

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



Período 2017-2023



Ministerio
de Ambiente

Evaluación de la calidad de agua en la Cuenca del Río Tacuarembó

Período 2017-2023

Ministerio de Ambiente
División Calidad Ambiental
Departamento de Evaluación Ambiental Integrada
Mayo 2024

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, Oc. PhD. Guillermo Cervetto, Biol. Mag. Natalie Corrales, Biol. Carolina Ferrer, Bach. Lucía Gómez*, Biol. Facundo Lepillanca*, Téc. Agrop. Javier Martínez y Lic. Belén Ocampo*

Equipo de redacción (DEAI)

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

*Consultores

Este documento se terminó de elaborar en mayo de 2024

DINACEA, Ministerio de Ambiente

Juncal 1385 Montevideo, CP 11100, Uruguay

Teléfono: (+598) 2917 33 80

Número de páginas: 134

ISBN XXX-XXXX-XXXX-X-X

Imagen en portada: Río Tacuarembó Grande (s.d. autor)

Como citar este documento:

Ministerio de Ambiente-Dinacea. 2024. Evaluación de la calidad de agua en la cuenca del río Tacuarembó. Período 2017-2023. Informe Técnico. División Calidad Ambiental-Dpto. Evaluación Ambiental Integrada. Montevideo. Uruguay.

RESUMEN

El presente documento da cuenta de la calidad del agua en los principales cursos que componen la cuenca hidrográfica del río Tacuarembó: el río Tacuarembó propiamente dicho, el A° Tacuarembó Chico y los arroyos Cuñapirú, Yaguarí y Caraguatá entre los años 2017 y 2023. La cuenca del río Tacuarembó se caracteriza por un presentar uso del suelo dominado por la ganadería y la forestación, siendo la agricultura sumamente relegada en comparación con otras cuencas del país. En este sentido, los aportes difusos provenientes de la cuenca son menores que en aquellas cuencas sometidas a mayor producción agrícola. En general en el curso principal de la cuenca (el río Tacuarembó) la mayor parte de los parámetros medidos presentan una tendencia a aumentar en forma gradual a medida que éste avanza y recibe los aportes de los tributarios. En el cierre de cuenca, es decir, poco antes de su desembocadura en el Río Negro, la calidad general del agua del río Tacuarembó es buena, si bien los nutrientes, en particular el fósforo total y el fosfato, presentan valores algo mayores a los deseables. Algunos parámetros como el caso del nitrato o del fosfato, mostraron un aumento más abrupto tras la descarga del A° Tacuarembó Chico. Por otra parte, fuera del curso principal de la cuenca se detectaron situaciones puntuales que afectan la calidad del agua, en particular en las nacientes del A° Cuñapirú (donde se ubica la ciudad de Rivera) y en el tramo del A° Tacuarembó Chico ubicado aguas abajo de la ciudad de Tacuarembó. Estas afectaciones están relacionadas mayormente con el vertido de efluentes domésticos e industriales en Rivera y Tacuarembó. Para atacar las afectaciones observadas en estos los cursos es necesario implementar mejoras en la gestión de los efluentes urbanos e industriales.

Índice de figuras

Figura 1. Mapa del relieve y de la red hidrográfica de la cuenca del río Tacuarembó.....	16
Figura 2. Paisajes característicos de la cuenca del río Tacuarembó.	17
Figura 3. Cobertura y usos principales del suelo durante el período 2021-2022 en la cuenca del río Tacuarembó. (Datos del OAN).	18
Figura 4. Estaciones de monitoreo de calidad de agua en la cuenca del río Tacuarembó (período 2017-2023). Estaciones: 1-XTAC01 (Ruta 30); 2-XTAC020 (Ruta 5); 3-XTAC030 (Ansina); 4-XTAC040 (Est. Modelo); 5-XTAH004 (P° del Médico); 6-XTAH005 (P° Hondo); 7-XTAH010 (Ruta 5); 8-XTAH013 (Pque. Batlle) ;9- XTAH020 (P° de los novillos); 10-XCPU010 (Cd. Rivera); 11-XCPU020 (P° de la Calera); 12-XCPU030 (P° Cunha); 13-XYAI010 (Ruta 26); 14-XCAR010 (Ruta 26).....	19
Figura 5. Cuenca del río Tacuarembó donde se destaca el curso principal y las estaciones de monitoreo en el mismo.....	22
Figura 6. Variación estacional de la temperatura en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	23
Figura 7. Serie temporal de la temperatura en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	24
Figura 8. Distribución de los valores de conductividad en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	24
Figura 9. Serie temporal de la conductividad en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	25
Figura 10. Distribución de los valores de pH en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023. Las líneas discontinuas indican el máximo y mínimo en que dicho valor debe encontrarse, según la normativa (Decreto 253/79 para cuerpo de agua Clase 3).	25
Figura 11. Serie temporal del pH en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	26
Figura 12. Distribución de los valores de oxígeno disuelto en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor mínimo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua Clase 3).	26
Figura 13. Serie temporal del oxígeno disuelto en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	27
Figura 14. Distribución de los valores de SST en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	28
Figura 15. Serie temporal del SST en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	28
Figura 16. Serie temporal de la DBO5 en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	29
Figura 17. Distribución de los valores de DBO5 en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea punteada indica el objetivo de calidad de agua según el Gesta Agua (2014).	30
Figura 18. Distribución de los valores de PT en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor mínimo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua clase 3).....	30
Figura 19. Serie temporal de la concentración de PT en el río Tacuarembó durante el periodo comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.....	31
Figura 20. Distribución de los valores de fosfato (PO_4^{3-}) en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	32
Figura 21. Serie temporal de la concentración de fosfato en el río Tacuarembó durante el periodo comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	32
Figura 22. Distribución de los valores de Nitrógeno total en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	33
Figura 23. Serie temporal de la concentración de NT en el río Tacuarembó durante el periodo comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.....	34
Figura 24. Distribución de los valores de nitrato en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	34
Figura 25. Serie temporal de la concentración de nitrato en el río Tacuarembó durante el periodo comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	35

