Tacuarembó Chico, así como la estación de cabecera del A° Cuñapirú. En ambos casos se evidencia los efectos de efluentes domésticos y/o industriales.

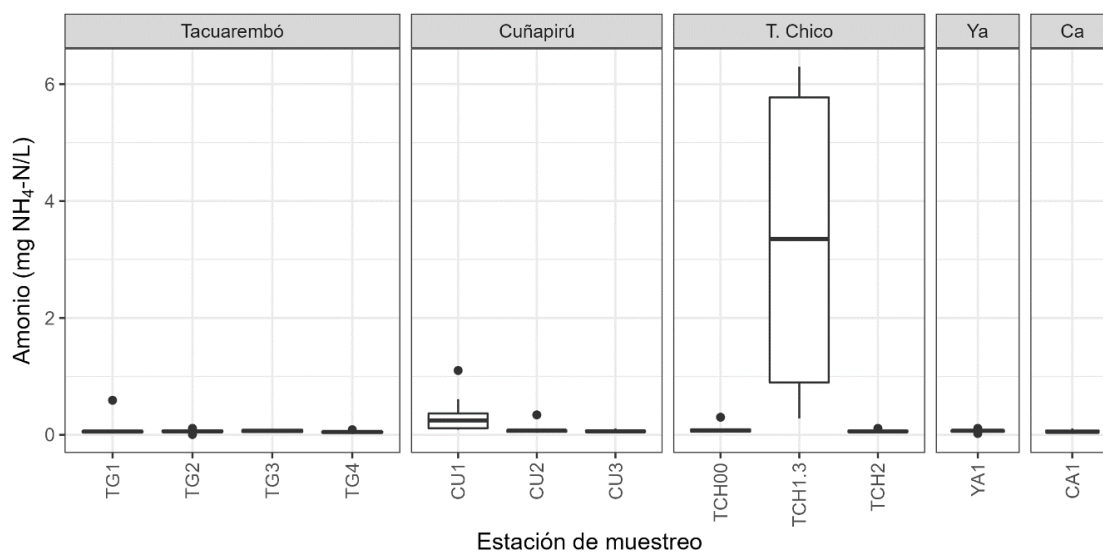


Figura 54 Variación espacial de la concentración de amonio en el agua en la cuenca del río Tacuarembó. T. Chico= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá.

En la serie temporal del período estudiado, no se observaron tendencias en los diferentes cursos de agua (Figura 55). No obstante, se pudo observar que en la primera estación de monitoreo del Cuñapirú se registró una importante variabilidad (además de presentar los mayores valores). Asimismo en la primera estación del río Tacuarembó en otoño de 2020 se observó un valor anormalmente elevado (0,59 mg/L).

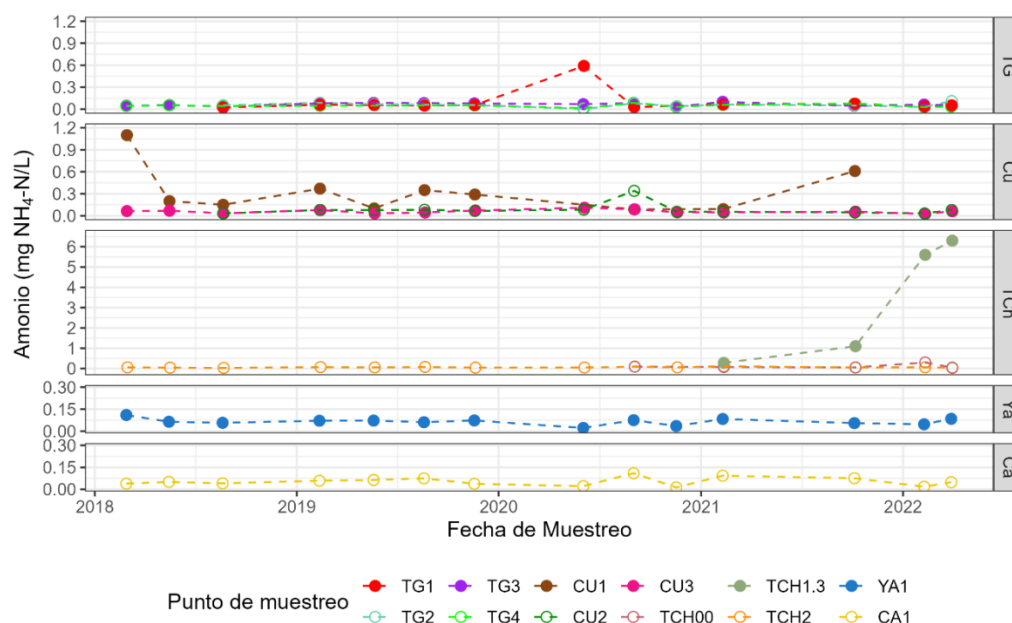


Figura 55 Variación temporal de la concentración de amonio en el agua en la cuenca del río Tacuarembó (TG). Cu=Cuñapirú, TCh= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá. CA, CU, YCH, TG y YA son las estaciones de muestreo de cada curso de agua.

Fósforo Total

La concentración de PT en el río Tacuarembó siempre estuvo, al igual que en el curso del Río Negro, por encima del límite establecido en la norma (25 µg/L). No obstante en términos generales la concentración de PT es algo menor que en este último. A lo largo río Tacuarembó la concentración de dicho nutriente presentó una ligera tendencia a incrementarse a lo largo del curso, aunque su valor promedio (98,5 µg/L) fue ligeramente inferior al de los tributarios (Figura 56). Entre éstos, el río Tacuarembó Chico presentó el mayor valor promedio (153 µg/L). En la serie de tiempo de PT se observó una tendencia a incrementarse a partir del año 2020 (Figura 57). Por otra parte, se pudieron apreciar variaciones importantes, particularmente en los ríos Tacuarembó Chico y el Cuñapirú.

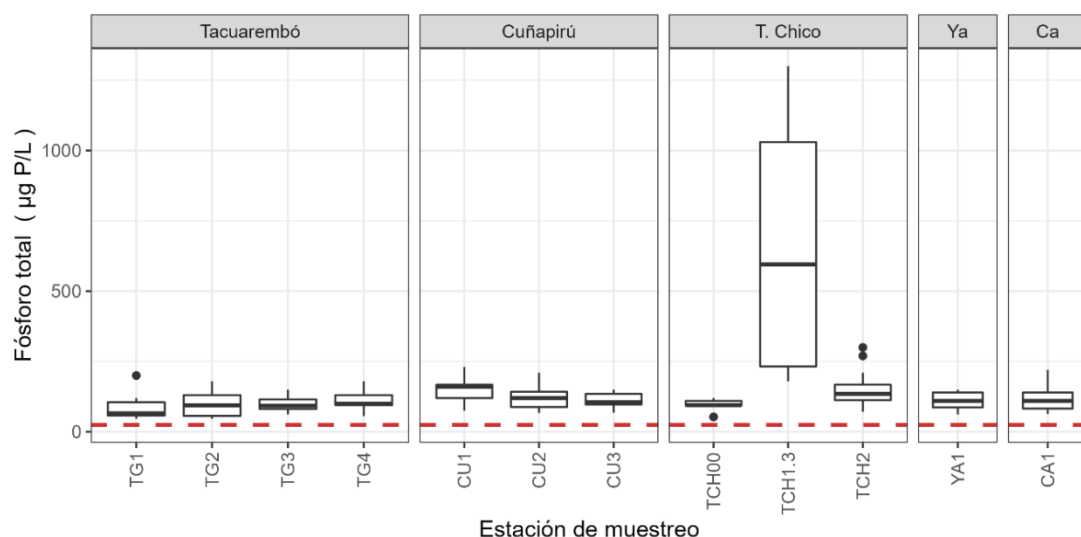


Figura 56 Variación espacial de la concentración de fósforo total en el agua en la cuenca del río Tacuarembó. La línea entrecortada indica el máximo establecido para las aguas naturales en el Decreto 253/79. T. Chico= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá.

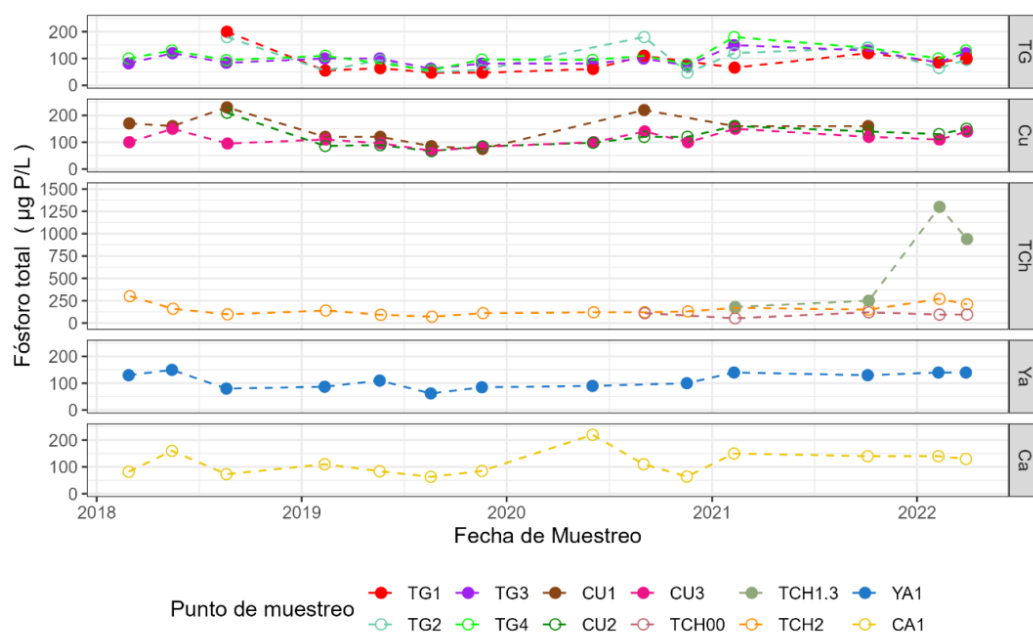


Figura 57 Variación temporal de la concentración de fósforo total en el agua en la cuenca del río Tacuarembó (TG).Cu=Cuñapirú, Tch= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá. CA, CU, YCH, TG y YA son las estaciones de muestreo de cada curso de agua.

Fosfato

La concentración promedio de fosfato en la cuenca del Tacuarembó fue de 55,1 µg/L. La misma fue algo menor en el río Tacuarembó Grande, incrementándose de 26,1 µg/L en TG1 a 57,7 µg/L en TG4 a lo largo del curso, en tanto que la mayor se registró en el Tacuarembó chico (290 µg/L) (Figura 58). En este último se observa similar situación que para el nitrógeno amoniacal, donde en

el sitio ubicado aguas debajo de la ciudad los valores son considerablemente superiores al resto. En cuanto a la serie temporal, no se observan tendencias a incrementarse o disminuir aunque sí se destaca la mayor variabilidad registrada en el tiempo en el río Tacuarembó Chico (Figura 59).

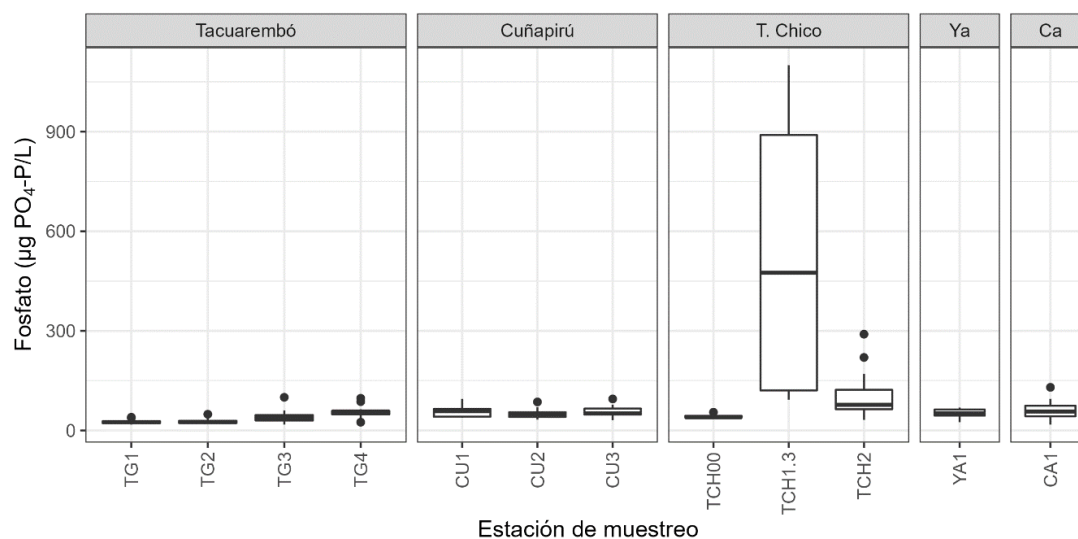


Figura 58. Variación espacial de la concentración de fosfato en el agua en la cuenca del río Tacuarembó. Las líneas entrecortadas indican el rango establecido en la normativa vigente T. Chico= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá.

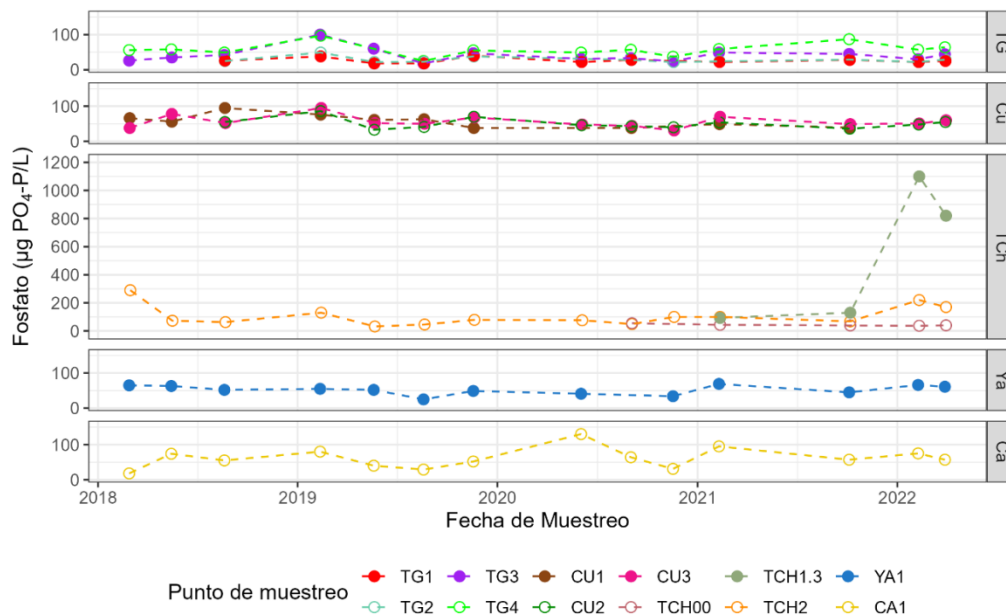


Figura 59. Variación temporal de la concentración de fosfato en el agua en la cuenca del río Tacuarembó (TG). Cu=Cuñapirú, TCh= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá. CA, CU, YCH, TG y YA son las estaciones de muestreo de cada curso de agua.

4.3.2. Parámetros biológicos

Coliformes termotolerantes

Los valores promedio de estos microorganismos encontrados en los diferentes cursos de la cuenca del Tacuarembó en general fueron concordantes con cursos de agua naturales. Sin embargo en algunos tramos se registraron valores relativamente elevados (Figura 60). La primera estación del arroyo Cuñapirú los valores de coliformes fueron sensiblemente más altos, con un promedio superior a los 2000 UFC/100mL, indicando que en dicho sitio este parámetro no cumple con la norma. Por otra parte, en la primera estación del río Tacuarembó Grande si bien los valores de coliformes termotolerantes cumplen con la norma, los mismos son elevados más teniendo en cuenta que provienen de una estación de un tramo alto del curso. Algo similar se observa en el Tacuarembó Chico, así también como en la estación siguiente (TCH1.3), ubicada aguas debajo de la ciudad de Tacuarembó. Se ha observado que en ese sitio ocurre el paso de tropas de ganado, lo que probablemente explique los valores relativamente altos de coliformes en las muestras provenientes de ese lugar.

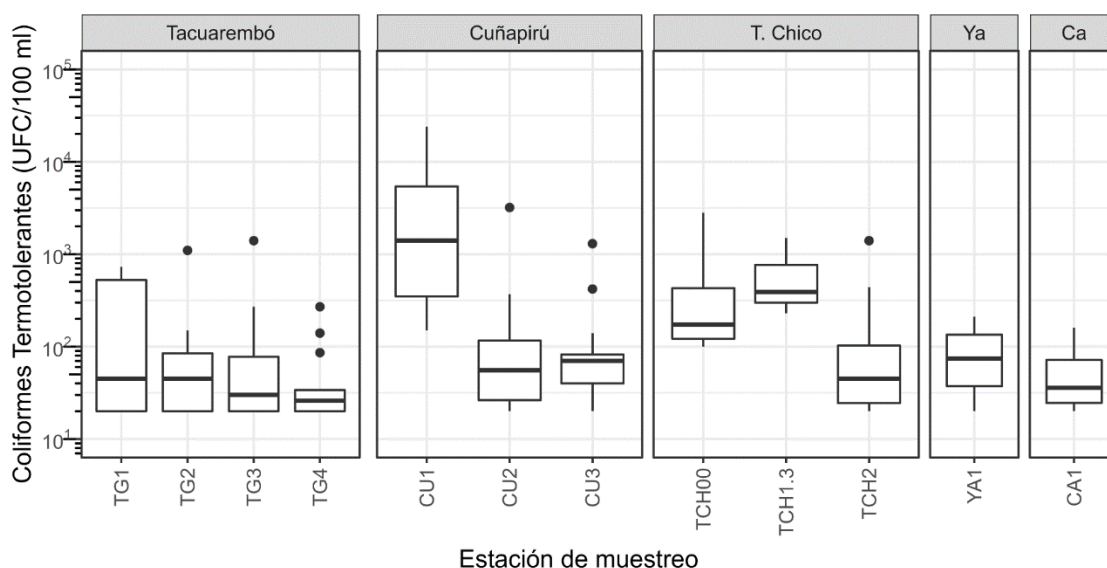


Figura 60 Variación espacial de la concentración de coliformes termotolerantes en el agua en la cuenca del río Tacuarembó. T. Chico= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá.

Clorofila-a

Los valores de clorofila en los diferentes sitios de muestreo dentro de la cuenca se mostraron bajos, lo que es coincidente con el tipo de ambiente que representan (cursos de agua con tiempos de permanencia en la misma que no superan los dos días) (Figura 61). No obstante, de forma puntual se presentaron algunos valores mayores a 10 µg/L, considerados elevados para los cursos de agua. Tales valores ocurrieron principalmente en el río Tacuarembó Chico.

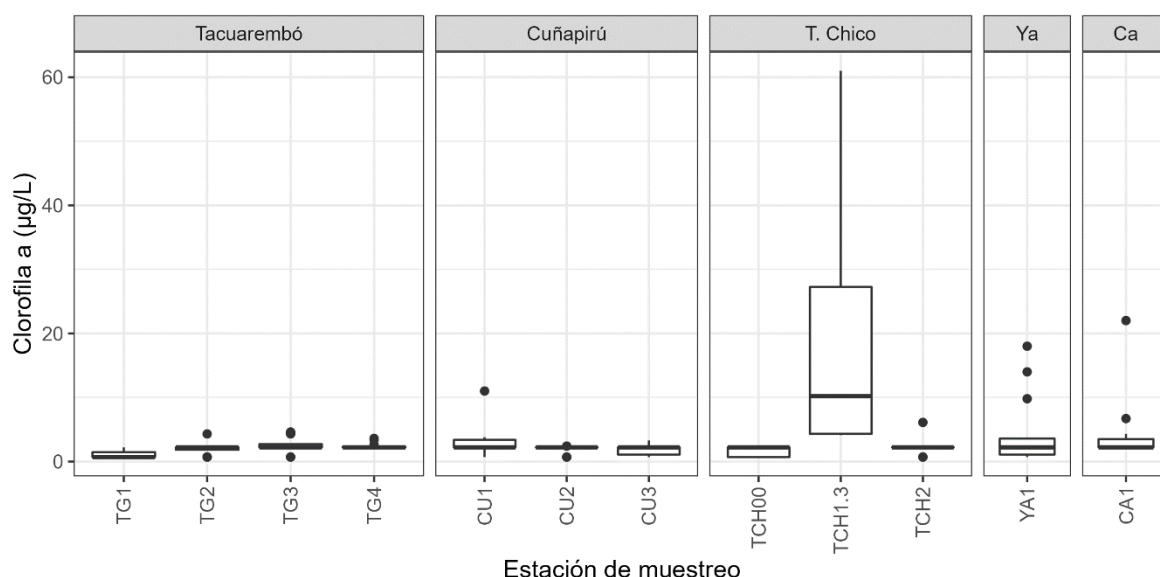


Figura 61. Variación espacial de la concentración de clorofila en el agua en la cuenca del río Tacuarembó. T. Chico= río Tacuarembó Chico, Ya= río Yaguarí, Ca= río Caraguatá.