Figura 26. Distribución de los valores de nitrógeno amoniacal en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el objetivo de calidad de agua según el GESTA (2014).	36
Figura 27. Serie temporal de la concentración de nitrógeno amoniacal en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	36
Figura 28. Distribución de los valores de clorofila-a en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	37
Figura 29. Serie temporal de la concentración de clorofila-a en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	38
Figura 30. Distribución de los valores de coliformes termotolerantes en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor mínimo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua Clase 3).	38
Figura 31. Serie temporal de la concentración de coliformes termotolerantes en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	39
Figura 32. Cuenca del río Tacuarembó donde se destaca el arroyo Tacuarembó Chico y las estaciones de monitoreo en el mismo.	41
Figura 33. Variación estacional de la temperatura en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	42
Figura 34. Serie temporal de la temperatura en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	42
Figura 35. Distribución de los valores de conductividad en las estaciones de monitoreo del A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	43
Figura 36. Serie temporal de la conductividad en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	43
Figura 37. Distribución de los valores de pH en las estaciones de monitoreo del A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023. Las líneas discontinuas indican el máximo y mínimo en que dicho valor debe encontrarse, según la normativa (Decreto 253/79 para cuerpos de agua Clase 3).	44
Figura 38. Serie temporal del pH en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	44
Figura 39. Distribución de los valores de oxígeno disuelto en las estaciones de monitoreo del A° Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor mínimo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua Clase 3).	45
Figura 40. Serie temporal del oxígeno disuelto en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	45
Figura 41. Distribución de los valores de SST en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	46
Figura 42. Serie temporal de sólidos suspendidos totales en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	46
Figura 43. Distribución de los valores de DBO5 en las estaciones de monitoreo del A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor máximo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua clase 3) mientras que la línea punteada indica el valor del objetivo de calidad según el GESTA (2014).	47
Figura 44. Serie temporal de la DBO5 en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	47
Figura 45. Distribución de los valores de PT en las estaciones de monitoreo del A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor mínimo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua clase 3).	48
Figura 46. Serie temporal de la concentración de PT en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	48
Figura 47. Distribución de los valores de PO4- en las estaciones de monitoreo del A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	49
Figura 48. Serie temporal de la concentración de PO4- en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	49
Figura 49. Distribución de los valores de NT en las estaciones de monitoreo del A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	49
Figura 50. Serie temporal de la concentración de NT en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	50

Figura 51. Distribución de los valores de nitrato en las estaciones de monitoreo del arroyo Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	51
Figura 52. Serie temporal de la concentración de nitrato en el arroyo Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	51
Figura 53. Distribución de los valores de nitrógeno amoniacal en las estaciones de monitoreo del A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea punteada indica el valor del objetivo de calidad según el GESTA (2014).	52
Figura 54. Serie temporal de la concentración de nitrógeno amoniacal en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	52
Figura 55. Distribución de los valores de clorofila-a en las estaciones de monitoreo del A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	53
Figura 56. Serie temporal de la concentración de clorofila-a en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	53
Figura 57. Distribución de los valores de coliformes termotolerantes en las estaciones de monitoreo del A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor máximo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79 para un cuerpo de agua Clase 3).	54
Figura 58. Serie temporal de la concentración de coliformes termotolerantes en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	54
Figura 59. Cuenca del río Tacuarembó donde se destaca el arroyo Cuñapirú y las estaciones de monitoreo en el mismo.	55
Figura 60. Variación estacional de la temperatura en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	56
Figura 61. Serie temporal de la temperatura en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	57
Figura 62. Distribución de los valores de conductividad en las estaciones de monitoreo del A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	57
Figura 63. Serie temporal de la conductividad en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	58
Figura 64. Distribución de los valores de pH en las estaciones de monitoreo del A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023. Las líneas discontinuas indican el máximo y mínimo en que dicho valor debe encontrarse, según la normativa (Decreto 253/79 para un cuerpo de agua Clase 3).	58
Figura 65. Serie temporal del pH en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	59
Figura 66. Distribución de los valores de oxígeno disuelto en las estaciones de monitoreo del A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor mínimo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua Clase 3).	59
Figura 67. Serie temporal del oxígeno disuelto en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	60
Figura 68. Distribución de los valores de SST en las estaciones de monitoreo del A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	60
Figura 69. Serie temporal de sólidos suspendidos totales en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	61
Figura 70. Distribución de los valores de DBO ₅ en las estaciones de monitoreo del A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor máximo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua clase 3) y la línea punteada indica el objetivo de calidad según el GESTA (2014).	61
Figura 71. Serie temporal de la DBO ₅ en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	62
Figura 72. Distribución de los valores de PT en las estaciones de monitoreo del A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor máximo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua clase 3).	62
Figura 73. Serie temporal de la concentración de PT en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	63
Figura 74. Serie temporal de la concentración de PO ₄ - en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	64
Figura 75. Distribución de los valores de NT en las estaciones de monitoreo del A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	64

Figura 76. Serie temporal de la concentración de NT en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	65
Figura 77. Distribución de los valores de nitrato en las estaciones de monitoreo del arroyo Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	65
Figura 78. Serie temporal de la concentración de nitrato en el arroyo Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	66
Figura 79. Distribución de los valores de nitrógeno amoniacal en las estaciones de monitoreo del A° Caraguatá durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea punteada indica el valor del objetivo de calidad según el GESTA (2014).	66
Figura 80. Serie temporal de la concentración de nitrógeno amoniacal en el A° Caraguatá durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	67
Figura 81. Distribución de los valores de coliformes termotolerantes en las estaciones de monitoreo del A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor máximo aceptable para una muestra, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua clase 3).	67
Figura 82. Serie temporal de la concentración de coliformes termotolerantes en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	68
Figura 83. Cuenca del río Tacuarembó donde se destacan los arroyos Caraguatá y Yaguarí y las estaciones de monitoreo en los mismos.	69
Figura 84. Distribución estacional de los datos de temperatura en los A° Caraguatá (izquierda) y Yaguarí (derecha) durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	70
Figura 85. Variación estacional de la temperatura en los A° Caraguatá y Yaguarí durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	70
Figura 86. Distribución de los valores de conductividad en los A° Caraguatá (izquierda) y Yaguarí (derecha) durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	71
Figura 87. Serie temporal de la conductividad en los A° Caraguatá y Yaguarí durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	71
Figura 88. Distribución de los valores de pH en los A° Caraguatá (izquierda) y Yaguarí (derecha) durante el período comprendido entre 2017 y 2023. Las líneas discontinuas indican el máximo y mínimo en que dicho valor debe encontrarse, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua clase 3).	72
Figura 89. Serie temporal del pH en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	72
Figura 90. Distribución de los valores de oxígeno disuelto en los A° Caraguatá (izquierda) y Yaguarí (derecha) durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor mínimo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua clase 3).	73
Figura 91. Serie temporal del oxígeno disuelto en los A° Caraguatá y Yaguarí durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	73
Figura 92. Distribución de los valores de SST en las estaciones de monitoreo de los A° Caraguatá (izquierda) y Yaguarí (derecha) durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	74
Figura 93. Serie temporal del SST en los A° Caraguatá y Yaguarí durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	74
Figura 94. Distribución de los valores de PT en los A° Caraguatá (izquierda) y Yaguarí (derecha) durante el período comprendido entre 2017 y 2023. El valor mínimo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua clase 3) es de 25 µg/L.	75
Figura 95. Serie temporal de la concentración de PT en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	75
Figura 96. Distribución de los valores de PO_4^- en las estaciones de monitoreo de los A° Caraguatá (izquierda) y Yaguarí (derecha) durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	76
Figura 97. Serie temporal de la concentración de PO_4^- en los A° Caraguatá y Yaguarí durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	76
Figura 98. Distribución de los valores de NT en los A° Caraguatá y Yaguarí durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	77
Figura 99. Serie temporal de la concentración de NT en los A° Caraguatá y Yaguarí durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	77
Figura 100. Distribución de los valores de nitrato en los A° Caraguatá y Yaguarí durante el período comprendido entre 2017 y 2023.	78
Figura 101. Serie temporal de la concentración de nitrato en los A° Caraguatá y Yaguarí durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.	78

<i>Figura 102. Distribución de los valores de nitrógeno amoniacal en las estaciones de monitoreo del A° Caraguatá durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea punteada indica el valor del objetivo de calidad según el GESTA (2014).</i>	<i>79</i>
<i>Figura 103. Serie temporal de la concentración de nitrógeno amoniacal en el A° Caraguatá durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.</i>	<i>79</i>
<i>Figura 104. Distribución de los valores de coliformes termotolerantes en las estaciones de monitoreo de los A° Caraguatá y Yaguarí durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor máximo aceptable para una muestra, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua clase 3).</i>	<i>80</i>
<i>Figura 105. Serie temporal de la concentración de coliformes termotolerantes en los A° Caraguatá y Yaguarí durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.</i>	<i>80</i>

Índice de tablas

Tabla 1. Extensión de las principales coberturas y usos del suelo en la cuenca del río Tacuarembó (2021-2022) expresados en Km ² y como porcentaje del total de la superficie de la cuenca, según el OAN.	17
Tabla 2. Estaciones de monitoreo de la cuenca del río Tacuarembó: código de estación, curso de agua, nombre del sitio o paraje, ubicación geográfica, fecha de inicio/fin y cantidad de instancias de monitoreo hasta invierno de 2023.	19
Tabla 3. Lista de las variables monitoreadas en el río Tacuarembó. *Estándares de calidad de agua definidos para la clase 3 del decreto 253/79 y modificativos. **Objetivo de calidad de agua definidos para objetivos de calidad de agua de la versión Gesta Agua de diciembre 2014.	20
Tabla 4. Resultados de los análisis de Glifosato y AMPA en muestras de agua en el río Tacuarembó. <LC: cantidad de muestras por debajo del límite de cuantificación; <LD: cantidad de muestras por debajo del límite de detección; Num: cantidad de muestras cuantificadas (es decir, por encima del límite de cuantificación); N: cantidad total de muestras; Num (%): porcentaje de muestras cuantificadas.	40
Tabla 5. Resultados de los análisis de Glifosato y AMPA en muestras de agua en el arroyo Tacuarembó Chico. <LD: cantidad de muestras por debajo del límite de detección; Num: cantidad de muestras cuantificadas (es decir, por encima del límite de cuantificación); N: cantidad total de muestras; Num (%): porcentaje de muestras cuantificadas.	55
Tabla 6. Resultados de los análisis de Glifosato y AMPA en muestras de agua en el arroyo Cuñapirú. <LD: cantidad de muestras por debajo del límite de detección; Num: cantidad de muestras cuantificadas (es decir, por encima del límite de cuantificación); N: cantidad total de muestras; Num (%): porcentaje de muestras cuantificadas.	68
Tabla 7. Resultados de los análisis de Glifosato y AMPA en muestras de agua en los arroyos Yaguarí y Caraguatá. <LD: cantidad de muestras por debajo del límite de detección; Num: cantidad de muestras cuantificadas (es decir, por encima del límite de cuantificación); N: cantidad total de muestras; Num (%): porcentaje de muestras cuantificadas.	81

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	14
1.1	Objetivo de este informe	15
2	GENERALIDADES	15
2.1	Área de estudio	15
2.2	Programa de evaluación de la calidad del agua de la cuenca del río Tacuarembó	18
3	RESULTADOS.....	22
3.1	Río Tacuarembó Grande	22
3.1.1	Parámetros de medición <i>in situ</i>	23
3.1.1.1	Temperatura	23
3.1.1.2	Conductividad	24
3.1.1.3	pH	25
3.1.1.4	Oxígeno disuelto	26
3.1.2	Resultados analíticos	27
3.1.2.1	Alcalinidad	27
3.1.2.2	Sólidos suspendidos totales	27
3.1.2.3	Demanda biológica de oxígeno (DBO ₅)	28
3.1.2.4	Fósforo total	30
3.1.2.5	Fosfato	31
3.1.2.6	Nitrógeno total	33
3.1.2.7	Nitrato	34
3.1.2.8	Nitrógeno amoniacal	35
3.1.2.9	Clorofila-a	36
3.1.2.10	Coliformes termotolerantes	38
3.1.2.11	Glifosato y AMPA	39
3.2	Arroyo Tacuarembó Chico	40
3.2.1	Parámetros de medición <i>in situ</i>	41
3.2.1.1	Temperatura	41
3.2.1.2	Conductividad	42
3.2.1.3	pH	43
3.2.1.4	Oxígeno disuelto	44
3.2.2	Resultados analíticos	45
3.2.2.1	Alcalinidad	45
3.2.2.2	Sólidos suspendidos totales	45
3.2.2.3	Demanda biológica de oxígeno (DBO ₅)	46
3.2.2.4	Fósforo total	47
3.2.2.5	Fosfato	48
3.2.2.6	Nitrógeno total	49
3.2.2.7	Nitrato	50
3.2.2.8	Nitrógeno amoniacal	51
3.2.2.9	Clorofila-a	52
3.2.2.10	Coliformes termotolerantes	53
3.2.2.11	Glifosato y AMPA	54
3.3	Arroyo Cuñapirú	55
3.3.1	Parámetros de medición <i>in situ</i>	56
3.3.1.1	Temperatura	56
3.3.1.2	Conductividad	57
3.3.1.3	pH	58
3.3.1.4	Oxígeno disuelto	59
3.3.2	Resultados analíticos	60
3.3.2.1	Alcalinidad	60
3.3.2.2	Sólidos suspendidos totales	60