4.3.3. Metales y compuestos orgánicos contaminantes

En la cuenca del río Tacuarembó se analizó arsénico y mercurio en agua (Tabla 13). El primero de estos metales se detectó en tres de cada cuatro muestras analizadas y su concentración siempre cumplió con la normativa aplicable. La mayor frecuencia de detección fue en los arroyos Caraguatá y Yaguarí. En el caso del mercurio, la frecuencia de detección fue menor, aunque dos de las muestras tuvieron concentraciones mayores a los establecidos en la normativa, siendo las concentraciones más altas registradas en la cuenca durante el quinquenio analizado. Estas dos muestras corresponden a la primera estación del río Tacuarembó y el arroyo Cuñapirú.

Tabla 13. Metales pesados detectados en la cuenca del río Tacuarembó. Número de muestras analizadas (N), porcentaje de eventos en que el compuesto fue detectado, máximo valor cuantificado (Máx) y número de eventos donde se incumple la normativa.

Parámetro	N	% Detectables	Valor Max (µg/L)	Limite	Incumplimientos
AsT	113	76	0,005	0,005	0
HgT	137	31	0,0011	0,0002	2

En cuanto a los productos de uso agrícola, se analizaron el glifosato y AMPA (Tabla 14). El glifosato se detectó en sólo el 5% de las 122 muestras analizadas y se logró cuantificar en 3 ocasiones en concentraciones similares (0,28 – 0,33 µg/L), cumpliendo ampliamente con el valor guía de 65 µg/L sugerido en GESTA Agua 2014. En cuanto al AMPA, el compuesto se detectó al menos una vez en todos los cursos de agua de la subcuenca, a excepción del Tacuarembó chico. El compuesto se determinó en concentraciones entre 0,58 y 0,98 µg/L.

Tabla 14. Productos de uso agrícola analizados durante los monitoreos en el río Tacuarembó. Número de muestras analizadas (N), porcentaje de eventos en que el analito fue detectado y máximo valor cuantificado (Máx).

Parámetro	N	% detectables	Valor Max cuantificado (µg/L)
AMPA	106	20	0,98
Glifosato	122	5	0,33

4.3.4. Cargas de nutrientes aportados desde la cuenca

Las cargas de nutrientes aportadas desde la cuenca se muestran para nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) según su evolución anual y proporción en cada categoría. A su vez se presentan los resultados en su distribución espacial considerando el promedio de aporte del período analizado. Estos resultados se construyeron a partir de cargas de aporte diarias por lo que para la discusión también se utilizaron diferentes análisis espaciales y temporales de esta información.

Nitrógeno total

La modelación de la carga de aporte promedio de NT en el período 2017-2021 en la cuenca del Río Tacuarembó arrojó que a lo largo de la cuenca existen zonas de mayor presión en términos de exportación de NT asociados a los usos de suelo y actividades específicas.

El promedio de cargas de NT exportadas por unidad de área de la cuenca del río Tacuarembó durante el período 2017-2021 fue de 4,09 Kg/ha/año, un valor similar al de la cuenca media del Río Negro. La carga de NT anual en la cuenca del Río Tacuarembó tuvo una marcada variación, ocasionada por el aporte difuso (Figura 62). El mayor valor de exportación sucedió durante 2017 (11.633 ton/año) y el menor durante 2020 (2.989 ton/año).

El porcentaje de aporte difuso de NT en la cuenca del Río Tacuarembó varió entre un 26,7 % para el año 2020 y un 81,2 % en el año 2017, siendo el aporte directo el segundo en relevancia y superando al difuso en 2020 (Figura 62).

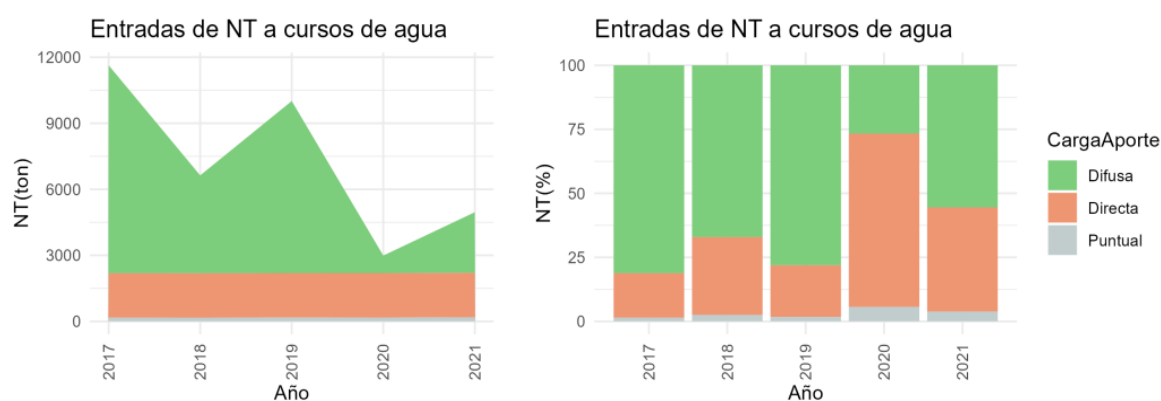


Figura 62 Carga de aporte de NT anual (ton/año) en cuenca del Río Tacuarembó, izquierda. Proporción de carga de aporte anual de NT según categorías en cuenca del Río Tacuarembó, derecha.

Fósforo total

En el caso del PT la modelación también arrojó que a lo largo de la cuenca del río Tacuarembó existen zonas de mayor presión en términos de exportación de PT asociados a los usos de suelo y actividades específicas.

El promedio de cargas de PT exportadas por unidad de área durante el período 2017-2021 fue de 0,77 Kg/ha/año, un valor similar al de la cuenca media del Río Negro. La carga de PT anual en la cuenca del Río Tacuarembó (Figura 63) también tuvo una marcada variación a causa del aporte difuso. Los valores de exportación mayores sucedieron durante 2017 (2.586 ton/año) y los de menor durante el año 2020 (490 ton/año).

El porcentaje de aporte difuso de PT en la cuenca del Río Tacuarembó varió entre un 40 % para el año 2020 y un 89,1 % en el año 2017, siendo el aporte directo el segundo en relevancia, superando al difuso en 2020 (Figura 63).

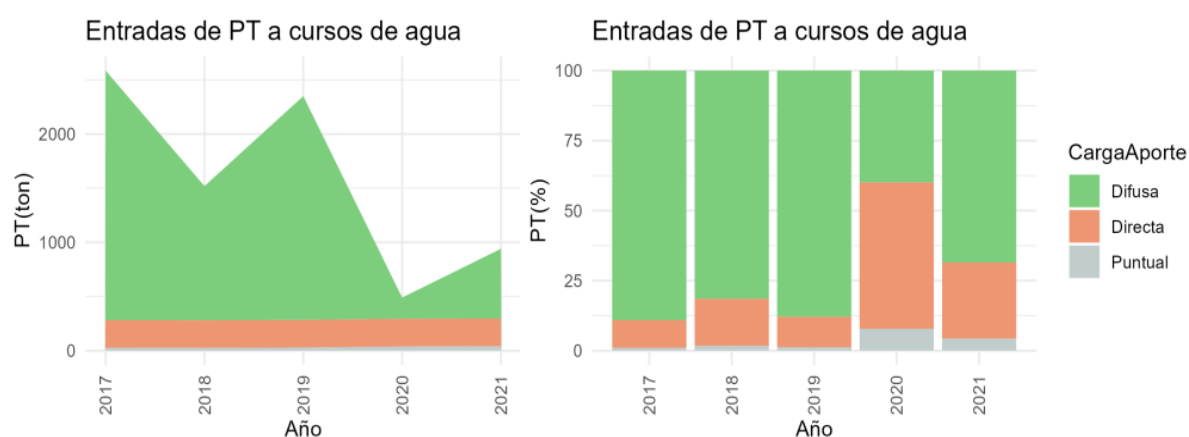


Figura 63. Carga de aporte de PT anual (ton/año) en cuenca del Río Tacuarembó, izquierda. Proporción de carga de aporte anual de PT según categorías en cuenca del Río Tacuarembó, derecha.

4.4. Río Yí

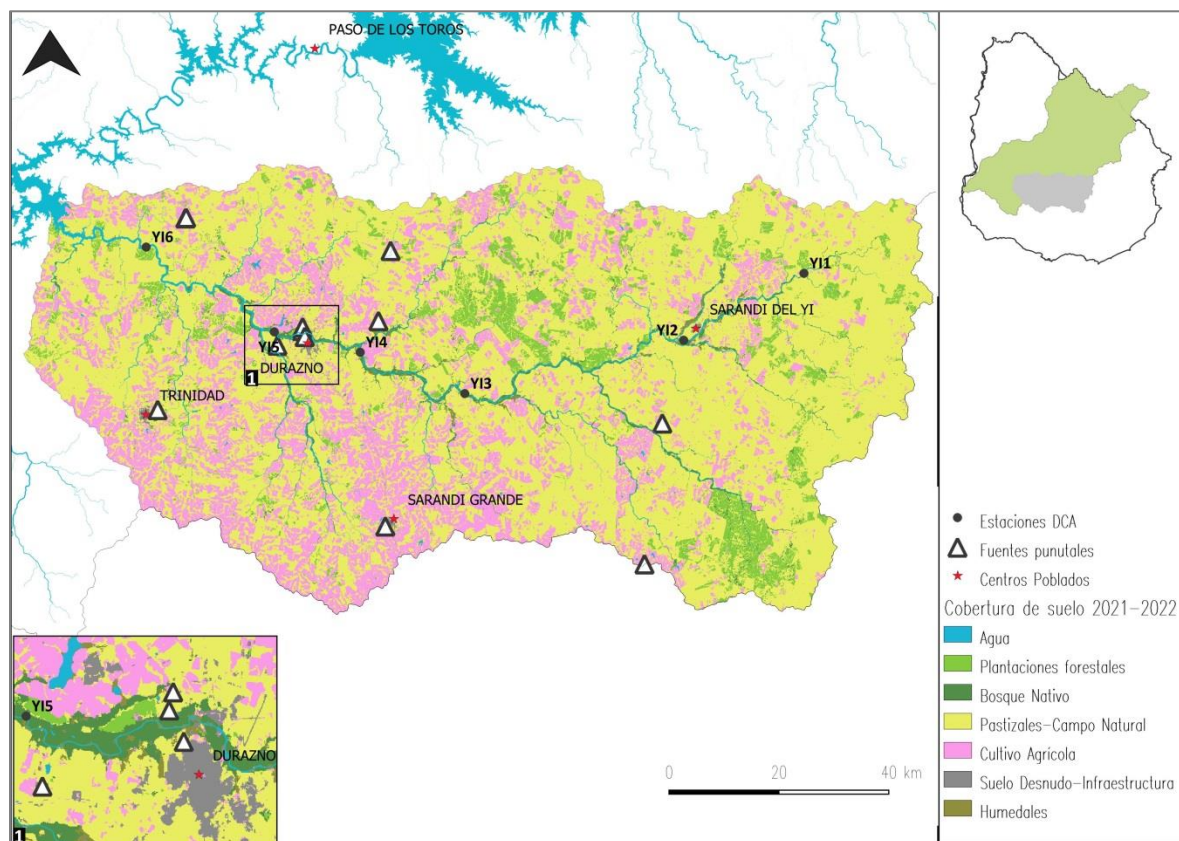


Figura 64 Cuenca del Río Yí donde se indican los principales usos del suelo en la cuenca así como las fuentes puntuales controladas (tambos, feed-lots, industrias y PTAR).

4.4.1. Parámetros fisicoquímicos

Temperatura

En la cuenca del río Yí (Figura 64) la temperatura superficial del agua presentó un promedio de 19,5°C y su variación estuvo fuertemente marcada por la estacionalidad (Figura 65), variando entre un promedio de 25,2 °C en verano y un promedio de 15,1 °C en invierno.

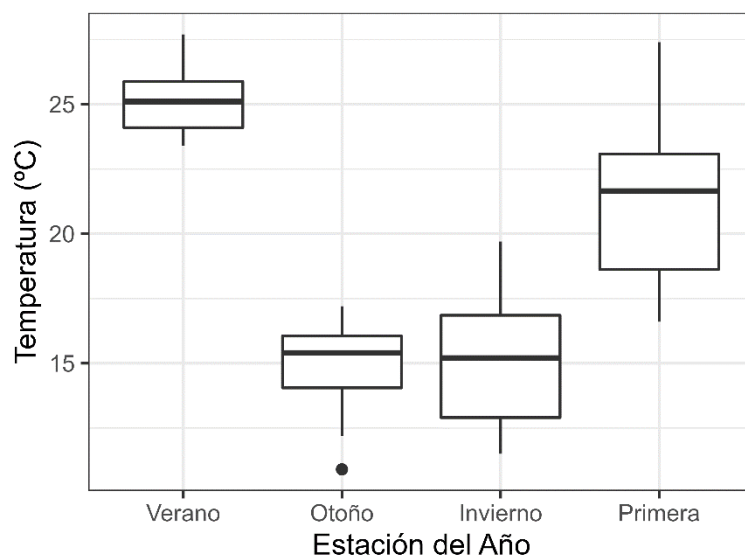


Figura 65 Registro de temperatura en el agua según las estaciones del año en el río Yí.

pH

El valor promedio de pH en la cuenca del río Yí fue de 7,5 y mayormente se mantuvo dentro del rango establecido en la normativa. A lo largo del río se observaron variaciones pero sin tendencias unidireccionales (Figura 66). El sitio que registró el mayor valor promedio de pH fue la primera estación (YI1=7,6), en tanto que el que registró el menor fue la segunda estación la de menor promedio (YI2=7,3). Luego se observó un incremento hasta YI5 y un nuevo descenso en YI6.

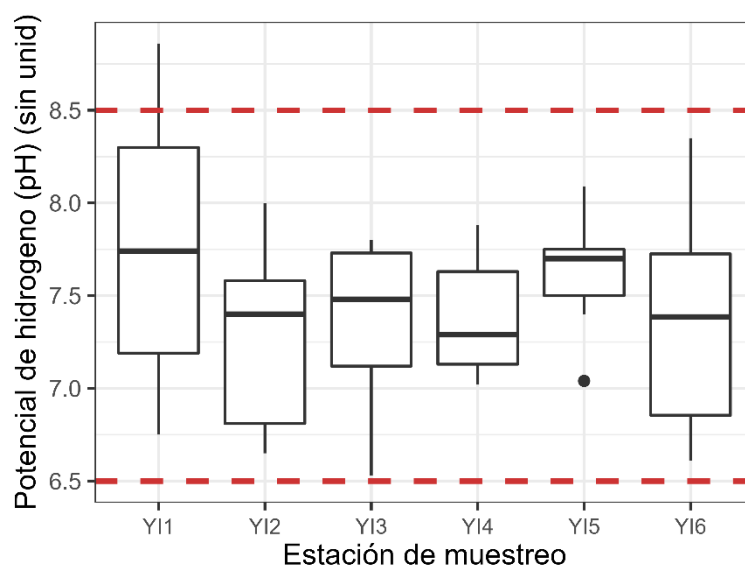


Figura 66 Variación espacial del pH del agua en el río Yí. Las líneas entrecortadas indican el rango establecido para las aguas naturales en el Decreto 253/79.

A lo largo del período no se observaron tendencias de incremento o disminución de este parámetro, aunque se observó generalmente en todas las estaciones el mismo patrón de variación (Figura 67).

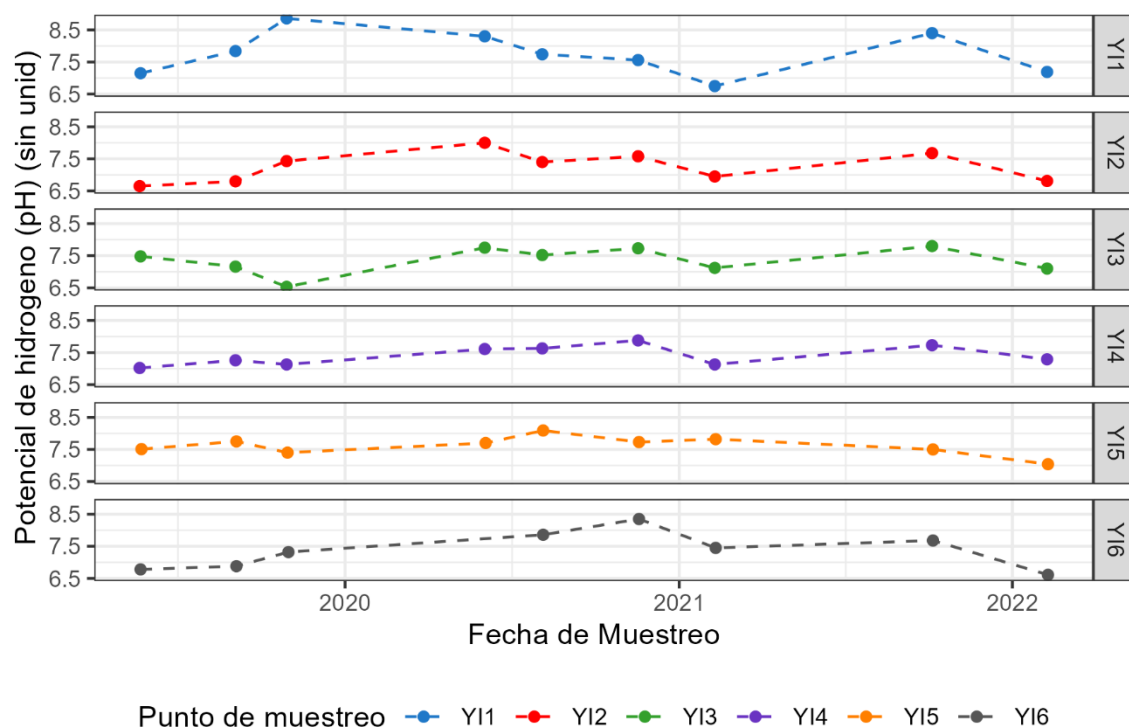


Figura 67 Variación temporal del pH del agua en el río Yí.

Conductividad

La conductividad específica en el agua del río Yí registró valores entre 61,8 y 314,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 68). En términos generales se observó una tendencia de incremento de este parámetro a lo largo del curso, siendo de 105,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la segunda estación (YI2) y 191,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la última estación de monitoreo (YI6). La primera estación presentó un valor promedio algo superior a la segunda, situación que podría deberse a un fenómeno local en ese sitio debido al acceso de ganado al mismo.