3.3.2.3	Demanda biológica de oxígeno (DBO ₅)	61
3.3.2.4	Fósforo total	62
3.3.2.5	Fosfato	63
3.3.2.6	Nitrógeno total	64
3.3.2.7	Nitrato	65
3.3.2.8	Nitrógeno amoniacal	66
3.3.2.9	Coliformes termotolerantes	67
3.3.2.10	Glifosato y AMPA	68
3.4	Arroyos Yaguarí y Caraguatá	69
3.4.1	Parámetros de medición <i>in situ</i>	70
3.4.1.1	Temperatura	70
3.4.1.2	Conductividad	70
3.4.1.3	pH	71
3.4.1.4	Oxígeno disuelto	72
3.4.2	Resultados analíticos	73
3.4.2.1	Alcalinidad	73
3.4.2.2	Sólidos suspendidos totales	74
3.4.2.3	Fósforo total	74
3.4.2.4	Fosfato	75
3.4.2.5	Nitrógeno total	76
3.4.2.6	Nitrato	77
3.4.2.7	Nitrógeno amoniacal	78
3.4.2.8	Coliformes termotolerantes	79
3.4.2.9	Glifosato y AMPA	81
4	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA CUENCA DEL RÍO TACUAREMBÓ.	81
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
6	BIBLIOGRAFÍA	87
7	ANEXOS	88
7.1	Resumen de los parámetros por parámetro y estación.....	88
7.1.1	Turbidez	88
7.1.2	Demanda Química de Oxígeno	88
7.1.3	Nitrógeno Total	¡Error! Marcador no definido.
7.1.4	Nitrito	89
7.1.5	Sustancias fenólicas	89
7.1.6	Cianuro	90
7.1.7	Mercurio	90
7.1.8	Compuestos halogenados adsorbibles	90
7.1.9	Sólidos Totales	91
7.1.10	Sólidos totales fijos	91
7.1.11	Sólidos totales volátiles	91
7.1.12	Calcio	92
7.1.13	Magnesio	92
7.1.14	Sodio	93
7.1.15	Potasio	93
7.2	Incumplimientos	94
7.3	Análisis de componentes principales	96

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. Desde el año 2017 la DCA lleva a cabo un programa de monitoreo de calidad de agua en la cuenca del río Tacuarembó, el cual a su vez se integra a un monitoreo más integrador de la cuenca del Río Negro, junto con los monitoreos del río Yi y los arroyos Grande del Norte y del Sur.

El presente informe reúne y analiza el estado de la calidad del agua a partir de información de parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua del río Tacuarembó y arroyos Tacuarembó Chico, Cuñapirú, Yaguarí y Caraguatá desarrollados durante el período 2017 – 2023 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 otras oficinas del MA tales como la información sobre vertidos y efluentes de la División Control Ambiental, la información sobre usos del suelo proveniente de la División Información Ambiental y la información hídrica obtenida de la División Servicios Hidrológicos de la Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA).

Este trabajo puede ser complementado con el informe de Evaluación de la Calidad Ambiental en la Cuenca del Río Negro (2018-2022) elaborado por la DCA y disponible en la página del ministerio (<https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/comunicacion/publicaciones/evaluacion-calidad-agua-cuenca-del-rio-negro-2018-2022>) y en el Observatorio Ambiental Nacional (OAN) del Dpto. Evaluación Ambiental Integrada División Calidad Ambiental MA (www.ambiente.gub.uy/oan).

1.1 Objetivo de este informe

- a) Sistematizar la información del programa de monitoreo de calidad de agua de la cuenca del río Tacuarembó obtenida en el período comprendido entre enero de 2017 y abril de 2023.
- b) Evaluar la evolución ambiental en la cuenca del río en dicho período.
- c) Analizar la calidad del agua de los cursos monitoreados en relación a los usos del suelo y actividades productivas en la cuenca.
- d) Ofrecer información para la toma de decisiones para una gestión ambientalmente sustentable en la cuenca.

2 GENERALIDADES

2.1 Área de estudio

La cuenca del río Tacuarembó integra la región hidrográfica del río Uruguay y forma parte de la cuenca del río Negro. Tiene una superficie de 16.273 Km² y la integran los departamentos de Rivera y Tacuarembó y se encuentra enmarcada hacia el noroeste por la cuchilla de Haedo y hacia el noreste (frontera con Brasil) por la cuchilla de Santa Ana (Figura 1). El curso principal es el río Tacuarembó Grande, que nace en el extremo norte del departamento de Rivera entre la Cuchilla de Cuñapirú y la Cuchilla Negra, se desplaza de norte a sur hasta desembocar en el río Negro. En el trayecto recibe sobre la margen este los aportes del arroyo Cuñapirú (que a su vez se alimenta del arroyo Corrales), y los arroyos Yaguarí y Caraguatá. Sobre la margen oeste el principal tributario es el río Tacuarembó Chico, que a su vez recibe las aguas del A° Tres Cruces y del A° Batoví. Por otra parte el sector oeste de la cuenca coincidente con el frente de retroceso de la cuesta basáltica, es una zona de recarga del acuífero Guaraní (Verovlaski y Manganelli, 2018).

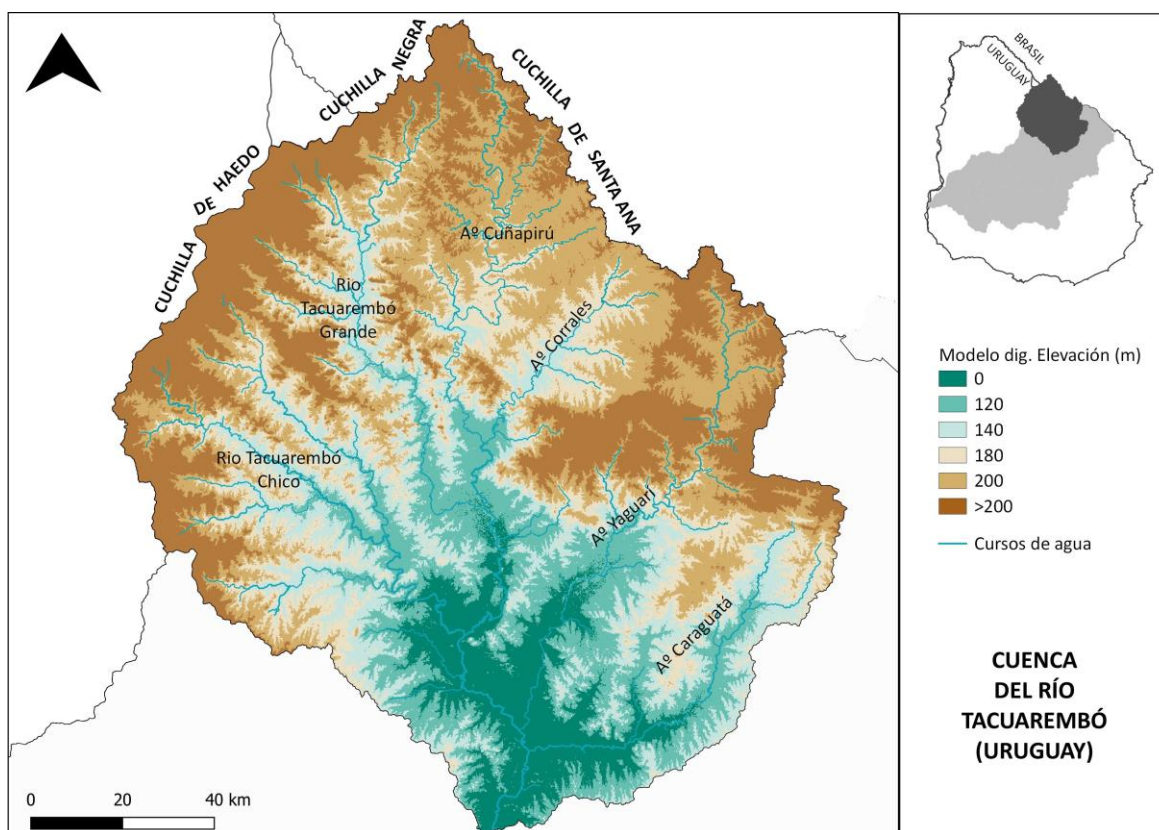


Figura 1. Mapa del relieve y de la red hidrográfica de la cuenca del río Tacuarembó.

Los cursos de agua ubicados hacia el sector norte y oeste de la cuenca, entre los que se incluyen los ríos Tacuarembó Grande y Tacuarembó Chico, tienen sus nacientes en el frente de erosión de la cuesta basáltica (quebradas del norte). Esta zona se caracteriza por la existencia de quebradas de valles cerrados dominados por bosques húmedos de características subtropicales, abriéndose a un paisaje de lomadas y cerros chatos donde ocurre una transición del bosque hacia la pradera (Figura 2). Estas geoformas son ricas en biodiversidad, por lo que integran el sistema de áreas protegidas del país (Paisaje Protegido Valle del Lunarejo). El relieve se aplaca rápidamente hacia el este y el sur, donde los cursos de agua discurren mayormente entre lomadas y planicies sedimentarias (Panario, 1988). En esta región domina la pradera y sobre las planicies inundables se desarrollan el monte ribereño y los bañados (Evia y Gudynas, 2000).

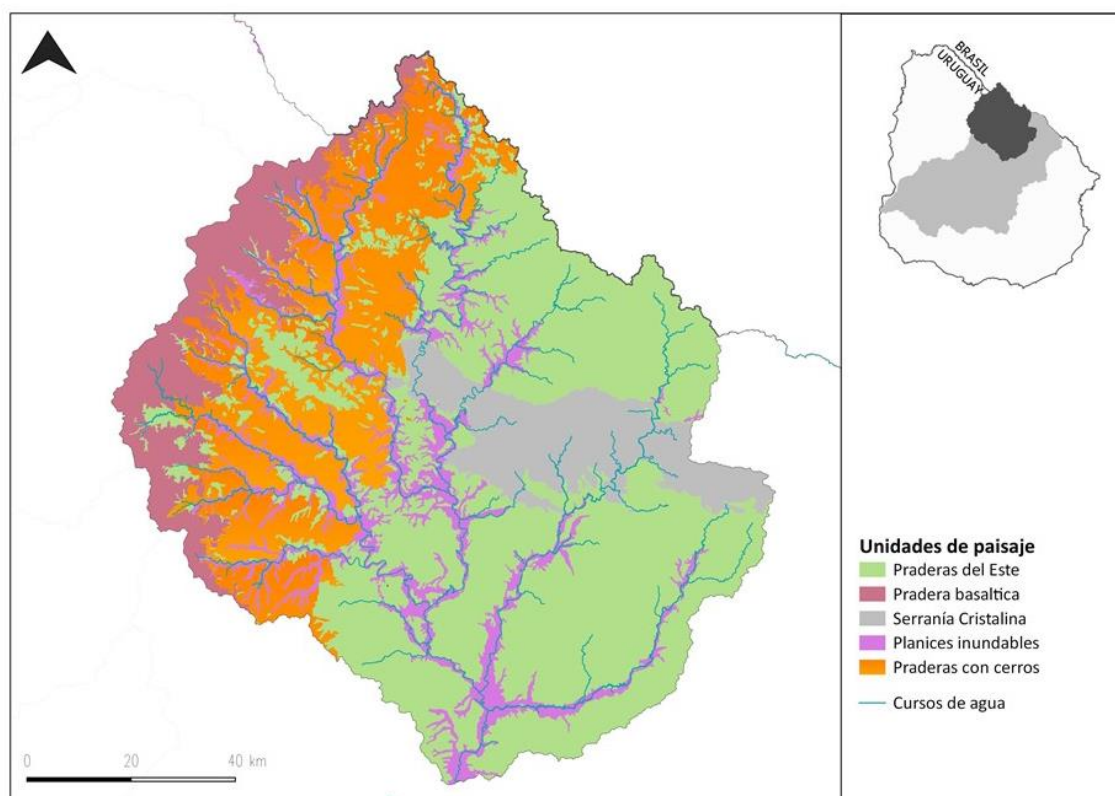


Figura 2. Paisajes característicos de la cuenca del río Tacuarembó.

Hacia el oeste los suelos caracterizados por areniscas rojizas presentan baja fertilidad y su uso principal tradicionalmente ha sido la ganadería en campo natural aunque también en menor medida algunos cultivos como sandía y tabaco. Desde hace unas décadas han sufrido un cambio radical, habiéndose convertido en la principal zona forestal del país. Hacia el sur y sureste de la cuenca además de la ganadería extensiva se desarrollan cultivos de secano, siendo el de soja el principal cultivo en los últimos años, en tanto que en las planicies de los principales ríos se desarrollan cultivos de arroz (Tabla 1; Figura 3).

Tabla 1. Extensión de las principales coberturas y usos del suelo en la cuenca del río Tacuarembó (2021-2022) expresados en Km² y como porcentaje del total de la superficie de la cuenca, según el OAN.

Categorías	Extensión (Km ²)	%
Pastizales y campo natural	1.103.015	70,1
Plantación Forestal	255.552	15,8
Bosque Nativo	122.153	9,3
Cultivos agrícolas	92.503	2,0
Humedales/zonas inundables	37.251	2,1

La población que habita sobre la cuenca ronda los 195.000 habitantes y se concentra principalmente en las capitales departamentales (alrededor de 55.000 en Tacuarembó y 103.000 en Rivera, según los últimos datos del INE). En dichas ciudades y sus alrededores se concentran también la mayor cantidad de industrias de la cuenca, entre las que se destacan la

maderera y la frigorífica. Entre las localidades secundarias destacan Tranqueras (algo más de 7.000 habitantes) y Minas de Corrales (casi 4.000 hab.).