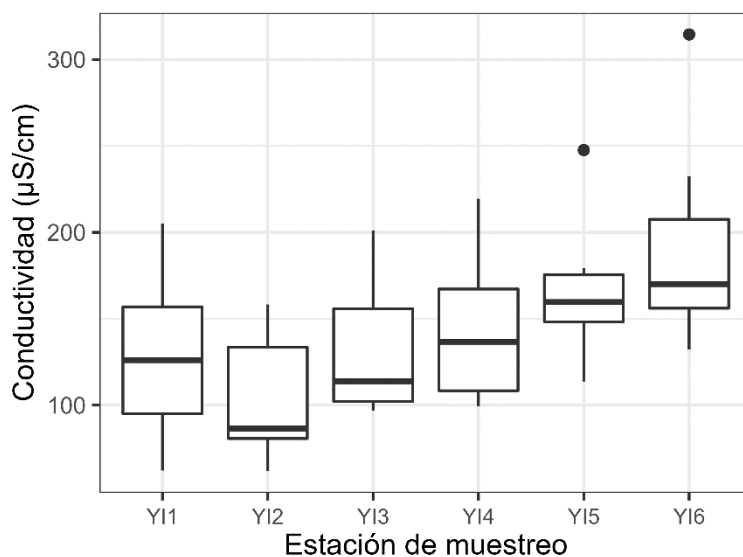


Figura 68 Variación espacial de la conductividad del agua en el río Yí.

A lo largo del período no se observaron tendencias de incremento o disminución en la conductividad en ninguno de los cursos monitoreados (Figura 69). Sí se observó que todos presentaron el mismo patrón, habiéndose detectado el valor máximo durante el muestreo de primavera de 2020.

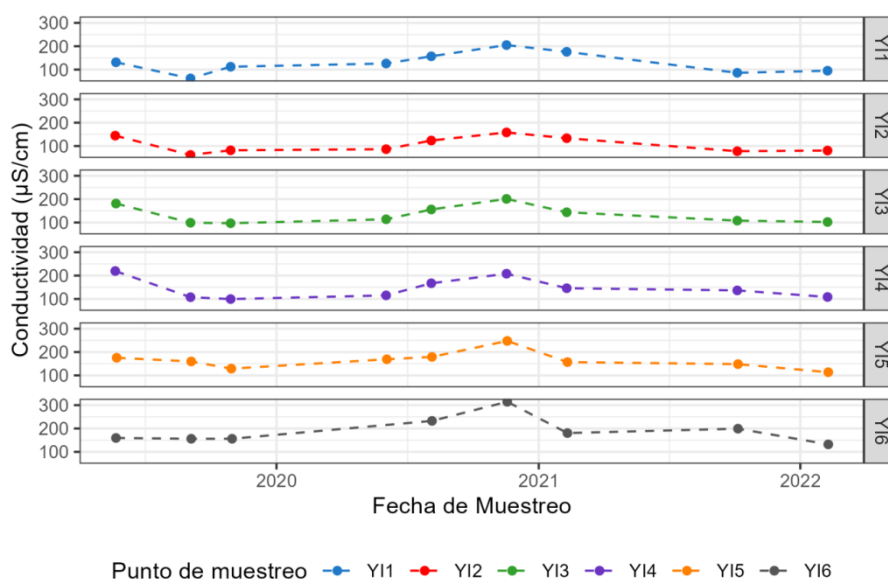


Figura 69 Variación temporal de la conductividad del agua en el río Yí.

Oxígeno Disuelto

En el río Yí los valores de oxígeno se mantuvieron entre 5,8 y 11,5 mg/L, estando siempre por encima del mínimo establecido en la norma vinculante (Figura 70). La concentración de oxígeno fue similar en los diferentes cursos de la cuenca, estando los promedios en valores aproximados entre 7,9 y 8,1 mg/L en los distintos sitios donde fue medido.

Por otra parte a lo largo de la serie temporal no se encontraron tendencias de incremento o disminución del oxígeno (Figura 71).

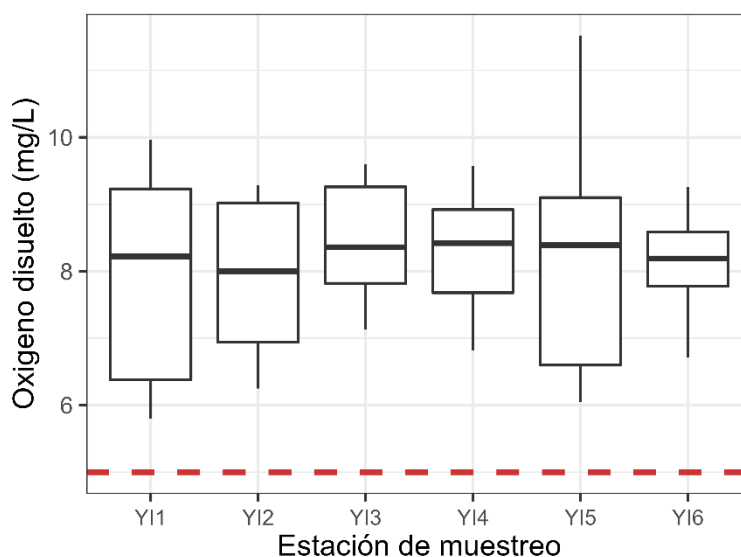


Figura 70. Variación espacial de la concentración de oxígeno disuelto en el agua del el río Yí. La línea entrecortada el mínimo establecido para las aguas naturales en el Decreto 253/79.

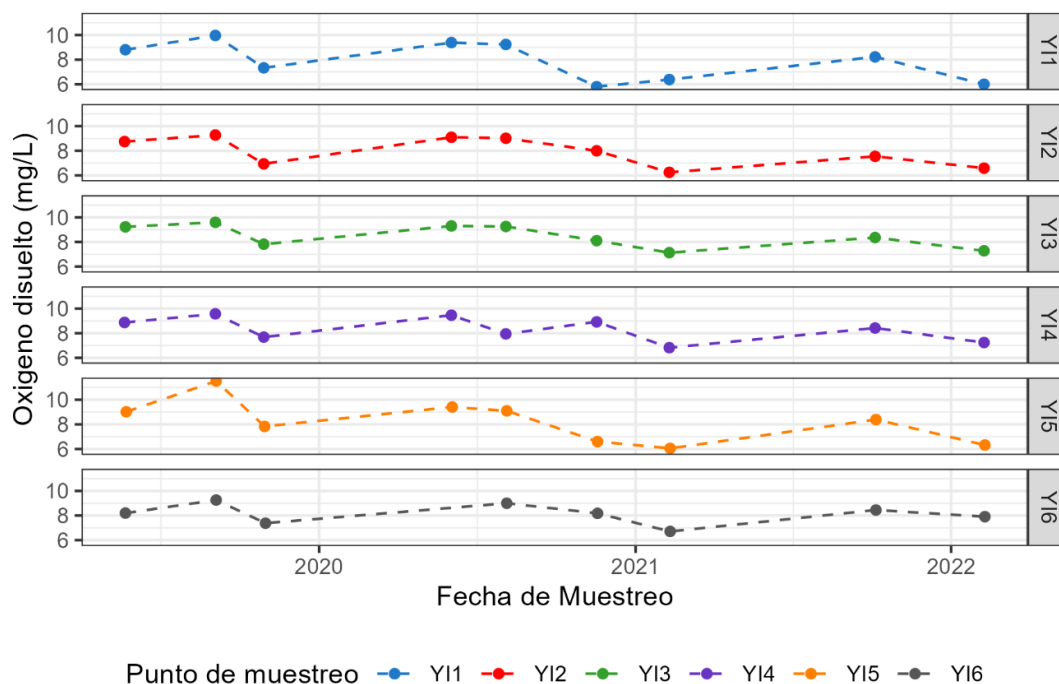


Figura 71. Variación temporal de la concentración de oxígeno disuelto en el agua del el río Yí.

Sólidos suspendidos totales

El promedio de SST en el río Yí fue de 15,4 mg/L, valor similar a los obtenidos en el Tacuarembó y en la cuenca baja del Río Negro (Figura 72). La concentración de SST presentó un leve incremento gradual desde la primera estación hasta la estación del paso San Borja (YI4) y a partir de allí presentó un ligero descenso en el resto del curso.

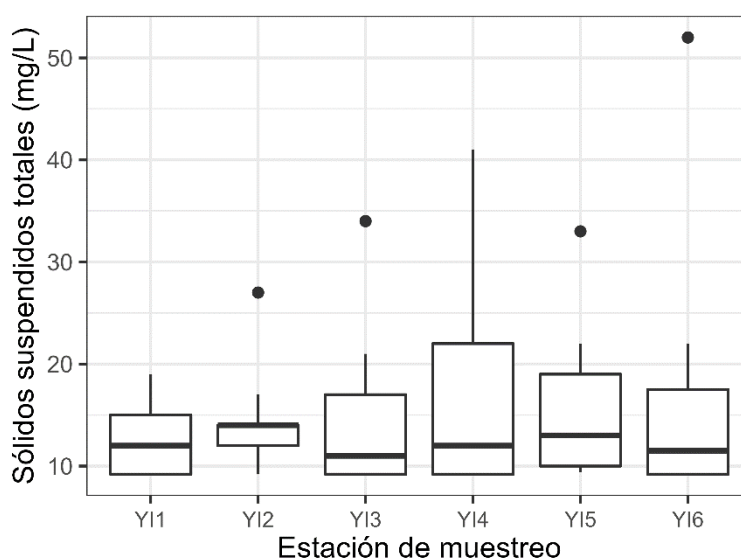


Figura 72. Variación espacial de la concentración de sólidos suspendidos totales en el agua del el río Yí.

Por otra parte no se observaron tendencias de incremento o decrecimiento a lo largo del período en estudio (Figura 73). Se pudo observar no obstante en general el mismo patrón en todas las estaciones, dejando en evidencia la interconexión entre los diferentes sitios para este parámetro.

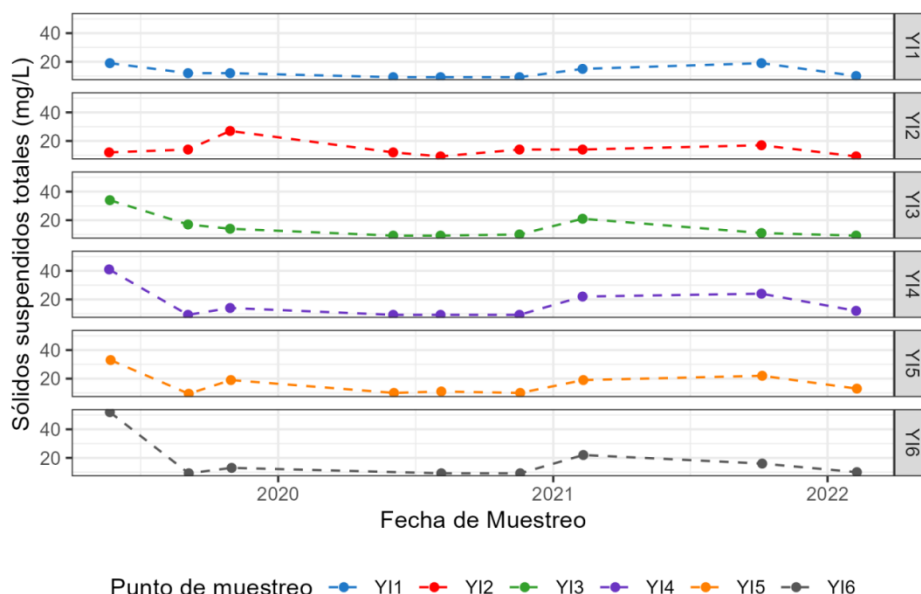


Figura 73 Variación temporal de la concentración de sólidos suspendidos totales en el agua del el río Yí.

Nitrógeno Total

En el río Yí la concentración promedio de nitrógeno total (NT) fue cercano a 1,5 mg/L. A lo largo del curso la misma aumentó de cerca de 1,2 mg/L hasta la estación ubicada aguas abajo de Durazno (Yi5), en la cual el promedio fue de 1,67 mg/L (Figura 74), tendiendo a disminuir nuevamente en la última estación de monitoreo.

Respecto al comportamiento del NT en el tiempo, no se observaron grandes variaciones a excepción de invierno y primavera de 2020 para varios sitios (Figura 75).

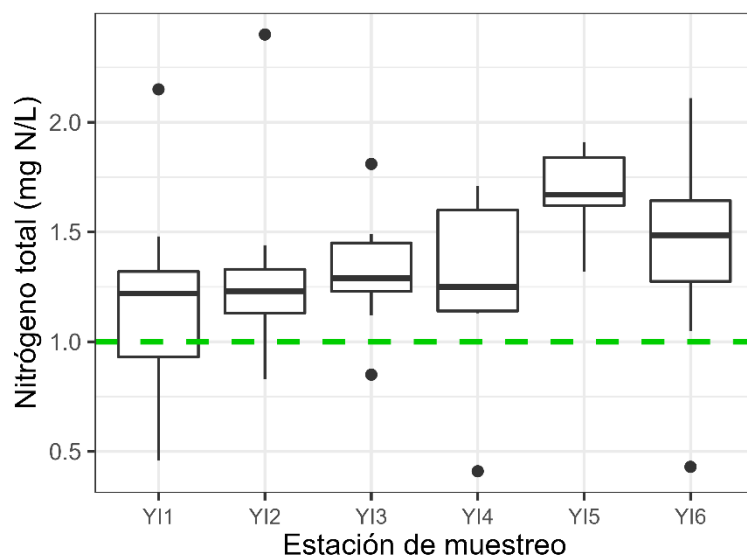


Figura 74. Variación espacial de la concentración de nitrógeno total en el agua del el río Yí. La línea verde indica el máximo establecido en la norma de MTA.

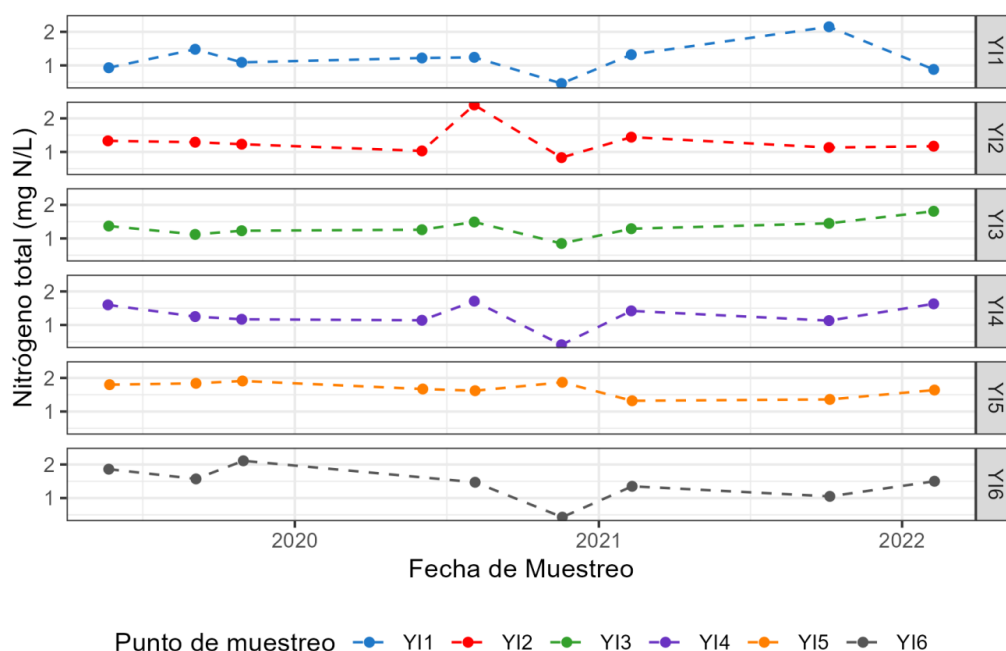


Figura 75 Variación temporal de la concentración de nitrógeno total en el agua del el río Yí.

Nitrato

La concentración de nitrato en el río Yí en promedio resultó ser 0,23 mg/L (Figura 76). Al igual que para el NT, el nitrato fue incrementándose gradualmente desde la primera estación hasta Y14 (0,15 mg/L), experimentando un salto importante hacia Y15 (0,6 mg/L) y luego un cierto descenso hacia Y16.

Temporalmente no se observaron tendencias de incremento o disminución de nitrato, presentando en general todas las estaciones un patrón similar (Figura 77). Sin embargo, la

estación YI5 (aguas debajo de Durazno) presentó puntualmente valores más elevados que las restantes.

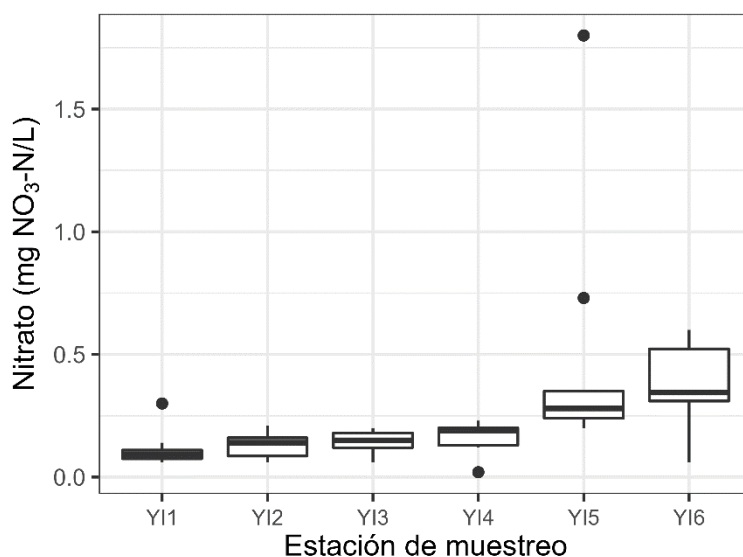


Figura 76 Variación espacial de la concentración de nitrato en el agua del el río Yí.

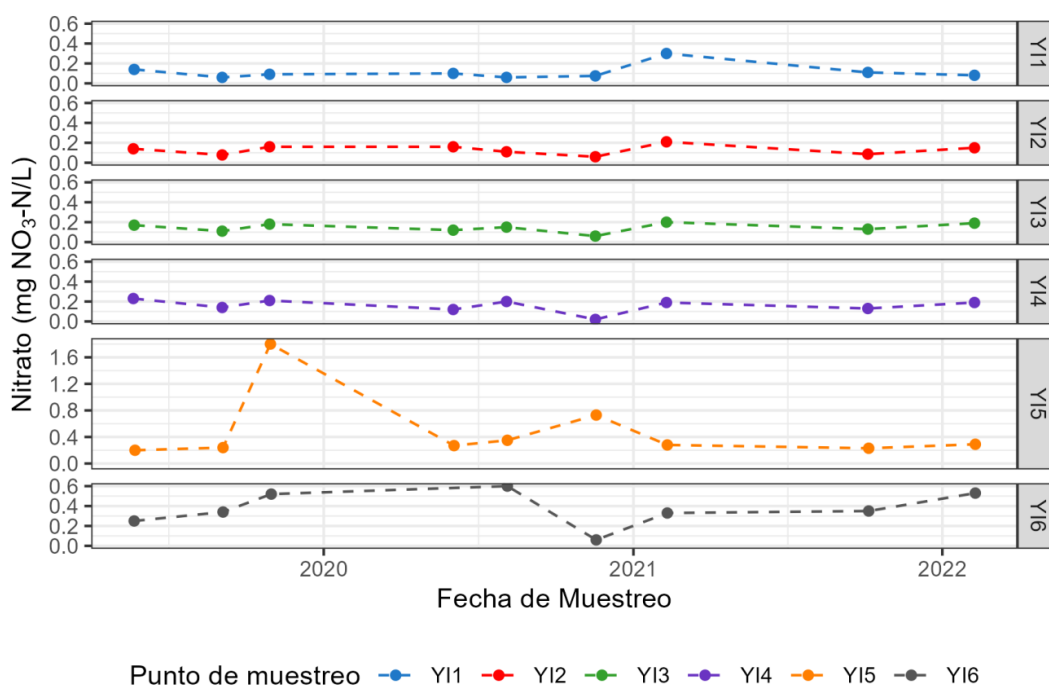


Figura 77 Variación temporal de la concentración de nitrato en el agua del el río Yí.