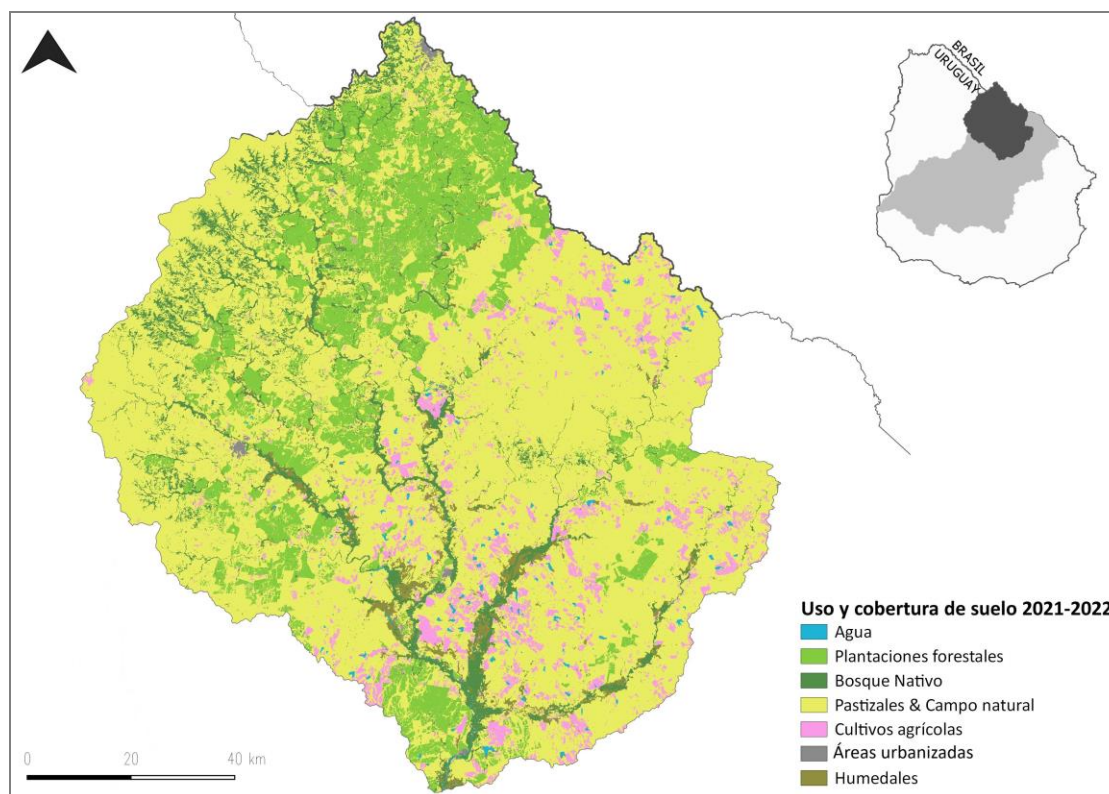


Figura 3. Cobertura y usos principales del suelo durante el período 2021-2022 en la cuenca del río Tacuarembó. (Datos del OAN).

2.2 Programa de evaluación de la calidad del agua de la cuenca del río Tacuarembó

La DINACEA (MA) ejecuta el monitoreo de calidad de agua de la cuenca del río Tacuarembó desde 2017. El mismo está conformado con estaciones de muestreo en el río Tacuarembó Grande y los arroyos Tacuarembó Chico, Cuñapirú, Yaguarí y Caraguatá (Tabla 2, Figura 4). Los muestreos se realizan estacionalmente (verano, otoño, invierno y primavera) y la mayor parte de las estaciones están en funcionamiento desde el inicio del programa, excepto la estación XTAH004.S que fue implementada en invierno de 2020 junto con la desafectación de las estaciones XTAH005.S y XTAH010.S, en tanto que la estación XTAH013.S fue implementada en 2021. Otras estaciones en el río Tacuarembó Grande y Cuñapirú fueron implementadas en 2018 (Tabla 2), totalizando al momento 12 estaciones de monitoreo en actividad.

Tabla 2. Estaciones de monitoreo de la cuenca del río Tacuarembó: código de estación, curso de agua, nombre del sitio o paraje, ubicación geográfica, fecha de inicio/fin y cantidad de instancias de monitoreo hasta invierno de 2023.

Código	Curso	Sitio	latitud	longitud	Actividad	N
XTAH004	Tmbó. Chico	P° del médico	-31,630071	-56,14485	Inv. 2020	9
XTAH005	Tmbó Chico	P° hondo	-31,646331	-56,08729	Ver. 2019 – Pri. 2021	5
XTAH010	Tmbó Chico	Ruta 5	-31,709354	-55,96367	Ver. 2017 – Inv. 2019	8
XTAH013	Tmbó Chico	Pque. Batlle	-31,723072	-55,94333	Ver. 2021	8
XTAH020	Tmbó Chico	P° de los novillos	-31,965648	-55,67562	Ver. 2017	22
XTAC010	Tacuarembó	Ruta 30	-31,177506	-55,76243	Ver. 2018	15
XTAC020	Tacuarembó	Ruta 5	-31,52985	-55,68667	Ver. 2018	15
XTAC030	Tacuarembó	Ansina	-31,879482	-55,47244	Ver. 2017	22
XTAC040	Tacuarembó	Est. Frig. Modelo	-32,321903	-55,41642	Ver. 2017	21
XCPU010	Cuñapirú	Cd. Rivera	-30,917365	-55,54132	Ver. 2017	18
XCPU020	Cuñapirú	P° la calera	-31,340686	-55,47588	Inv. 2018	16
XCPU030	Cuñapirú	P° Cunha	-31,737324	-55,54374	Ver. 2017	21
XYAI010	Yaguarí	Ruta 26	-32,033503	-55,36683	Ver. 2017	22
XCAR010	Caraguatá	Ruta 26	-32,158081	-55,02393	Ver. 2017	22