Amonio

Los valores de amonio en el río Yí se encontraron por debajo del límite establecido en la norma, el máximo observado fue de 0,51 mg/L en YI5 (Figura 78). Los valores de este parámetro fueron bajos, lo cual es esperable para los cursos de agua naturales. Sin embargo, la estación ubicada

aguas abajo de Durazno (Y15) presentó valores extremadamente elevados de amonio, el promedio en esta estación fue de 0,26 mg/L, mientras que los demás no superaron los 0,1 mg/L

En la serie temporal del período estudiado, no se observaron tendencias a lo largo del curso de agua (Figura 79). Sin embargo, nuevamente lo destacable es la gran variabilidad del amonio en la estación Y15, así como sus elevados valores respecto a las restantes.

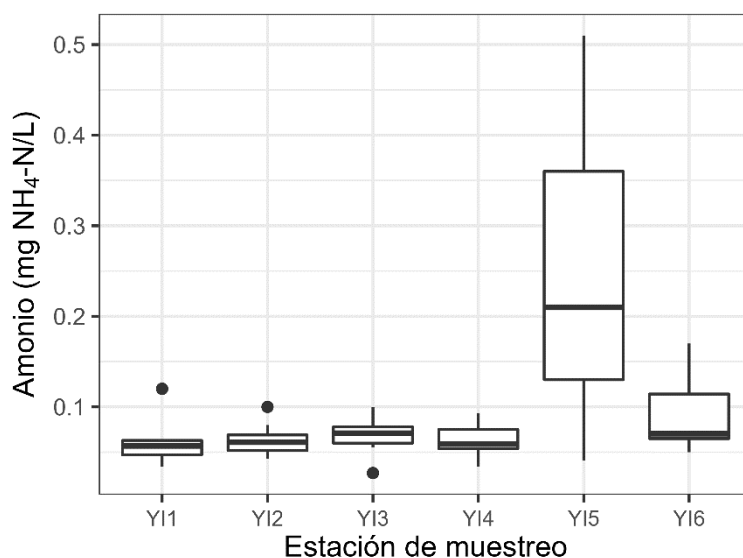


Figura 78 Variación espacial de la concentración de amonio en el agua del el río Yí.

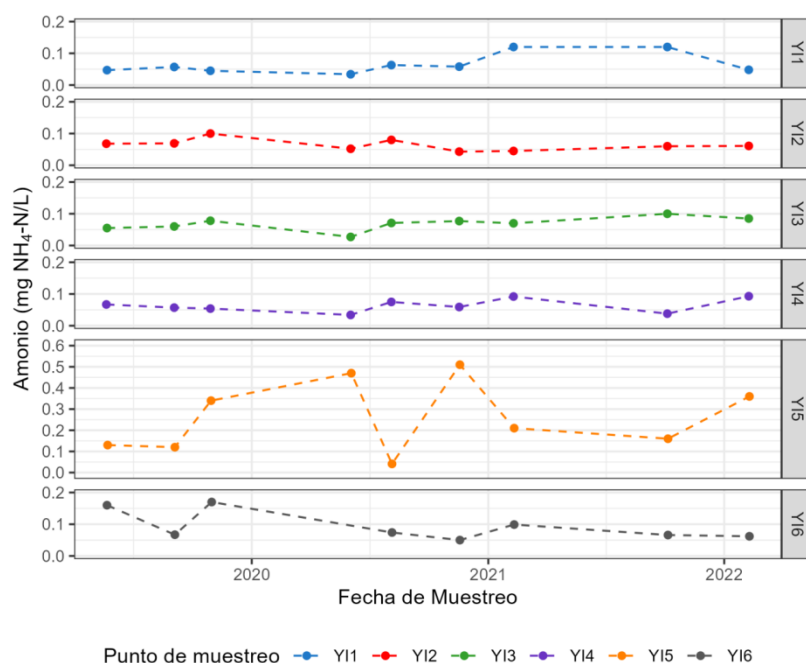


Figura 79. Variación temporal de la concentración de amonio en el agua del el río Yí.

Fósforo Total

El promedio de la concentración de PT en el río Yí fue de 130,8 µg/L. Al igual que para el nitrógeno, se registró una marcada tendencia de incremento de este parámetro a lo largo del río,

comenzando con un promedio de 66,3 $\mu\text{g/L}$ en la primera estación de monitoreo y culminando con 196,3 $\mu\text{g/L}$ en la última (Figura 80). Si bien se observó un aumento lineal, entre la estación YI4 y YI5 el incremento fue mayor que entre las restantes estaciones. A diferencia del nitrógeno, en la última estación (YI6) no hubo una disminución respecto a YI5.

A lo largo de la serie temporal el PT no presentó una tendencia a incrementarse o disminuir (Figura 81). No obstante se observa un comportamiento muy similar en las primeras tres o cuatro estaciones, en tanto que las últimas dos presentan valores en general más elevados que las precedentes, así como con mayor variabilidad.

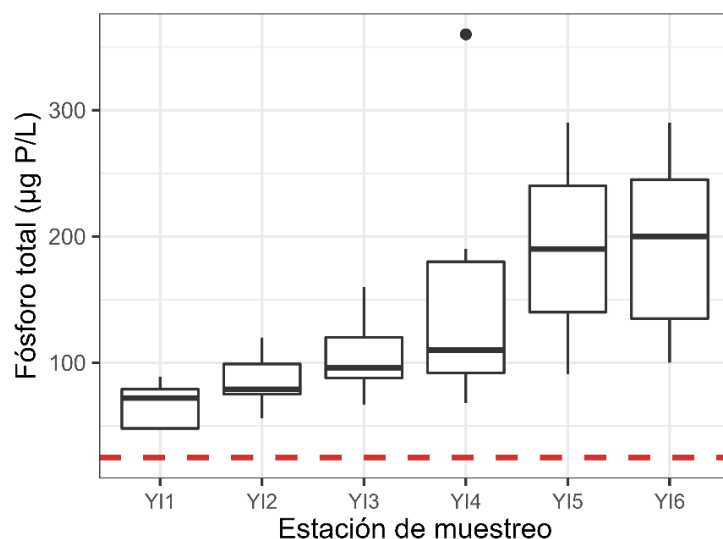


Figura 80. Variación temporal de la concentración de fósforo total en el agua del río Yí. La línea entrecortada indica el máximo establecido para las aguas naturales en el Decreto 253/79.

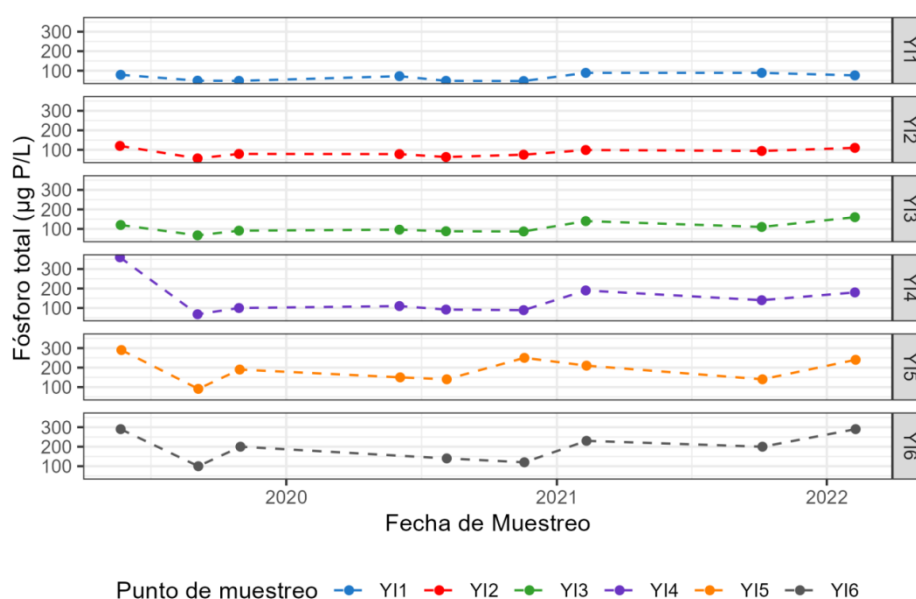


Figura 81. Variación temporal de la concentración de fósforo total en el agua del río Yí.

Fosfato

La concentración promedio de fosfato en río Yí fue de 85,4 $\mu\text{g/L}$, presentando un comportamiento espacial muy similar al PT (Figura 82). La primera estación presentó un valor de concentración promedio de 25,1 $\mu\text{g/L}$, en tanto que la última estación éste fue de 150,4 $\mu\text{g/L}$. Al igual que para el caso del PT, las concentraciones de fosfato fueron incrementándose a lo largo del curso, habiéndose registrado un aumento más notorio entre la estación YI4 y YI5.

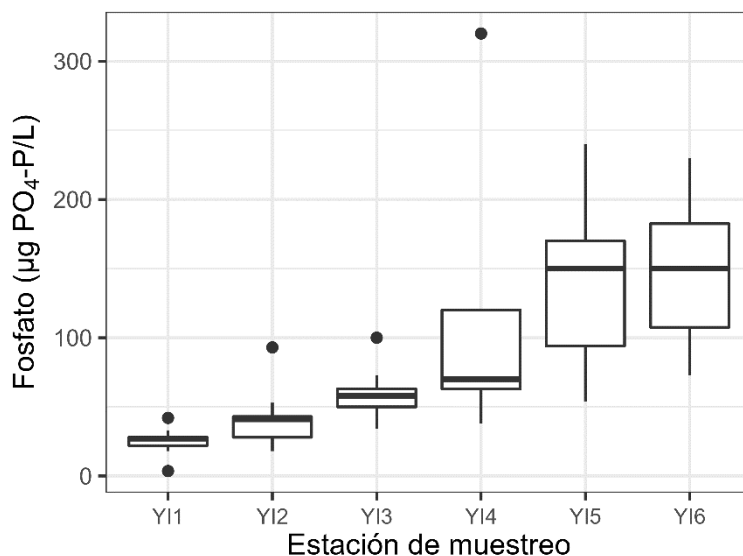


Figura 82. Variación espacial de la concentración de fosfato en el agua del el río Yí.

En cuanto al comportamiento de la serie temporal, nuevamente se observó un comportamiento muy similar al PT (Figura 83). Las primeras tres estaciones presentaron un patrón muy similar, en tanto que las tres siguientes presentaron mayor variabilidad, siendo YI5 la que más variación en el tiempo sufrió.

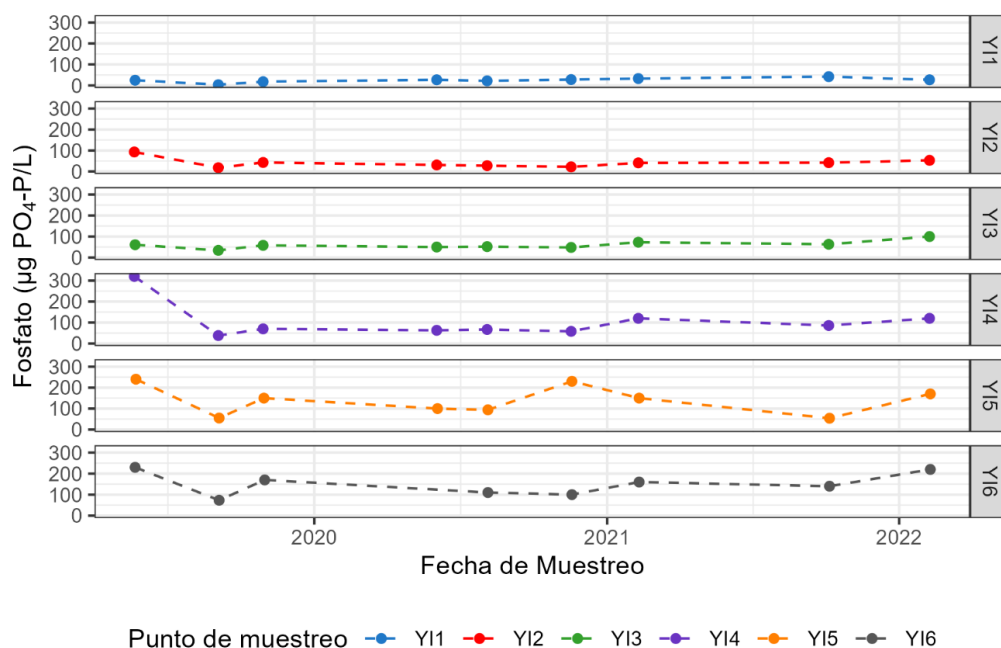


Figura 83. Variación temporal de la concentración de fosfato en el agua del el río Yí.

4.4.2. Parámetros biológicos

Coliformes termotolerantes

En general se registraron valores bajos de coliformes termotolerantes en el río Yí (Figura 84). Espacialmente se observó una tendencia a su disminución en la primera mitad del curso (Yi1 a Yi3) aunque siempre partiendo de valores bajos. Esa tendencia comenzó a revertirse hacia el paso San Borja (Yi4), pero en la estación ubicada aguas abajo de Durazno (Yi5) se observó un incremento en un orden de magnitud (promedio 764 UFC/100 mL), disminuyendo a valores más similares a los iniciales hacia la última estación de monitoreo del río.

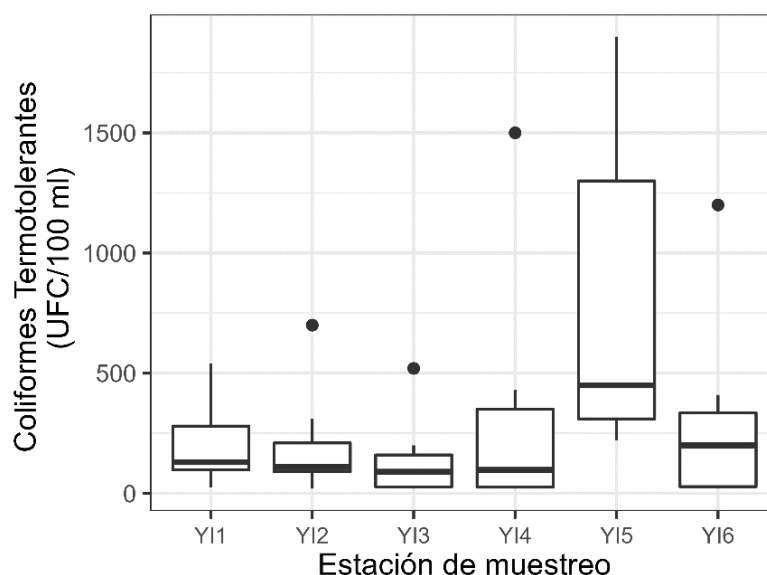


Figura 84. Variación espacial de la concentración de coliformes termotolerantes en el río Yí.

En la serie temporal no se observaron tendencias durante estos años (Figura 85). No obstante se observó un notorio incremento de los valores en Yi5, así como momentos puntuales en los cuales los valores son mayores a 1000 UFC/100mL.

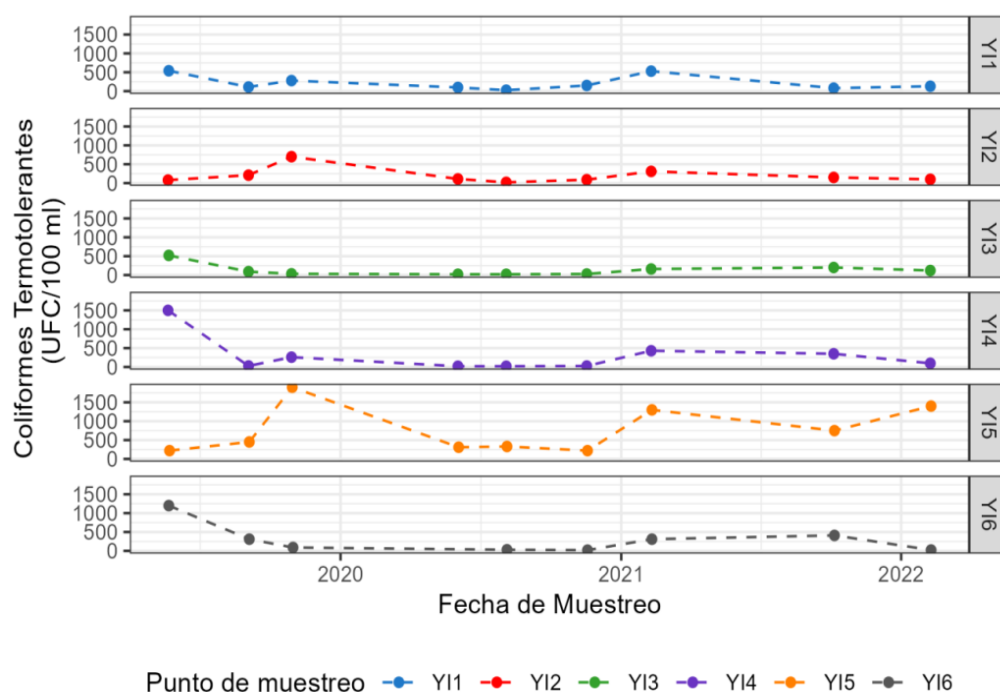


Figura 85 Variación temporal de la concentración de coliformes termotolerantes en el río Yí.

Clorofila

Los valores de clorofila-a a lo largo del río fueron siempre bajos (Figura 86), aunque con una tendencia a incrementarse en la última estación de monitoreo. En la serie de tiempo no se observan tendencias ni variaciones importantes.

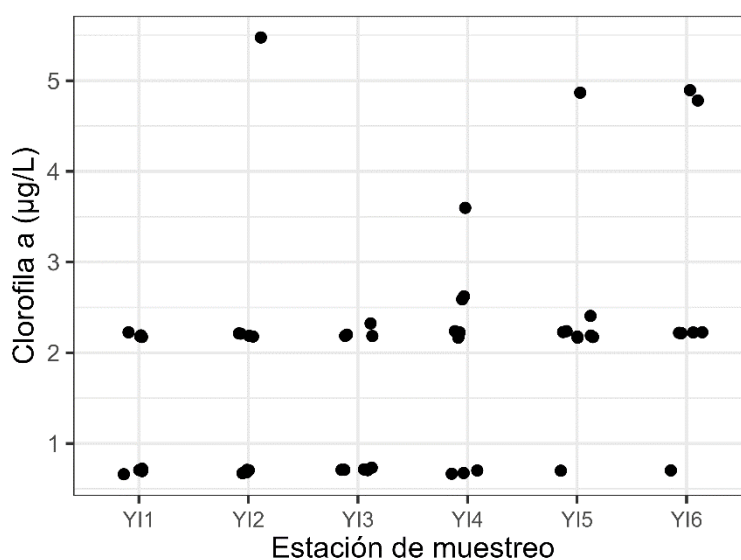


Figura 86 Variación espacial de la concentración de clorofila en el agua del río Yí.

4.4.3. Metales y compuestos orgánicos contaminantes

Los metales pesados medidos en el río Yí fueron arsénico y mercurio, el primero se detectó con una frecuencia elevada en las estaciones YI5 y YI6 (44 y 50%) en tanto que el mercurio se detectó con mayor frecuencia en YI5 (11%). No obstante, ambos compuestos cumplieron con el límite impuesto por el Decreto 253/79.

Por otro lado los compuestos orgánicos monitoreados en esta cuenca, Glifosato y su derivado AMPA, presentaron baja frecuencia de ocurrencia (13 y 31 % respectivamente) con valores máximos de 1,48 y 0,94 µg/L respectivamente. El Glifosato está regulado en la normativa pero éste límite no fue excedido en ninguna de las muestras.

4.4.4. Cargas de nutrientes aportados desde la cuenca

La modelación de la evolución anual de cargas de NT y PT aportadas desde la cuenca del río Yí mostró heterogeneidad en la distribución espacial durante el período analizado. Estos resultados se construyeron a partir de cargas de aporte diarias por lo que para la discusión también se utilizaron diferentes análisis espaciales y temporales de esta información.

Nitrógeno total

La modelación de la carga de aporte promedio de NT en el período 2017-2021 en la cuenca del Río Yí arrojó que a lo largo de la cuenca existen zonas de mayor presión en términos de exportación de NT asociados a los usos de suelo y actividades específicas.

El promedio de carga de NT exportada por unidad de área de la cuenca del río Yí durante el período 2017-2021 fue de 5,01 Kg/ha/año, un valor relativamente elevado y similar al exportado en la cuenca baja del Río Negro. La carga de NT anual en la cuenca del río Yí tuvo una marcada variación a causa del aporte difuso (Figura 87). Los valores de exportación mayores se dieron durante 2019 (11.486 ton/año) y los de menor durante el año 2020 (3.099 ton/año).

El porcentaje de aporte difuso de NT en la cuenca del río Yí varió entre un 27,4 % para el año 2020 y un 80,1 % en el año 2019, siendo el aporte directo el segundo en relevancia, superando al difuso en 2020 (Figura 87).

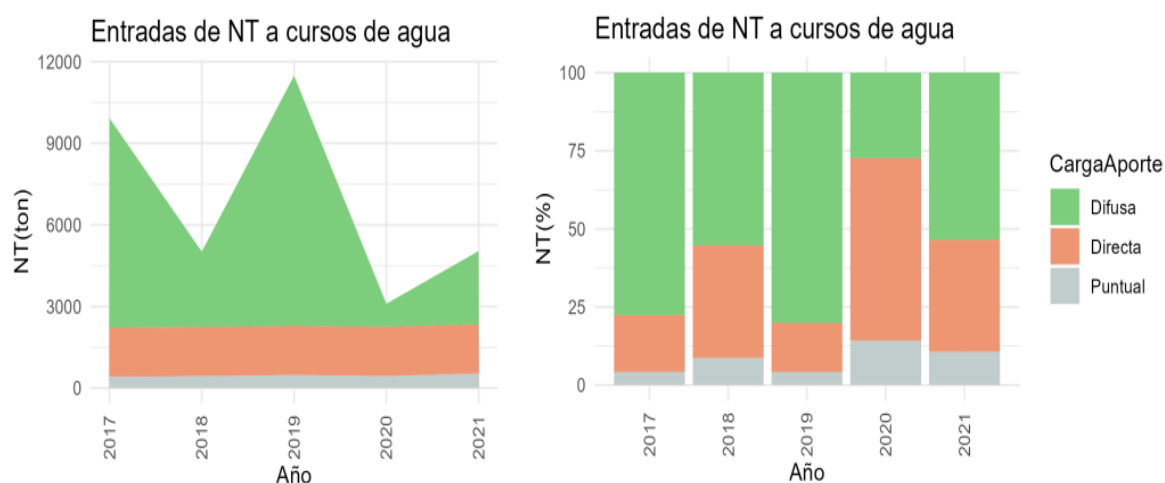


Figura 87 Carga de aporte de NT anual (ton/año) en cuenca del Río Yí, izquierda. Proporción de carga de aporte anual de NT según categorías en cuenca del Río Yí, derecha.

Fósforo total

La modelación de la carga de PT mostró que al igual que en lo observado para el NT a lo largo de la cuenca existen zonas de mayor presión en términos de exportación de PT asociados a los usos de suelo y actividades específicas.

El promedio de carga de PT exportada por unidad de área durante el período 2017-2021 fue de 0,82 Kg/ha/año, un valor relativamente alto y semejante al de la cuenca baja del Río Negro. La carga de PT anual en la cuenca del Río Yí también tuvo una marcada variación ocasionada por el aporte difuso (Figura 88). Los valores de exportación mayores sucedieron durante 2019 (2.116 ton/año) y los de menor durante el año 2020 (433 ton/año).

El porcentaje de aporte difuso de PT en la cuenca del río Yí varió entre un 82,9 % en el año 2019 y un 20,3 % para el año 2020, siendo el aporte directo el segundo en relevancia, superando al difuso en 2020 (Figura 88).

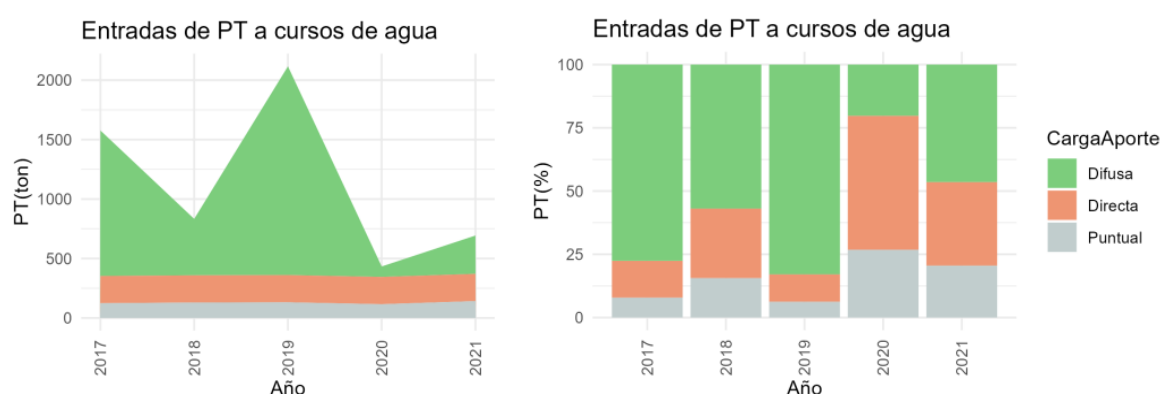


Figura 88. Carga de aporte de PT anual (ton/año) en cuenca del Río Yí, izquierda. Proporción de carga de aporte anual de PT según categorías en cuenca del Río Yí, derecha.

4.5. Arroyos Grande del Sur y Grande del Norte

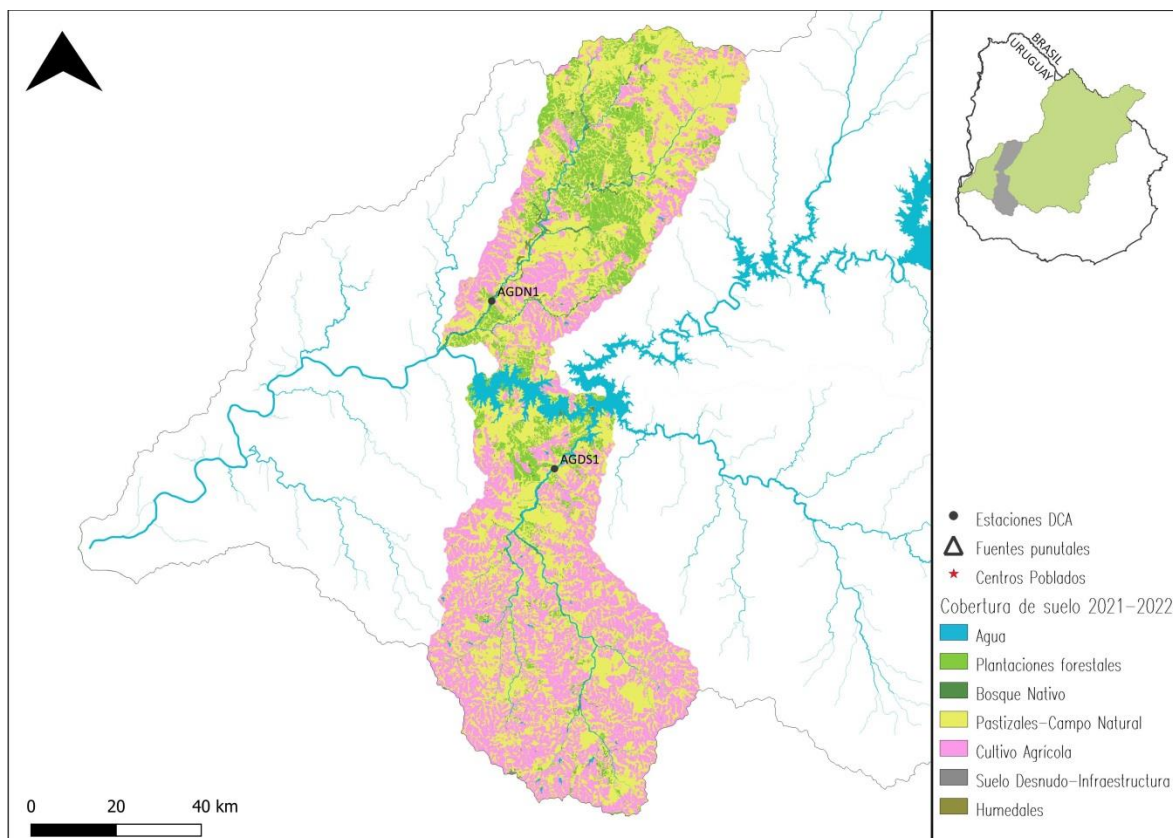


Figura 89 Cuenca de los A° Grande del Norte y A° Grande del Sur con detalle de los puntos de muestreo.

4.5.1. Parámetros fisicoquímicos

El monitoreo de los arroyos Grande del Norte (AGN) y de Sur (AGS) (Figura 89) tiene su inicio en 2019, por lo que para este documento se cuenta con una menor cantidad de datos, provenientes de un total de 8 muestreos realizados.

En términos generales, la calidad del agua del AGN se presentó mejor que la del AGS (Figura 90). Los promedios de los valores de conductividad, NT, PT, nitrato y fosfato fueron mayores en este último, en tanto que no se encontraron diferencias en los promedios de pH, oxígeno, turbidez, sólidos en suspensión y amonio. Más allá de la comparación entre ambos cursos, el AGS presentó valores de PT (promedio de 300,0 µg/L) y fosfato (promedio de 277,5 µg/L en febrero 2022) sumamente elevados en relación a los hallados en los restantes sitios de monitoreo de la cuenca del Río Negro (Figura 90).

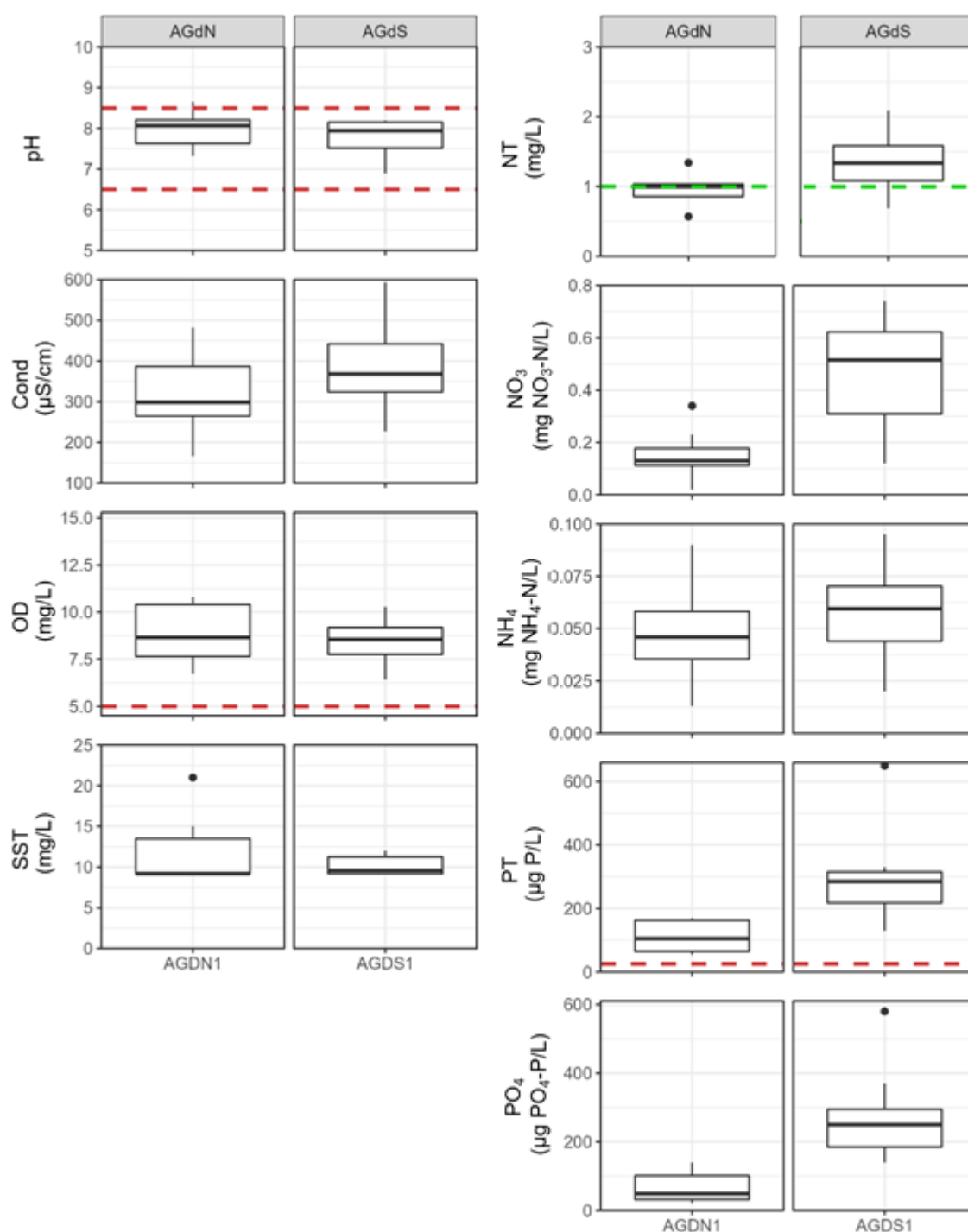


Figura 90 Valores de concentración de los parámetro fisicoquímicos básicos en el agua de los arroyos Grande del norte y del sur. La línea roja entrecortada indica el rango (pH), mínimo (OD) y máximo (PT) establecido para cuerpos de agua Clase 3 en el decreto 253/79 y la verde (NT) el máximo propuesto en el MTA (2017).

4.5.2. Parámetros biológicos

Las concentraciones promedio de coliformes termotolerantes en tanto no se mostraron elevadas, así como fueron similares en ambos cursos de agua (48 y 64 UFC/100mL en AGS y AGN, respectivamente).

4.5.3. Metales y compuestos orgánicos contaminantes

De los dos metales analizados en estos sitios (arsénico y mercurio), la presencia de arsénico fue muy frecuente en ambos cursos (75% en AGN y 88% en AGS), registrándose asimismo incumplimientos.

En los AGN y AGS los compuestos orgánicos monitoreados fueron Glifosato y AMPA. En el AGN el glifosato no fue detectado en ninguna de las ocasiones en las que se monitoreó, mientras que el AMPA sí fue detectado en numerosas muestras (38%) con un máximo de 0,5 µg/L. Sin embargo, en el AGS sí se detectó Glifosato en el 13% de las muestras (con una concentración máxima de 0,8 µg/L) en tanto que de AMPA se detectó en el 63% de las muestras, con una concentración máxima de 1,1 µg/L).

En cuanto a los metales, se detectó arsénico en el 100% de las muestras de ambos arroyos (máximos de 0,0076 y 0,0075 µg/L en AGN y AGS, respectivamente), así como de mercurio en el 13% (AGN) y 38% (AGS) (máximos de 0,0002 µg/L en ambos casos). En el caso del arsénico, se superó el límite establecido en la norma en 3 de 8 muestras en el AGN y en 2 de 8 en el AGS.

4.5.4. Cargas de nutrientes aportados desde la cuenca

Se modeló la evolución anual de las cargas de NT y PT aportadas desde las cuencas de los AGN y AGS. A su vez se presentan los resultados en su distribución espacial considerando el promedio de aporte del período analizado. Estos resultados se construyeron a partir de cargas de aporte diarias por lo que para la discusión también se utilizaron diferentes análisis espaciales y temporales de esta información.

Nitrógeno total

El promedio de carga de NT exportada por unidad de área en el AGS durante el período 2017-2021 fue de 5,91 Kg/ha/año, un valor alto en relación al resto de las subcuencas del Río Negro. La carga de NT anual en la cuenca del AGS tuvo una marcada variación a causa del aporte difuso (Figura 91). Los valores de exportación mayores se registraron durante 2019 (4.584 ton/año) y los de menor durante el año 2020 (755 ton/año).

El porcentaje de aporte difuso de NT en la cuenca del AGS varió entre un 14,3 % para el año 2020 y un 86,3 % en el año 2019, siendo el aporte directo el segundo en relevancia, el cual superó al difuso en 2020 y 2021 (Figura 91).

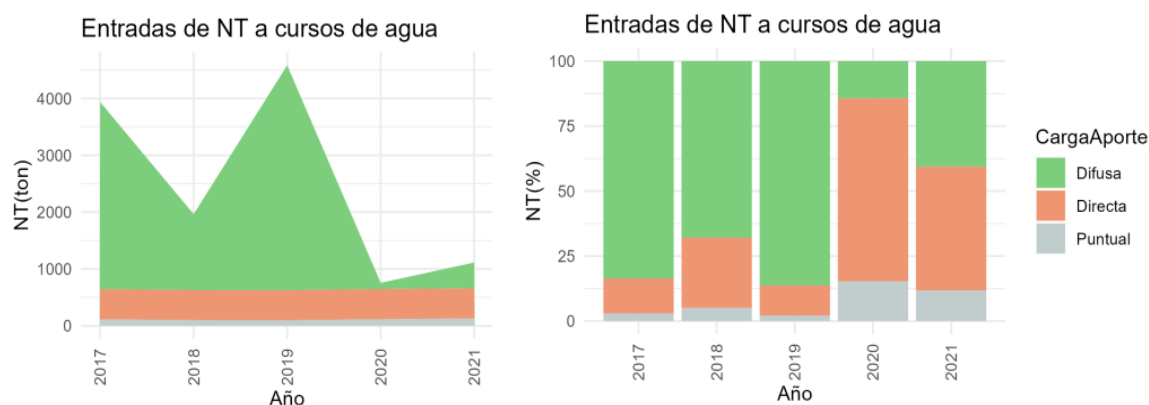


Figura 91. Carga de aporte de NT anual (ton/año) en cuenca del Arroyo Grande Sur, izquierda. Proporción de carga de aporte anual de NT según categorías en cuenca del Arroyo Grande Sur, derecha.

En el caso del AGN la carga de NT anual en la cuenca tuvo una marcada variación a causa del aporte difuso (Figura 92). Los valores de exportación mayores sucedieron durante 2017 (1.485 ton/año) y los de menor durante el año 2020 (366 ton/año).

El promedio de carga de NT exportada por unidad de área en la cuenca del AGN durante el período 2017-2021 fue de 4,42 Kg/ha/año, un valor similar al de la cuenca media. El porcentaje de aporte difuso de NT en la cuenca del AGN varió entre un 79,7 % en el año 2017 y un 18 % para el año 2020, siendo el aporte directo el segundo en relevancia, superando al difuso en 2020 (Figura 92).

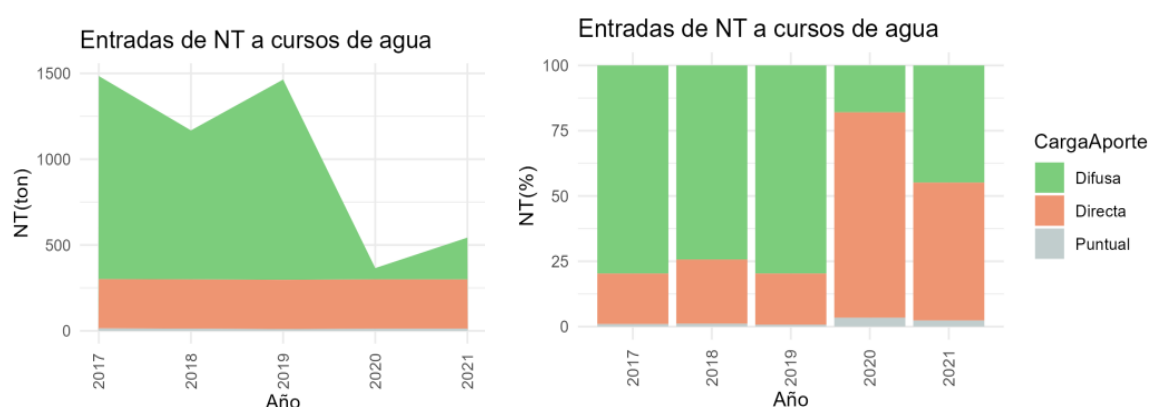


Figura 92. Carga de aporte de NT anual (ton/año) en cuenca del Arroyo Grande Norte, izquierda. Proporción de carga de aporte anual de NT según categorías en cuenca del Arroyo Grande Norte, derecha.