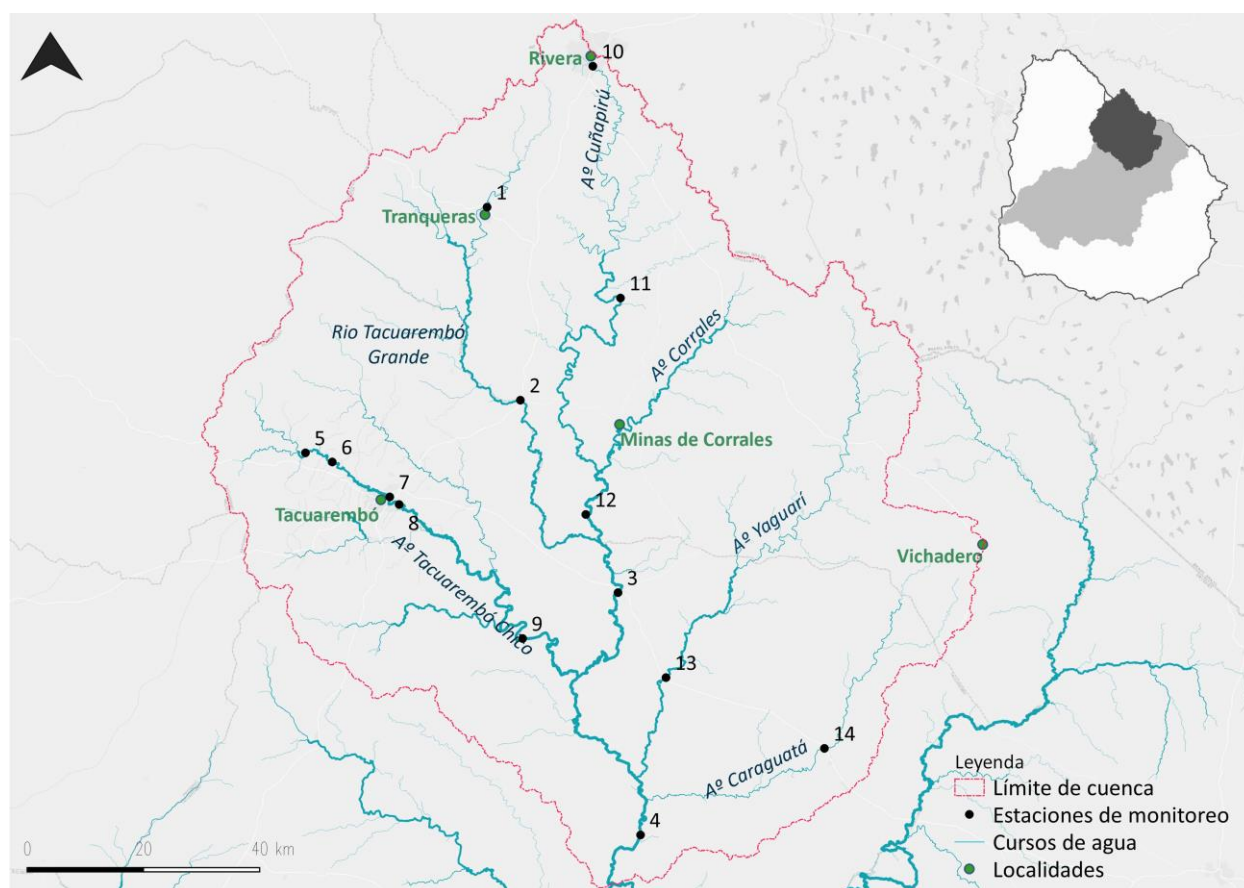


Figura 4. Estaciones de monitoreo de calidad de agua en la cuenca del río Tacuarembó (período 2017-2023). Estaciones: 1-XTAC01 (Ruta 30); 2-XTAC020 (Ruta 5); 3-XTAC030 (Ansina); 4-XTAC040 (Est. Modelo); 5-XTAH004 (P° del Médico); 6-XTAH005 (P° Hondo); 7-XTAH010 (Ruta 5); 8-XTAH013 (Pque. Batlle); 9-XTAH020 (P° de los novillos); 10-XCPU010 (Cd. Rivera); 11-XCPU020 (P° de la Calera); 12-XCPU030 (P° Cunha); 13-XYAI010 (Ruta 26); 14-XCAR010 (Ruta 26).

En cada estación de muestreo se toman muestras de agua superficial (a unos 15 cm bajo la superficie en las estaciones de acceso directo, o a golpe de balde en los sitios donde se toma el agua desde un puente) y se registran en total 34 parámetros. Según el Decreto 253/79 (ratificado por la RM 99/2005) los cursos monitoreados en la cuenca del río Tacuarembó 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 3 da cuenta de todos los parámetros analizados en este programa de monitoreo. Los parámetros medidos que no se encuentran en la normativa oficial, se comparan con los valores propuestos como objetivos de calidad de agua por el Grupo de estandarización técnica ambiental en agua (GESTA), creado en 2014 en el ámbito de la COTAMA (Comisión Técnica Asesora de Medio Ambiente). Algunos de los parámetros monitoreados no se presentan en este informe, sin embargo todos los resultados están disponibles para ser consultados en el visualizador del Observatorio Ambiental Nacional (OAN) (<https://www.ambiente.gub.uy/visualizador/index.php?vis=sig>) y en los informes anuales de calidad de agua elaborados por la DCA del MA disponibles en la sección documentos del OAN (<https://www.ambiente.gub.uy/oan>).

Tabla 3. Lista de las variables monitoreadas en el río Tacuarembó. *Estándares de calidad de agua definidos para la clase 3 del decreto 253/79 y modificativos. **Objetivo de calidad de agua definidos para objetivos de calidad de agua de la versión Gesta Agua de diciembre 2014.

Parámetros	Abreviatura	Unidad	Estándar *	Objetivo de calidad**
In situ				
Temperatura	T	°C		
Conductividad	Cond	μS/cm		
Oxígeno disuelto	OD	mg/L	Mín. 5 mg/L	
Saturación de oxígeno	Sat%	%		
Potencial de hidrógeno	pH	-	Mín. 6,5 – Máx. 8,5	
En laboratorio				
Clorofila A	Clo-a	μg/L		
Feofitina	Feo	μg/L		
Turbidez	Turb	UNT	Máx. 50 UNT	
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L		
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/L		
Sólidos disueltos fijos	SDF	mg/L		
Sólidos disueltos volátiles	SDV	mg/L		
Demanda biológica (bioquímica) de oxígeno	DBO ₅	mg/L	Máx. 10 mg/L	5 mg/L
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/L		
Alcalinidad	Alcal	mg/L		
Calcio	Ca	mg/L		
Magnesio	Mg	mg/L		
Sodio	Na	mg/L		
Potasio	K	mg/L		
Nitrato	NO ₃	mg/L	Máx. 10 mg/L en N	Máx. 5 mg/l en N

Nitrito	NO ₂	mg/L		Máx. 0,1 mg/L en N
Amoníaco libre¹	NH ₃	mg/L	Máx. 0,02 mg/L en N	
Nitrógeno amoniacal¹	NH ₄ ⁺	mg/L		0,5 mg/L en N
Nitrógeno total	NT	mg/L		
Fosfato	PO ₄	µg/L		
Fósforo total	PT	µg/L	Máx. 0,025 mg/L en P	Máx. 70 µg/L en cursos de agua no embalsados
Coliformes Termotolerantes	TMF	UFC/100 mL	Máx. 2000 CF/100 mL ²	Máx. 2000 CF/100 mL ²
Sustancias fenólicas	Sst Fenol	µg/L TEQ	Máx. 0,2 mg/L en C ₆ H ₅ OH	Máx. 5 µg/L
Cianuro	CnT	mg/L	Máx. 1,0	Máx. 20 µg/L
Mercurio	HgT	mg/L	Máx. 0,005	Máx. 0,1 µg/L
Arsénico	AsT	mg/L	Máx. 0,5	
Compuestos orgánicos halogenados absorbibles	AOX	µg/L		Máx. 60
Glifosato	Glif	µg/L		Máx. 65
Acido aminometilfosfónico	AMPA			

¹ Se considera amonio disuelto tanto al amoníaco libre (NH₃(aq)) como a los iones amonio o nitrógeno amoniacal (NH₄⁺) presentes en solución. Ambas formas coexisten en equilibrio dinámico, predominando ampliamente el NH₄⁺ bajo condiciones de temperatura y pH naturales. El decreto 253/79 refiere al amoníaco libre como estándar y el Grupo de Estándares Ambientales en agua (GESTA) de la COTAMA refiere al amonio o nitrógeno amoniacal como valor objetivo.