Fósforo total

El promedio de carga de PT exportada por unidad de área del AGS durante el período 2017-2021 fue de 0,82 Kg/ha/año, valor similar al de la cuenca baja del Río Negro. La carga de PT anual en la cuenca del AGS también tuvo una marcada variación en el aporte difuso (Figura 93). Los mayores valores de exportación sucedieron durante 2019 (728 ton/año) y los de menor durante el año 2020 (109 ton/año).

El porcentaje de aporte difuso de PT en la cuenca del AGS varió entre un 9,3 % para el año 2020 y un 87,3 % en el año 2019, siendo el aporte directo el segundo en relevancia, superando al difuso en 2020 y 2021 (Figura 93).

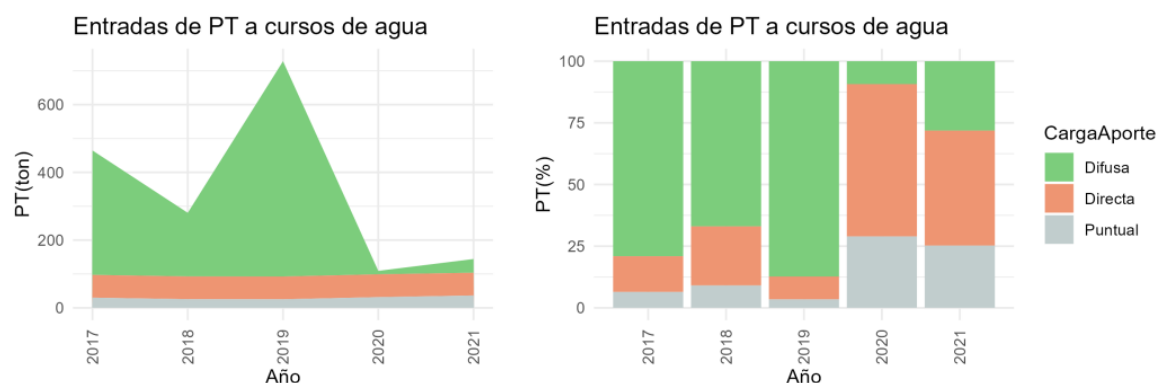


Figura 93. Carga de aporte de PT anual (ton/año) en cuenca del Arroyo Grande Sur, izquierda. Proporción de carga de aporte anual de PT según categorías en cuenca del Arroyo Grande Sur, derecha.

El promedio de carga de PT exportada por unidad de área de del AGN durante el período 2017-2021 fue de 0,76 Kg/ha, valor semejante al de la cuenca media del Río Negro. La carga de PT anual en la cuenca del AGN también tuvo una marcada variación para el aporte difuso (Figura 88). Los valores de exportación mayores sucedieron durante 2019 (313 ton/año) y los de menor durante el año 2020 (49,7 ton/año).

El porcentaje de aporte difuso de PT en la cuenca del AGN varió entre un 18,3 % para el año 2020 y un 87,3 % en el año 2019, siendo el aporte directo el segundo en relevancia, superando al difuso en 2020 (Figura 94).

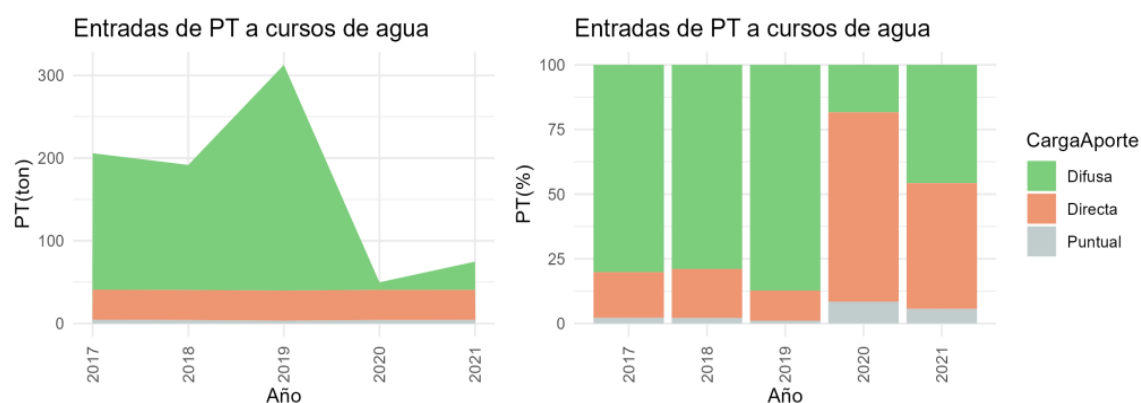


Figura 94. Carga de aporte de PT anual (ton/año) en cuenca del Arroyo Grande Norte, izquierda. Proporción de carga de aporte anual de PT según categorías en cuenca del Arroyo Grande Norte, derecha.

5. DISCUSIÓN

5.1. Calidad de agua en el Río Negro y los embalses

En virtud que la serie temporal de datos no mostró tendencias de cambios en la calidad del agua, este apartado se centrará en las variaciones espaciales de la calidad del agua de la cuenca.

En primer lugar y en términos generales para toda la cuenca, los tramos superiores de los principales tributarios presentan mejores condiciones que los tramos más bajos. Sin embargo en el caso particular del curso del Río Negro los parámetros básicos que describen la calidad de agua indican peores condiciones hacia el tramo superior (previo a la descarga del río Tacuarembó). La mayor parte de la carga que recibe el tramo superior del Río Negro proviene del sector de la cuenca sobre territorio brasileño, donde el curso recibe gran cantidad de aportes de origen puntual (área urbana de Bagé) y difuso (importante actividad agrícola), condicionando la calidad con que ingresa al territorio nacional. La cuenca del tramo ubicado entre la frontera con Brasil y el río Tacuarembó presenta usos agrícolas tradicionales como el arroz y la ganadería, y más recientemente ha registrado un incremento en su productividad ganadera, a partir de cultivos forrajeros y praderas mejoradas para alimentar animales confinados y semiconfinados. Posteriormente los parámetros presentan una mejoría hacia el tramo que comprende desde el embalse Rincón del Bonete hasta la confluencia del río Yí. A partir de allí los parámetros nuevamente comienzan a indicar un lento deterioro que es progresivo hasta su desembocadura en el río Uruguay.

En el caso de los nutrientes, el curso del Río Negro presenta en prácticamente todos los tramos elevadas concentraciones, principalmente de fósforo total (PT). Los elevados valores estimados de clorofila-*a* en la superficie de los embalses -indicador de la cantidad de fitoplancton- a partir de las imágenes satelitales en los meses más cálidos evidencian la eutrofización de los mismos. Los monitoreos de calidad de agua también han detectado en ocasiones valores puntuales sumamente elevados de clorofila, superiores al máximo de seguridad sanitario de 24 µg/L recomendado por Chorus y Welker (2021) e incluso al máximo aceptable para actividades recreativas (50 µg/L) propuesto por el GESTA-agua, aunque en estos valores refieren únicamente a clorofila en cianobacterias.

Cuando el agua tiene concentraciones de PT superiores a 30 µg/L se considera que el ambiente presenta altas probabilidades de sufrir los síntomas de la eutrofización, en particular la presencia de elevadas densidades de cianobacterias. Ello ha sido determinado empíricamente a partir de estudios en lagos donde se encontró una estrecha relación entre este nutriente y la clorofila-*a* (Carlson, 1977; Vollenweider y Kerekes, 1982). Es importante tener claro que estas relaciones son probabilísticas, lo que significa que no siempre se cumplen, debido a que en el ambiente también existen otros factores que afectan el desarrollo del fitoplancton (Reynolds, 1992).

La eutrofización afecta particularmente a los sistemas lénticos, es decir, a los cuerpos de agua con baja tasa de renovación, como los lagos y los embalses. Debido al mayor tiempo de permanencia del agua de estos ambientes, en ellos disminuye la turbulencia, aumenta la transparencia y con ello la penetración de la luz e incluso el agua al presentarse con menos movimiento favorece el aumento de la temperatura superficial. Todos estos factores favorecen el desarrollo de floraciones de fitoplancton y en particular las cianobacterias. Por el mismo motivo, los cursos donde el agua corre libremente son menos susceptibles de sufrir los efectos de la eutrofización.

Además de la concentración de fósforo, la relación de cantidad del mismo respecto a la del nitrógeno también juega un papel importante en la regulación del crecimiento del fitoplancton (Reynolds, 1992). En este sentido, los estudios llevados a cabo en laboratorios de la Facultad de Ciencias a partir de incubaciones de fitoplancton tomado de los embalses Bonete, Baygorria y Palmar apuntan a que en tanto la concentración de fósforo nominalmente siempre es elevada, el nitrógeno podría estar actuando como modulador del crecimiento de las cianobacterias (Udelar, 2023a). Es decir, mientras la concentración de fósforo mantiene una densidad importante de cianobacterias, la disponibilidad de nitrógeno induce las floraciones durante los meses más cálidos.

Espacialmente las relaciones entre las concentraciones de NT y PT (N:P) presentaron una tendencia a ser menores en Palmar (mayor proporción de P respecto al N), a la vez que temporalmente en los tres embalses fueron menores durante los meses fríos. Es decir, el nitrógeno podría ser limitante en Palmar, pero en Baygorria y Bonete dicha limitación no es clara, debido a que las floraciones se desarrollan en los meses cálidos.

Por otra parte, estudios de incubaciones en el laboratorio de muestras de agua provenientes de los embalses indican que además de los nutrientes existen otras variables de origen físico que también actúan regulando el crecimiento del fitoplancton (Udelar, 2023a). Entre ellas, las más importantes fueron en primer lugar la temperatura del agua y en segundo lugar la turbidez, la cual afecta la penetración de la luz. Esto permite suponer que en los meses más cálidos, además de las condiciones favorables en cuanto a nutrientes, las floraciones tendrían mayor probabilidad de ocurrir en los momentos en los que ocurre menor turbidez y por tanto hay mayor penetración de la luz solar en el agua.

En ese sentido, el manejo hidráulico de los embalses afecta los tiempos de residencia en los mismos, su “lavado” y el nivel de agua son factores que también inciden en el desarrollo y la exportación de las floraciones (Aubriot et al. 2020; Kruk et al. 2021). Pero en una escala temporal mayor, existen fenómenos que también pueden favorecer o desfavorecer el desarrollo de floraciones independientemente del manejo hidráulico, el cual se lleva a cabo en escalas de tiempo más acotadas. A partir de la observación de las series temporales de precipitaciones mensuales, tiempos de residencia hidráulica y de la concentración de clorofila surge la hipótesis de que los eventos de floraciones durante el verano en los embalses del Río Negro pueden estar influenciados por las precipitaciones durante los meses previos. Esto coincide con lo observado en la serie temporal evaluada (2018-2022), en la cual ocurrieron floraciones en forma recurrente todos los veranos a excepción de 2021. En ese año a diferencia de los restantes, los caudales durante los meses previos (finales del invierno-primavera de 2020) fueron exigüos, con lo que el ingreso de nutrientes al embalse habría sido menor que en el resto del período. Asimismo la turbidez durante el verano de 2021 fue mayor a la de los años previos, lo cual no habría favorecido el crecimiento de organismos fotosintetizadores. Según esta hipótesis se podría postular entonces que el agua de escorrentía que ingresa y es retenida en los embalses durante los meses previos al verano, aportaría los nutrientes que favorecen el desarrollo de floraciones, si otras condiciones también lo permiten (transparencia, viento, etc). Fuera de la serie temporal de este estudio, una situación similar ocurrió en 2012 pero no se cuenta con imágenes satelitales para estimar la concentración de clorofila y poder evaluar si ocurrió el mismo fenómeno.

En cuanto a las concentraciones de nitrógeno y fósforo en el sedimento, destacan las estaciones de Rincón del Bonete RN5 y de Palmar RN12 cuyas medias son algo mayores a las restantes estaciones. Asimismo, en la estación RN5 además se detectó con mayor frecuencia la presencia de mercurio, arsénico y compuestos orgánicos. La capacidad del sedimento de contener sustancias depende directamente de la calidad del sedimento y de su granulometría, siendo los sedimentos más finos (limos y arcillas) los que presentan mayor capacidad de adsorción de sustancias. Si bien no se tiene un registro de la granulometría de los sedimentos, los ambientes de menor energía mecánica presentan condiciones más favorables para la sedimentación, en particular de las fracciones más finas. Por tanto es esperable que en los embalses se retengan y acumulen en mayor proporción los sedimentos más finos, siendo Rincón del Bonete el embalse que más retención ostentaría debido a su condición de primer embalse en el curso, de mayor tamaño y tiempo de retención. Ello podría estar explicando la tendencia a presentar mayores concentraciones de diferentes sustancias en la estación RN5.

Por otra parte los sedimentos de los embalses contienen reservas de PT, conocidas como “carga interna”. El PT almacenado en este compartimiento puede llegar a actuar como una fuente interna de fósforo hacia el agua de los embalses. Estudios recientes realizados en el marco de la Iniciativa para el Río Negro por Facultad de Ciencias de la Universidad de la República estiman que los sedimentos en Rincón del Bonete, Baygorria y Palmar contienen una concentración promedio de PT de 30,0, 31,9 y 39,7 g/m² respectivamente (UdelaR, 2023b). Los datos obtenidos por el MA presentan un patrón diferente, aunque debe tenerse en cuenta que en el estudio realizado por Facultad de Ciencias se tomaron muestras de sedimento en 10 puntos diferentes distribuidos en cada embalse cubriendo toda su extensión, en tanto que los muestreos del ministerio cuentan con una información espacial mucho más limitada.

El fósforo acumulado en el sedimento puede ser liberado al agua bajo distintas circunstancias. Según los estudios mencionados, si se liberara la totalidad del fósforo contenido en los primeros 5 cm del sedimento, el incremento en el agua en los embalses podría llegar a ser de 781,9, 655,5 y 722,3 µg/L en Rincón del Bonete, Baygorria y Palmar, respectivamente (UdelaR, 2023b). Se debe tener en cuenta que dichas liberaciones se consiguieron bajo condiciones de hipoxia y disminución del pH en el laboratorio, las cuales no se han detectado hasta la fecha en los embalses. No obstante, sin llegar a alcanzarse esas condiciones una fracción menor del PT de los sedimentos puede ser liberada al agua con mayor facilidad, por resuspensión del sedimento superficial por ejemplo. En ese caso el agua en Rincón del Bonete, Baygorria y Palmar podrían incrementar en promedio su concentración de PT en 8,15, 9,17 y 4,82 µg/L. En relación a la concentración de PT normalmente registrada en el agua de los embalses, un aumento de estos últimos valores representaría un incremento cercano al 10% del PT presente en el agua.

5.2. Calidad de agua en la cuenca del río Tacuarembó

Los valores de los parámetros generales de calidad de agua muestran variaciones en los distintos cursos y tramos de la cuenca del Tacuarembó. En el río Tacuarembó Grande la conductividad al igual que los nutrientes presentó un incremento gradual, lo que es normal en el desarrollo de un curso de agua, el cual a medida que avanza va recibiendo sustancias y materiales a través de los tributarios.

Por otra parte, el río Tacuarembó Chico en general presenta valores relativamente elevados de nutrientes. En particular el tramo ubicado aguas abajo de la ciudad presenta los valores más comprometidos de N amoniacal y valores elevados de NT y PT, en tanto que la estación de cierre de cuenca, ubicada aproximadamente a 60 Km de la ciudad, donde ya recibió aguas de los A° Batoví y Tres cruces, presenta los mayores valores promedio de nitrato, fosfato, NT y PT. Estos resultados indican que la ciudad y las actividades industriales de su entorno tienen efectos puntuales notorios en algunos parámetros de la calidad del agua, a los que se suman los aportes difusos en la escala de la cuenca, como los mayores contribuyentes al incremento del N y el P en el curso.

Esta última observación también puede ser aplicada a los ríos Yaguarí y Caraguatá. En la cuenca de los mismos los centros urbanos son prácticamente inexistentes; sin embargo los promedios de los valores de varios parámetros generales –en particular el fósforo- de calidad no destacan por su calidad, por lo que las afectaciones a la calidad del agua en estos cursos estarían relacionadas con las actividades agrícolas y pecuarias.

Los registros de coliformes en algunas estaciones denota la presencia de aportes puntuales de contaminación fecal. En algunos sitios en principio se asocian a trasiego de ganado, como la primera estación del Tacuarembó Chico (P° del médico), pero en otros casos se debe a deficiencias en el sistema de saneamiento. El caso de la primera estación del Tacuarembó Grande puede estar relacionado con la descarga irregular de barométricas, ya que en ese sitio no hay urbanización ni establecimiento ganadero. En esa estación además se observaron valores relativamente bajos de oxígeno, así como puntualmente algunos valores muy elevados de amonio, nitrato y fósforo total, lo cual no sería lo esperable para ese sitio. En el caso de la primera estación del Cuñapirú y la estación aguas abajo de Tacuarembó en el Tacuarembó Chico la presencia de coliformes (y en el caso del Cuñapirú además bajos valores de oxígeno) están asociadas a las ciudades, cuya cobertura de redes de saneamiento no abarca la totalidad de las mismas, lo que favorece las pérdidas y descargas irregulares en los pluviales. Por otra parte, en la estación del Tacuarembó Chico los valores excesivamente elevados de amonio estarían indicando además la presencia de otro tipo de contaminación, por ejemplo de efluentes de frigoríficos.

5.3. Calidad de agua en el río Yí

El río Yí presenta en general un gradiente de aumento de las concentraciones de las diferentes sustancias analizadas, en particular del nitrógeno y del fósforo, lo cual es lo esperable en cualquier curso de agua. Dicho incremento es bastante gradual durante la primera mitad del curso, pero se observa un salto entre las estaciones ubicadas aguas arriba y aguas abajo de la ciudad de Durazno.

Cuando ocurren cambios abruptos en la calidad del agua, generalmente éstos se deben a afectaciones puntuales y aguas abajo de las mismas el curso comienza a mejorar por procesos de autodepuración. Sin embargo, en el caso del río Yí algunos parámetros no se revierten y se mantienen aguas abajo o incluso continúan experimentando un ligero incremento hasta la desembocadura en el Río Negro (por ejemplo el fósforo total y el fosfato, o el nitrato). Los parámetros básicos indican que el río Yí aporta al Río Negro una peor calidad de agua que la de ese cuerpo receptor, lo que lo afecta negativamente y puede observarse en la estación en Palmar frente al Yí e incluso en estaciones más abajo.

Otros parámetros experimentan cambios abruptos en la estación inmediata abajo de Durazno y luego presentan recuperaciones. Tal es el caso de los niveles de oxígeno, los sólidos suspendidos totales, el amonio o los coliformes. El comportamiento de estos parámetros a lo largo del río aportan más evidencia acerca de la afectación que ejercen las actividades que se desarrollan en la ciudad de Durazno sobre la calidad de agua del río Yí y que al igual que en otras ciudades se relacionan principalmente con los pluviales, las aguas residuales domésticas y los efluentes industriales.

5.4. Calidad de agua en los arroyos Grande del Norte y del Sur

Las cuencas de los arroyos Grande del Norte y del Sur se extienden sobre la cuenca del último tramo del Río Negro, en la región donde se ubican los suelos más fértiles de la cuenca y son por tanto los que mayor actividad agrícola presentan. La cuenca del arroyo Grande del Norte ocupa parte del Este del departamento Río Negro, donde se desarrolla en forma importante la agricultura de secano, la ganadería y la forestación. La cuenca del arroyo Grande del Sur se reparte entre Soriano y Flores y destaca por la predominancia de la agricultura.

La calidad de agua del arroyo Grande del Norte, en término de los parámetros básicos, es comparable a la de otros cursos de la cuenca como los ríos Yaguarí y Caraguatá, en la cuenca del Tacuarembó por ejemplo. En tanto la calidad de agua del arroyo Grande del Sur se muestra más comprometida, y se ubica entre los tramos más afectados de todos los cursos de la cuenca, habiendo registrado los mayores valores promedio de nitrógeno y fósforo totales. A modo de referencia, en términos de concentración de NT la calidad del agua del AGdS es comparable a la de los tramos inferiores del río Yí, o fuera de la cuenca del Río Negro es comparable a la del río San José o del Santa Lucía Chico. En términos de concentración de PT es similar al río San José o a la del San Salvador.

5.5. Aportes de cargas desde las diferentes subcuencas

Las cargas de NT y PT exportadas desde las diferentes subcuencas del Río Negro guardan directa relación con el tamaño de las mismas. Al evaluar las tres zonas de la cuenca (alta, media y baja), las zonas alta y media, las cuales presentan las mayores superficies (43 y 45 % respectivamente), aportan las mayores cargas de PT y NT. Pero al evaluar la proporción de NT y PT que aportan, la zona alta aporta el 47% del PT y el 30% del NT, en tanto que la zona media aporta el 36% del PT y el 44% del NT. La cuenca de la zona baja en tanto representa sólo el 12% del territorio y en términos de cargas aporta el 17% del PT y el 28% del NT, siendo así la que presenta las mayores exportaciones de NT y PT en relación al tamaño.

Si se toma como 1 al valor de exportación promedio de NT y PT para toda la cuenca, la cuenca alta exporta 0,7 veces NT y 1,1 veces PT, la cuenca media 1,0 NT y 0,8 PT y la cuenca baja 2,3 NT y 1,4 PT. Es decir, la cuenca baja se destaca por exportar cantidades de NT y PT sensiblemente mayores a la media de la cuenca.

Al analizar las tasas de exportación de NT y PT de las cuencas de los tributarios y de la porción de cuenca que ocupa el territorio brasileño como una cuenca aparte, se observa que la cuenca con mayor exportación de NT en el período estudiado fue esta última, la cual exportó 8,57 kg/ha/año.

En segundo lugar, las cuencas del Arroyo Grande del Sur y la cuenca baja del Río Negro exportaron 5,94 y 5,85 kg/ha/año respectivamente. En el caso del PT destaca la cuenca en territorio brasileño, con 1,15 kg/ha/año.

En este trabajo se distinguieron las fuentes difusas (escorrentía de campos agrícolas y ganaderos) de las directas (excreciones del ganado sobre los cursos de agua) y puntuales (vertidos de desagües domésticos e industriales). En la estimación de la exportación de NT y PT en toda la cuenca, la mayor proporción de ambos nutrientes provino de fuentes difusas (en promedio 69% del NT y 75% del PT) y la menor proporción provino de las puntuales (en promedio 5 y 6% del NT y PT respectivamente). Las fuentes directas en tanto representaron el 25% y 19% del NT y PT respectivamente. No obstante, en función del uso del suelo de cada subcuenca, estas proporciones varían entre ellas. Los mayores aportes relativos de origen difusos se estimaron en la cuenca baja (78%), cuenca alta (74%) y AGdS (74%) del total de los aportes de NT en dichas cuencas. En el caso de los aportes relativos de PT, los mayores se estimaron en la cuenca alta (82%), media (79%) y baja (77%). En cuanto a los aportes directos de las excretas del ganado, la cuenca de la zona media, donde la ganadería ocupa la mayor extensión relativa, la carga puntual estimada alcanzó el 35% del NT y el 20% del PT exportado por esa cuenca. Por otra parte las subcuencas con mayores aportes relativos de origen puntual resultaron en primer lugar la que ocupa el territorio brasileño y en segundo lugar la del río Yí. En el primer caso con 22% y 12% del NT y PT de esa cuenca y el 6% y 11% en el segundo.

En cuanto a su comportamiento a lo largo del período, las cargas puntuales y las directas se mostraron menos variables que las difusas porque dependen de la tasa de actividad que las generan y no dependen del régimen de precipitaciones. En cambio las cargas difusas son gobernadas por el régimen de precipitaciones. Por ello las cargas difusas promediadas para estos años fueron mayoritarias, pero durante los períodos secos las cargas puntuales y las directas las superaron. Esto último estaría poniendo en relevancia que los aportes directos del ganado es un factor que afecta la calidad de agua especialmente en períodos secos.

5.6. Metales y compuestos orgánicos en la cuenca del Río Negro

Los metales analizados en el agua (arsénico, mercurio, cadmio, cromo, níquel, zinc y plomo, siendo los dos primeros analizados en todos los cursos de agua en tanto que los cuatro siguientes analizados exclusivamente en el curso del Río Negro) se muestran en rangos aceptables y con mayor frecuencia por debajo del límite de detección. No obstante en algunas ocasiones se detectaron valores por encima de la norma, siendo en esos casos zinc y el plomo los que registraron mayor frecuencia. Al no registrarse actividad de industrias importantes en la cuenca en el período de este estudio, no se reconocen fuentes distintas a las naturales para estos metales. En cuanto a los elementos detectados, la presencia de arsénico en el territorio es conocida, presentando en algunas regiones del país concentraciones que invalidan al agua subterránea para consumo humano (Collazo et al. 2020). En cuanto al mercurio, si bien la información existente acerca de la concentración natural de mercurio en los suelos del país es limitada, indicaría que los suelos uruguayos son pobres en mercurio, por lo que su presencia en el curso del Río Negro respondería a actividades humanas en la cuenca. No se reconocen actividades emisoras relevantes de este metal, como ser extracción de combustibles fósiles, minería de metales con impurezas de mercurio, procesos industriales con empleo de mercurio o tratamiento de residuos con alto

contenido de mercurio. Sin embargo, a orillas del Arroyo Cuñapirú, en la zona de Minas de Corrales se han registrado niveles de mercurio mayores a los naturales en suelos en donde a principios del siglo XX existió actividad de extracción de oro que utilizaba el método de amalgamación con mercurio. Este hallazgo podría estar relacionado con la presencia de mercurio en el río, pero para afirmarlo se requieren estudios específicos (MVOTMA, 2010).

Por otra parte en el agua del Río Negro se detectaron todos los compuestos de uso agrícola analizados. En su mayoría se registraron en niveles de concentración muy bajos y dentro de los niveles admitidos por la norma nacional (Decreto 253/79). Destaca por su dispersión y frecuencia de detección el glifosato y su metabolito de descomposición AMPA, habiéndose encontrado en mayor concentración y frecuencia en las zonas donde la actividad agrícola es más relevante como el caso del arroyo Grande del Sur y el río Yí. En el caso del Río Negro, se encontró mayor concentración de AMPA en las primeras dos estaciones del curso, aguas arriba de los embalses. Si bien los valores de la gran mayoría de los productos detectados se registraron en concentraciones generalmente por debajo de los límites recomendados por guías y marco normativo nacional o de otros países, hay que tener en cuenta que al menos en el caso de los orgánicos, en su gran mayoría no existen en la naturaleza, sino que provienen de actividades humanas y en muchos casos ingresan al ambiente y son acumulados por los organismos que lo habitan. Al respecto existen antecedentes del registro de varios pesticidas en tejidos de peces capturados en el tramo inferior Río Negro (Ernst et al., 2018). Un hecho que llama la atención es la detección de heptacloro en las dos estaciones más cercanas a la frontera con Brasil. Este compuesto de uso agrícola es un organoclorado persistente y se encuentra prohibido en nuestro país desde 2005 (Decreto 375/005). Este compuesto forma parte de la lista de sustancias prohibidas en el Convenio de Estocolmo, al cual tanto nuestro país como Brasil están suscritos y por tanto su uso está prohibido en ambos países. Se entiende que la presencia de esta sustancia en las estaciones más cercanas a la frontera podría deberse a un uso irregular de la misma.

En cuanto a los sedimentos, se observa una acumulación heterogénea de las diferentes sustancias analizadas. Las concentraciones de metales y compuestos orgánicos en su gran mayoría se presentaron en niveles por debajo del umbral de detección de las técnicas analíticas empleadas, en tanto que las que se presentaron en niveles cuantificables, mayormente se encontraron siempre en niveles inferiores a los límites recomendados. No obstante, en las cuencas de mayor actividad agrícola se detectaron los niveles más elevados de productos de uso agrícola, como Glifosato y AMPA.

La concentración de nutrientes así como de otros compuestos en los sedimentos se asocia a la fracción de granulometría más fina como las arcillas, ya que tienen gran capacidad de adsorción de sustancias. Ello puede explicar la mayor concentración de nitrógeno (NTK) y fósforo (PT) en los embalses. La detección de metales con mayor frecuencia en Rincón del Bonete probablemente esté relacionada con el gran tiempo de residencia de este embalse y consecuentemente con las mayores tasas de sedimentación. Las altas tasas de sedimentación en este embalse se reflejan en la disminución de los SST en la columna de agua y en las mayores concentraciones de materia orgánica que han medido otros estudios en comparación con los embalses ubicados río abajo. Por otra parte, resultados parciales de un estudio llevado a cabo por la UdelaR indican que en términos generales la concentración de PT en los sedimentos de Palmar es mayor que la de Bonete y ésta a su vez es mayor que la de Baygorria, si bien la misma dentro de cada embalse es altamente variable en función de la granulometría específica de cada punto de muestreo.

6. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La cuenca del Río Negro presenta elevadas concentraciones de nutrientes en prácticamente todos los cursos de agua monitoreados. Esto condiciona la calidad del agua en los embalses, en los cuales se desarrollan floraciones de cianobacterias durante los meses más cálidos, que eventualmente son exportadas río abajo, incluso llegando al Río Uruguay y el Río de la Plata (Aubriot et al. 2020).

Las cargas de nutrientes aportadas por las fuentes difusas son las que condicionan mayormente la calidad del agua en la escala de la cuenca. Los sectores de cuenca que más cargas por unidad de área aportan son el sector de la cuenca ubicado en Brasil y los de los últimos tramos del río Yí y el Arroyo Grande del Sur, cuyas cargas aportadas están vinculadas mayormente a la agricultura. El control de las cargas de nutrientes a esa escala es difícil y se debe basar en buenas prácticas agrícolas y ambientales diseñadas para minimizar los aportes de nutrientes y materia en suspensión a los cuerpos de agua.

A menor escala espacial, a nivel de tramos de cursos de agua, las fuentes puntuales tienen un efecto notorio. Estas fuentes tienen su origen en los pluviales y aguas residuales de centros poblados, pero también en efluentes industriales. El comportamiento del río Yí a su paso por Durazno es muy claro al respecto. Se debe tener en cuenta que el río Yí es un afluente directo del Río Negro en un sitio particular, dado que desemboca en el embalse Palmar, siendo uno de los sitios donde se observan más floraciones. No obstante, es cierto que en el mismo sitio también desemboca el Arroyo Grande del Sur, el cual representa otro factor que afecta negativamente en la calidad del agua del Río Negro. Otros casos similares aunque de menor impacto sobre el Río Negro ocurren en las nacientes del río Cuñapirú y en el río Tacuarembó Chico a su paso por Tacuarembó. En el primer caso la situación parece estar relacionada principalmente con los pluviales de la ciudad de Rivera, en tanto que en la segunda además de los pluviales, los efluentes de industrias frigoríficas parecen tener un papel importante. En estos casos se considera conveniente desarrollar un plan de gestión ambiental para controlar y disminuir los aportes puntuales, siendo estratégico el caso de Durazno sobre el río Yí debido a su impacto sobre Palmar.

Por otra parte, las cargas aportadas por el ganado con acceso a los cursos de agua no son despreciables, y según las estimaciones realizadas éstas pueden llegar a convertirse en los aportes principales en condiciones de bajos caudales. Ello amerita una mayor atención, debiéndose mejorar el conocimiento sobre este tema y estudiar prácticas de manejo en la ganadería que minimicen los aportes directos del ganado a los cuerpos de agua.

Finalmente, si bien no es deseable la presencia de principios activos de productos de uso agropecuario y sus derivados, es esperable debido a la importante actividad agropecuaria que se desarrolla en la cuenca. Por ello es necesario mantener vigilancia sobre las mismas, atendiendo especialmente aquellas cuyo uso está prohibido, así como aquellas cuyas concentraciones a veces incumplen los límites establecidos en la normativa. Asimismo se entiende necesario ampliar la lista de sustancias a analizar en los tributarios del Río Negro, especialmente en aquellas subcuencas en las cuales se observa mayor actividad agrícola.

7. BIBLIOGRAFÍA

ASAE (American Society of Agriculture Engineers) (2003). Manure production and characteristics. ASAE Standards D384.1. ASAE, St. Joseph, MI.

Aubriot L., Zabaleta B., Bordet, F. Sienra D., Risso J., Achkar M., Somma A. (2019). Assessing the origin of a massive cyanobacterial bloom in the Río de la Plata: Towards an early warning system, *Water Research* 181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115944>.

Baeza S. y Paruelo J. (2018). Spatial and temporal variation of Human Appropriation of Net Primary Production in the Rio de la Plata Grasslands. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 145(b), 238-249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.07.014>

Bonilla S., Haakonsson S., Somma A., Gravier A., Britos A., Vidal L., De León L., Brena B., Pérez M., Piccini C., Martínez de la Escalera G., Chalar G., González-Piana M., Martigani F. y Aubriot L. (2015). Cianobacterias y cianotoxinas en ecosistemas límnicos de Uruguay. *INNOTEC* 10, 9 – 22. DOI: <https://doi.org/10.26461/10.01>.

Brazeiro A., Panario D., Soutullo A., Gutierrez O., Segura A. y Mai P. (2012): Clasificación y delimitación de las eco-regiones de Uruguay. Informe Técnico. Convenio MGAP/PPR – Facultad de Ciencias/Vida Silvestre/ Sociedad Zoológica del Uruguay/CIEDUR. 40p.

Burton Jr, G. A. (2002). Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology*, 3(2), 65-76. DOI: <https://doi.org/10.1007/s102010200008>

Carlson R.E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography* 22(2): 361-369.

Carpenter S.R. (2008). Phosphorus control is critical to mitigating eutrophication. *Proceedings of the National Academy of Science*. 105 (32), 11039–11040. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0806112105>

CETESB Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo. (2006). Qualidade das Águas Interiores No Estado de Sao Paulo. Serie Relatorios. Indice de Qualidade das Aguas. Governo do Estado de Sao Paulo, Secretaria do Medio Ambiente.

Chorus I. y Welker M. (2021). Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management (2nd ed.). Chorus, I., Welker, M. (Eds.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003081449>

Collazo P., Pamoukaghlián K., Bühl V., Pizzorno P y Mañay N. (2020). Arsénico en agua subterránea de Uruguay y riesgo a la salud asociado (Proyecto AsURU): resultados preliminares. En: *Revista Latino-Americana de Hidrogeología*, número especial – 11(3), 44-55. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/33716>

Cunha D.G., Calijuri M.C. y Lamparelli M. (2013). A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSItsr). *Ecological Engineering* (60) 126– 134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.058>.

DIA (Dirección de información Ambiental) (2022). Validación de modelos de clorofila-a con imágenes Sentinel 2 en el Río Negro. Informe técnico de la División Información Ambiental – Ministerio de Ambiente (Bruno Guigou). Setiembre 2022.

Dodds W.K. y Smith V.H. (2016). Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in streams. *Inland Waters* 6 (2), 155-164. DOI: <https://doi.org/10.5268/IW-6.2.909>

Ernst F., Alonso B., Colazzo M., Pareja L., Cesio V., Pereira A., Márquez A., Errico E., Segura A., Heinzen H. y Pérez-Parada A. (2018). Occurrence of pesticide residues in fish from south American

rainfed agroecosystems. Science of the Total Environment 631–632, 169–179. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.320>

Evia G. y Gudynas E. (2000): Ecología del Paisaje en Uruguay. Aportes para la conservación de la Diversidad Biológica. Por MVOTMA, AEI y Junta de Andalucía, Sevilla. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/consolidado/publicacionesdigitales/40-559 ECOLOGIA DEL PAISAJE EN URUGUAY/40-559/0 ECOLOGIA DEL PAISAJE EN URUGUAY.PDF>

GEMS/WATER (Global Environment Monitoring System for Freshwater) (1992). Operational Guide. Third Edition GEMS/W.92.1. Disponible en: [http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/62446/GEMS_W_92.1_\(part1\).pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/62446/GEMS_W_92.1_(part1).pdf)

GESTA Agua (2008). Uruguay, Borrador de trabajo- Gesta agua. Propuesta de modificación del decreto 253/979 y modificativos. “Normas reglamentarias para prevenir la contaminación ambiental mediante el control de las aguas”. Versión Consolidada al 16 de diciembre de 2008.

INE (Instituto Nacional de Estadística) (2011). Censo de Población 2011. <https://www.ine.gub.uy/web/guest/censos-2011>.

Kruk C., Martínez A., Martínez de la Escalera G., Trinchin R., Manta G., Segura A., Piccini C., Brena Beatriz B., Yannicelli B., Fabiano G., Calliari D. (2021). Rapid freshwater discharge on the coastal ocean as a mean of long distance spreading of an unprecedented toxic cyanobacteria bloom. Science of the Total Environment, 754, 142362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142362>

Lamparelli M. C. (2004). Graus 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. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.41.2004.tde-20032006-075813>

MA (Ministerio de Ambiente) (2020b). 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>

MA (Ministerio de Ambiente) (2022). Entregables proyecto Iniciativa para el Río Negro: Modelado Predictivo Cuenca del Río Negro.

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

MA (Ministerio de Ambiente) (2020a). 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>

MacDonald D. D., Ingersoll C. G., Berger T. A. (2000). Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 39, 20–31. DOI: <https://doi.org/10.1007/s002440010075>

Mapbiomas (2021). Proyecto MapBiomas Pampa Trinacional – Colección V. 2.0. de los mapas anuales de cobertura y uso del suelo <https://plataforma.pampa.mapbiomas.org/>

MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca) (2018). Mapa integrado de cobertura/uso de suelo. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/mapa-integrado-coberturauso-del-suelo-del-uruguay-ano-2018>.

MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca) (2021). Declaración jurada DICOS-SNIG. <https://catalogodatos.gub.uy/dataset/mgap-datos-preliminares-basados-en-la-declaracion-jurada-de-existencias-dicose-sniq-2021>

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 (Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente) (2010). Inventario Nacional de liberaciones de Mercurio. <http://ccbasilea-crestocolmo.org.uy/wp-content/uploads/2020/06/INVENTARIO-DE-MERCURIO-RESUMEN-2010.pdf>

Nennich T.D., Harrison J.H., VanWieringen L.M., Meyer D., Heinrichs A.J., Weiss W.P., St-Pierre N.R., Kincaid R.L., Davidson D.L., Block, E. (2005). Prediction of manure and nutrient excretion from dairy cattle. J Dairy Sci. 88(10):3721-33. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73058-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73058-7)

Nin-Pratt A., Freiría H., Muñoz G. (2019). Productividad y eficiencia en la producción ganadera pastoril en América Latina: los casos de Uruguay y Paraguay. Documento de trabajo del BID No IDB-WP-1024.

OMS (Organización Mundial de la Salud) (2017). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva. Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>

Perdomo C. (2013). Metodología de Estimación de Aportes difusos de Nitrógeno y Fósforo a aguas superficiales desde suelos bajo uso agropecuario.

Reynolds C. S. (1992). Eutrophication and the management of planktonic algae: what Vollenweider couldn't tell us. . En: Sutcliffe DWJGJ (ed.). *Eutrophication: Research and Application to Water Supply*, Ambleside, Cumbria: The Freshwater Biological Association. p 4-29.

UdelaR-Facultad de Ciencias (2023a). Factores ambientales que favorecen el desarrollo de cianobacterias en los embalses del Río Negro. Informe final. Junio 2023.

UdelaR-Facultad de Ciencias (2023b). Determinación de la concentración de fósforo total en los sedimentos de los embalses Bonete, Baygorria y Palmar. Informe final. Febrero 2023. <https://www.ambiente.gub.uy/oan/documentos/Informe-P-en-sedimentos-Embalses-del-Rio-Negro-Final-1.pdf>

UdelaR-Facultad de Ingeniería (2022). Modelación hidro-sedimentológica y de calidad del agua del embalse Rincón del Bonete. Informe final, parte I: Información disponible y medición en campo. Diciembre 2022.

https://www.ambiente.gub.uy/oan/documentos/IRN_IMFIA_Informe_Final_Parte1_ENVIADO_20221223.pdf

Vallejos M., Gallego F., Baeza S. (2021). MapsBioma Pampa sudamericano: una iniciativa trinacional para conocer los cambios en el uso y cobertura del suelo. Revista INIA, 65, 85-89. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/15770/1/Revista-INIA-65-Junio-2021-19.pdf>

Vollenweider R.A., Kerekes J. (1982). Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. OECD Cooperative program on monitoring of inland waters (Eutrophication control). Environment Directorate. OECD, Paris, 154 pp.

ANEXO I. SUSTANCIAS DE USO AGRÍCOLA DETERMINADAS EN AGUA

Tabla AI.1. Compuestos de uso agrícola analizados en agua y su valor de referencia establecido en la normativa (Decreto 253/79) o valor guía en GESTA Agua (2014).

prod. deg.: producto de degradación, sin valores de referencia: “-”, *Analitos que en ningún momento presentaron valores por encima del umbral de cuantificación del análisis. **De acuerdo al límite de detección de las metodologías analíticas que estableció DINACEA.

Parámetro	Límite (µg/L)	Normativa / Valor guía
AMPA (prod. degr. Glifosato)	-	-
Acetamiprid*	-	-
Alaclor	≤ 0,7	GESTA Agua 2014
Aldrin y Dieldrin	No Detectable	GESTA Agua 2014
Ametrina*		
Atrazina	≤ 1,8	GESTA Agua 2014
Atrazina desetil (prod. deg atrazina)	-	-
Atrazina desisopropil (prod. deg atrazina)	-	-
Azinfos metil *	-	-
Azoxiestrobina	-	-
Bifentrina	-	-
Captan	-	-
Carbaril *	-	-
Carbofurano *	-	-
Cialotrina lambda	-	-
Ciflutrina	-	-
Cihalofof butil *	-	-
Cipermetrina	-	-
Cipermetrina alfa	-	-
Ciproconazol	-	-
Clomazone	-	-
Clorantraniliprol	-	-
Clordano cis y trans	No detectable	GESTA Agua 2014
Clorpirifos	≤ 0,035	GESTA Agua 2014
Clorpirifos metil	-	-
DDT (o,p’DDT y p,p’DDT)	No detectable	GESTA Agua 2014
DDD (o,p’DDT y p,p’DDT; prod. degr. DDT)	-	-
DDE (o,p’DDT y p,p’DDT; prod. degr. DDT)	-	-
Deltametrina	≤ 0,0004-	GESTA Agua 2014
Diazinon	-	-
Diuron	-	-
Endosulfan alfa y beta	La suma de ambos ≤ 0,003	GESTA Agua 2014
Endosulfán sulfato (prod. deg. endosulfán)	-	-
Endrin	No detectable	GESTA Agua 2014
Epoxiconazol *	-	-
Etión	-	-
Fipronil	-	-

Parámetro	Límite (µg/L)	Normativa / Valor guía
Fluroxipir meptil	-	-
Glifosato	≤ 65	GESTA Agua 2014
Haloxifop metil *	-	-
Heptacloro y Heptacloro epoxi (prod. Deg. Heptacloro)	No detectable	GESTA Agua 2014
Hexaclorobenceno	No detectable**	GESTA Agua 2014
Imazalil	-	-
Iprodione *	-	-
Isoxadifen etil *	-	-
Kresoxim metil *	-	-
Lindano	≤ 0,01	Decreto 253/79
Linuron *	-	-
Malatión	-	-
Malaoxon *	-	-
Metalaxil	-	-
Metidation *	-	-
Metiocarb	-	-
Metolacloro	-	-
Metoxicloro	≤ 0,03	Decreto 253/79
Metoxifenocida	-	-
Metribuzina *	-	-
Mirex	No detectable	GESTA Agua 2014
Paratión (Etil)*	≤ 0,04	GESTA Agua 2014
Paratión metil	-	-
Permetrina	0,004	GESTA Agua 2014
Picoxistrobin *	-	-
Piraclostrobin *	-	-
Pirimetanil *	-	-
Pirimifos metil *	-	-
Procloraz	-	-
Profenofos *	-	-
Propanil *	20	GESTA Agua 2014
Propiconazol *	-	-
Protioconazole	-	-
Simazina	10	GESTA Agua 2014
Tebuconazol	-	-
Terbacil *	-	-
Trifloxiestrobina	-	-
Trifluralina *	-	-
Triticonazol *	-	-

ANEXO II: PARÁMETROS DETERMINADOS EN SEDIMENTOS.

Tabla AII.1. Lista de parámetros analizados en sedimentos.

Grupo	Parámetro	Unidad	Límite	Normativa/Valor Guía
Orgánicos e Inorgánicos no Metálicos	Fósforo total	mg P/Kg		
	Nitrógeno total Kjeldhal	mg N/Kg		
	Cianuro *	µg/g		
Metálicos	Arsénico	mg/Kg	7,24 - 17	ISQG (TEL - PEL)
	Cadmio	mg/Kg	0,68 - 3,53	ISQG (TEL - PEL)
	Cromo	mg/Kg	52,3 - 90	ISQG (TEL - PEL)
	Hierro	mg/Kg		
	Mercurio	mg/Kg	0,13 - 0,486	ISQG (TEL - PEL)
	Niquel	mg/Kg	15,9 - 36	ISQG (TEL - PEL)
	Plomo	mg/Kg	30,2 - 91,3	ISQG (TEL - PEL)
	Zinc	mg/Kg	124 - 315	ISQG (TEL - PEL)
Orgánicos Generales	Compuestos halogenados extraíbles	mg/Kg		
	Compuestos halogenados totales	mg/Kg		
	Sustancias fenolicas	mg/Kg		
Sustancias de uso agrícola	Acetamiprid	µg/Kg		
	Alacloro	µg/Kg		
	Aldrin *	µg/Kg		
	Ametrina	µg/Kg		
	Atrazina	µg/Kg		
	Atrazina desetil	µg/Kg		
	Atrazina desisopropil	µg/Kg		
	Azinfos Metil	µg/Kg		
	Azoxiestrobina	µg/Kg		
	Beta_Ciflutrina *	µg/Kg		
	Bifentrina	µg/Kg		
	Carbaril	µg/Kg		
	Carbofurano	µg/Kg		
	Cihalofof Butil	µg/Kg		
	Cimoxanilo	µg/Kg		
	Cipermetrina	µg/Kg		
	Ciproconazol	µg/Kg		
	Clomazone	µg/Kg		
	Clorantraniliprol	µg/Kg		
	Clordano Cis *	µg/Kg	Isómeros totales ≤ 4,5	GESTA Agua 2014
	Clordano Trans *	µg/Kg		
	Clorotalonil *	µg/Kg		
	Clorpirifos	µg/Kg		

Grupo	Parámetro	Unidad	Límite	Normativa/Valor Guía
Sustancias de uso agrícola	Clorpirifos Metil	µg/Kg		
	Deltametrina	µg/Kg		
	Diazinon	µg/Kg		
	Dieldrin *	µg/Kg	2,85	GESTA Agua 2014
	Diuron	µg/Kg		
	Endosulfan alfa *	µg/Kg		
	Endosulfan beta *	µg/Kg		
	Endosulfan sulfato	µg/Kg		
	Endrin *	µg/Kg	2,67	GESTA Agua 2014
	Epoxiconazol	µg/Kg		
	Esfenvalerato *	µg/Kg		
	Etil Paration *	µg/Kg		
	Etion	µg/Kg		
	Etoprofos *	µg/Kg		
	Fenazaquin	µg/Kg		
	Fenvalerato *	µg/Kg		
	Fipronil	µg/Kg		
	Fluroxipir meptil	µg/Kg		
	Haloxifop Metil	µg/Kg		
	Heptacloro *	µg/Kg	No detectable	Decreto 375/005
	Heptacloro Epoxido *	µg/Kg	0.6	GESTA Agua 2014
	Hexaclorobenceno *	µg/Kg		
	Iprodione	µg/Kg		
	Isoxadifen Etil	µg/Kg		
	Kresoxim Metil	µg/Kg		
	Lambda_Cialotrina	µg/Kg		
	Lindano *	µg/Kg	0,94	GESTA Agua 2014
	Linuron	µg/Kg		
	Malaoxon	µg/Kg		
	Malathion	µg/Kg		
	Metaxil	µg/Kg		
	Metidation	µg/Kg		
	Metil Paration *	µg/Kg		
	Metiocarb	µg/Kg		
	Metolaclo	µg/Kg		
	Metoxicloro *	µg/Kg		
	Metoxifenocida	µg/Kg		
	Metribuzina	µg/Kg		
	Mirex *	µg/Kg		
	Oxifluorfen *	µg/Kg		
	p,p' DDD *	µg/Kg	3,54	GESTA Agua 2014

Grupo	Parámetro	Unidad	Límite	Normativa/Valor Guía
Sustancias de uso agrícola	p,p' DDE *	µg/Kg	1,42	GESTA Agua 2014
	o,p' DDT *	µg/Kg	1,19	GESTA Agua 2014
	p,p' DDT *	µg/Kg		
	Permetrina	µg/Kg		
	Picoxistrobin	µg/Kg		
	Piraclostrobin	µg/Kg		
	Pirimetanil	µg/Kg		
	Pirimifos_Metil	µg/Kg		
	Procloraz	µg/Kg		
	Profenofos	µg/Kg		
	Propanil	µg/Kg		
	Propiconazol	µg/Kg		
	Protioconazole	µg/Kg		
	Simazina	µg/Kg		
	Tebuconazol	µg/Kg		
	Terbacil	µg/Kg		
	Tetradifon *	µg/Kg		
	Tetrametrina *	µg/Kg		
	Tiabendazol	µg/Kg		
	Trifloxiestrobina	µg/Kg		
	Triticonazol	µg/Kg		
	Vinclozolina *	µg/Kg		

(*) Parámetros que nunca superaron el límite de la técnica (LC o LD según corresponda).

ANEXO III. ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUAS Y DE ESTADO TRÓFICO

Índice de Calidad de Agua (IQA)

Este índice fue desarrollado por la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental de Brasil (CETESB, 2006). Es una adaptación del WQI-NSF a condiciones propias para la evaluación de la calidad del agua de ríos del Estado de San Pablo en Brasil con destino del recurso para el abastecimiento de la población.

El IQA está compuesto por 9 parámetros básicos de calidad de agua, para cada uno de los cuales existen curvas de distribución que se categorizan en una escala de 0 a 100 (valor Q). Es decir, el valor específico en el que cada parámetro puede manifestarse en el ambiente es calificado como un valor de calidad “ Q ”, el cual se determina mediante interpolación en una función de distribución (Figura AIII.1). Posteriormente el valor Q determinado para cada parámetro es ponderado mediante la multiplicación por un factor (w) para darle un “peso relativo” en la ecuación que los integra y que calcula el índice (Tabla AIII.1). 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.

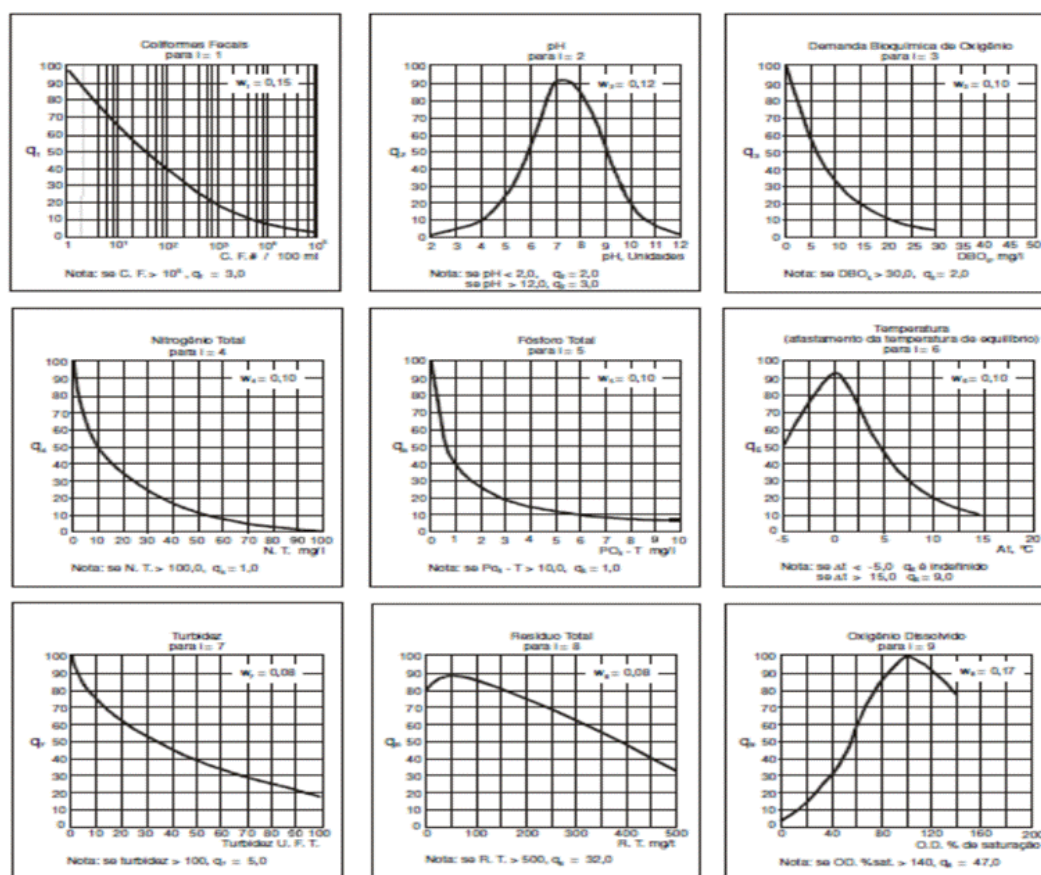


Figura AIII.1. Curvas de distribución de los valores de calidad de cada parámetro.

Tabla AIII.1. Lista de parámetros que emplea el IQA y el peso relativo de cada uno en la ecuación.

Parámetro de calidad de agua	Peso (w)
Oxígeno disuelto	0,17
Coliformes termotolerantes	0,15
pH	0,12
DBO5	0,10
Temperatura	0,10
Nitrógeno total	0,10
Fósforo total	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos totales	0,08

El índice califica la calidad del agua en 5 categorías de 0 a 100 en un rango creciente de calidad de “pésima” (primer quintil) a “óptima” (último quintil) (Tabla AIII 2).

Tabla AIII.2. Escala de valores del IQA y categorías del mismo.

Categorización del Agua	Valor IQA
Excelente	91 - 100
Buena	71 - 90
Media	51 - 70
Mala	26 - 50
Muy mala	0 - 25

Índice de Estado Trófico de embalses (IETe)

Para evaluar el estado trófico de los embalses se calculó el Índice de Estado Trófico para embalses subtropicales (TSI_{tsr} por sus siglas en inglés) (Cunha et al. 2013). Este índice se aplica únicamente en embalses y supone una actualización del Índice de Estado Trófico (IET) de embalses de Lamparelli (2004). Ambos índices están desarrollados en base a la metodología del índice de estado trófico de lagos de Carlson (1977), pero a diferencia del índice de Lamparelli el cual tiene un variante para ríos y embalses, el de Cunha tiene una única aplicación la cual es para embalses. El IET_{tsr} integra información de fósforo total, clorofila-a y transparencia, e idealmente se deberían utilizar estos tres parámetros para obtener un indicador más ajustado a la realidad. Pero debido a limitaciones en la información de clorofila-a de los datos analizados en el laboratorio (los datos obtenidos a partir de imágenes satelitales son estimaciones), el cálculo de este índice se realizó en base a datos de fósforo total expresado en μg (PT) con la siguiente ecuación:

$$TSI(PT)_{tsr} = 10 \left[6 - \left(\frac{-0.27637 \ln PT + 1.329766}{\ln 2} \right) \right] -$$

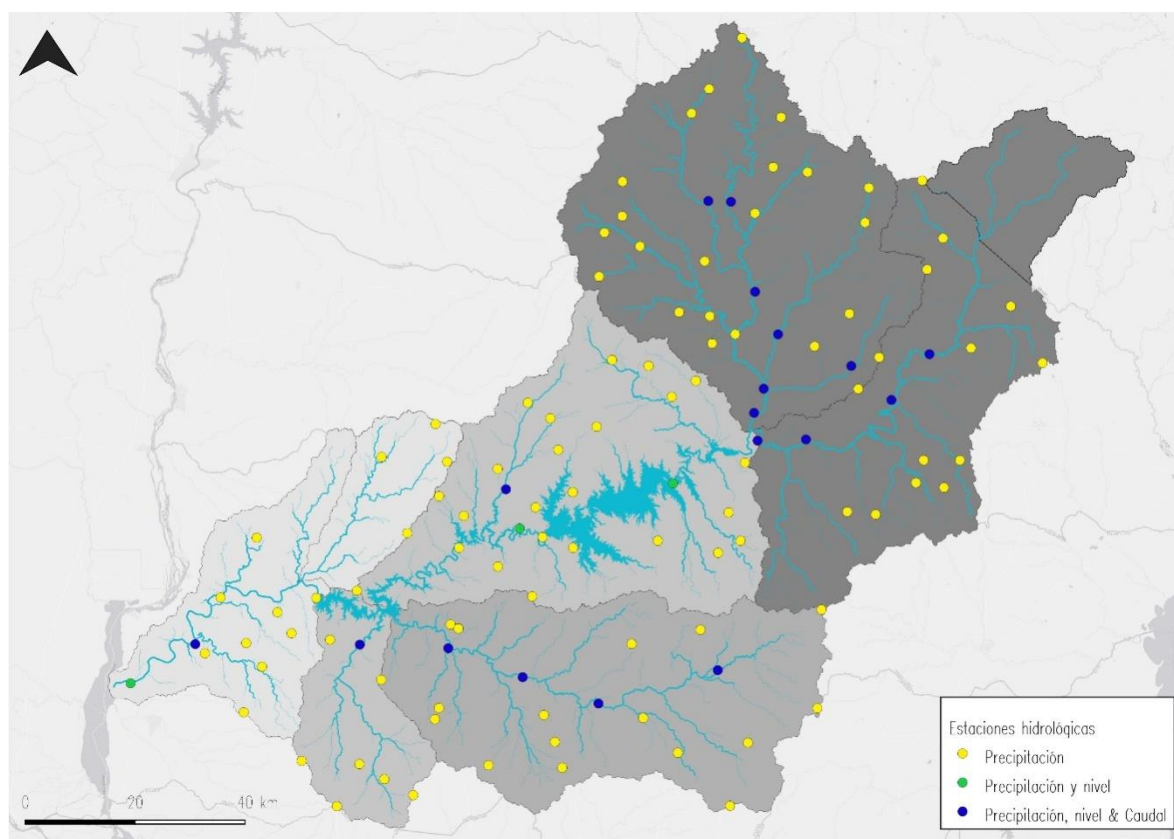
Para ello se emplea la media geométrica del PT durante el período, a partir de la cual se clasificó a la estación de monitoreo en una de las 6 categorías establecidas (Tabla AIII3). Se utilizaron todos

los datos disponibles, sin extraer datos fuera de rango. Los tramos aguas arriba de cada estación de monitoreo se consideraron del mismo estado trófico que ésta.

Tabla AIII.3. Niveles del índice de estado trófico (IET)

Nivel trófico	IET
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

ANEXO IV. ESPECIFICACIONES DE LOS PARÁMETROS HIDROCLIMÁTICOS



FiguraAIV.1. Localización de pluviómetros, estaciones de nivel y de aforo en la cuenca del Río Negro.

Tabla AIV.1. 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

Nº	Denominación	Institución	latitud	longitud	Tipo	Resolución
11	El Topador	INUMET	-30.298	-56.822	Convencional	Diaria
12	Estación Ataques	INUMET	-31.09	-55.69	Convencional	Diaria
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 Uruguiana	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