² El decreto 253/79 establece que para los cuerpos de agua de clase 3 no se deberá exceder el límite de 2000 CF/100 mL en ninguna de al menos 5 muestras debiendo la medida geométrica de las mismas estar por debajo de 1000 CF/100 mL.

Los análisis fueron realizados en el laboratorio ambiental del MA siguiendo los procedimientos estandarizados que se detallan en el Manual de Procedimientos Analíticos para Muestras Ambientales (MVOTMA – Laboratorio Ambiental, 2009), y que se basan en el *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water; 21st edition*. Los límites de cada técnica analítica están descritos en el Compendio de Metodologías Analíticas de Referencia y Preservación de Parámetros Ambientales (MA, 2023).

El comportamiento de cada parámetro se analizó espacial y temporalmente. La distribución de los valores en cada estación de monitoreo se graficó mostrando cada resultado individualmente sólo en los casos en los que hubo menos de 5 muestras con valores cuantificables en alguno de los sitios de la subcuenca. En caso contrario, la representación 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. En los casos en los que la concentración de un compuesto estuvo por debajo de la capacidad de

detección o cuantificación del método, se asumió para el análisis que la concentración del compuesto era igual al límite de cuantificación o detección de la técnica respectiva.

3 RESULTADOS

En este capítulo se exponen los datos que aportan información sobre la calidad del agua de los cursos monitoreados. La distribución de datos de todos los parámetros analizados se resumen en la sección 7.1 de los anexos. Asimismo, los parámetros que presentaron incumplimientos a la normativa de la Tabla 3, se indican en la sección 7.2 de los anexos. Por otra parte, la sección 7.3 de los anexos ilustran las relaciones entre las variables resultantes de análisis de componentes principales.

3.1 Río Tacuarembó Grande

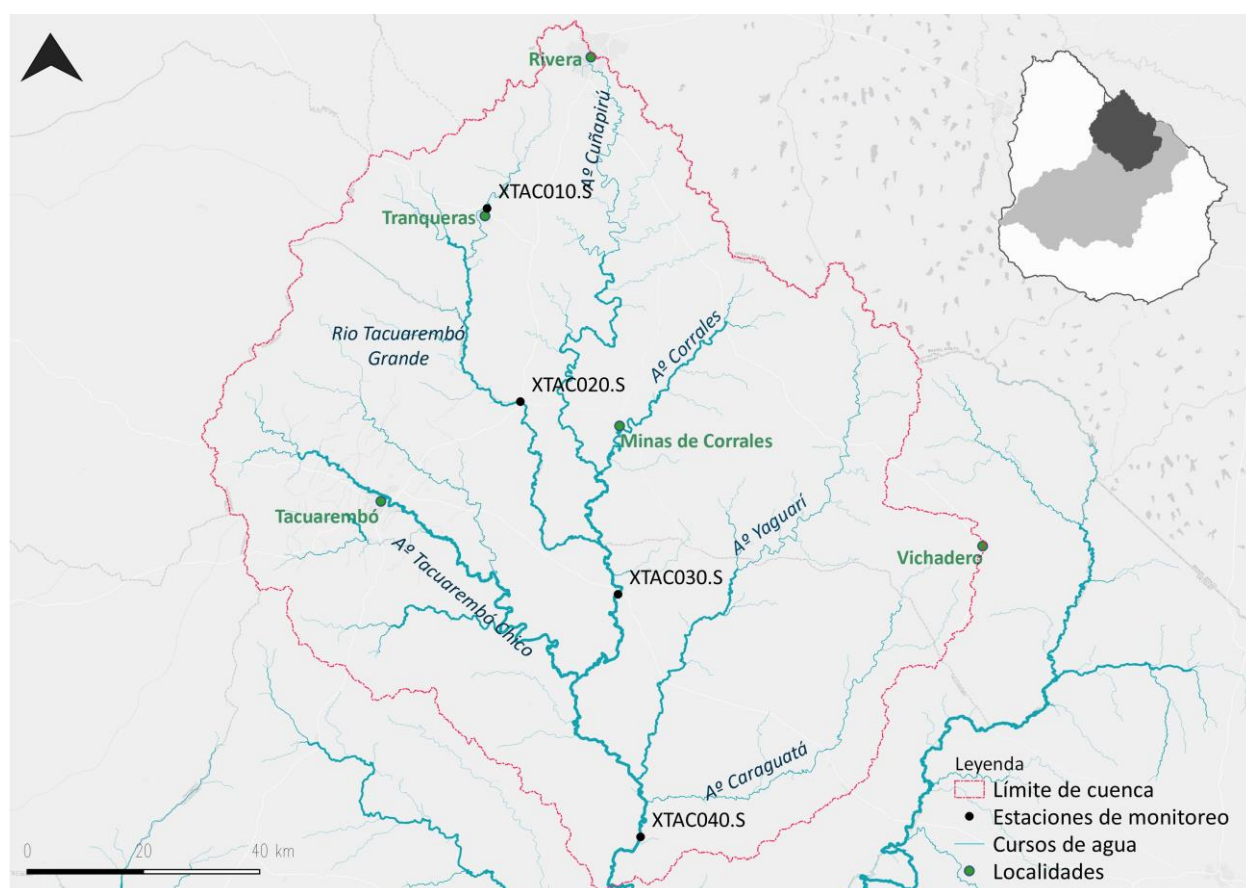


Figura 5. Cuenca del río Tacuarembó donde se destaca el curso principal y las estaciones de monitoreo en el mismo.

El río Tacuarembó Grande cuenta con cuatro estaciones de monitoreo (Figura 5). La primera estación (XTAC010) se encuentra bajo el puente de la ruta 30, inmediatamente aguas arriba de Tranqueras, en un sitio que si bien es catalogado como rural, presenta en sus inmediaciones algunas edificaciones precarias, depósitos de chatarra y cría de animales en corrales. La siguiente estación (XTAC020) se ubica sobre la ruta 5, ubicada a aprox. 60 Km aguas abajo de la

anterior y es un sitio netamente rural. Aguas abajo, a aprox. 25 Km, se encuentra la estación ubicada bajo el puente de la ruta 26 en Villa Ansina (XTAC030). El sitio de muestreo se encuentra en un parque y balneario de la localidad al costado del puente de la ruta. La última estación del río Tacuarembó Grande (XTAC040) se ubica a aprox. 75 Km aguas abajo de Ansina, a orillas de un importante establecimiento ganadero (Establecimiento Modelo), unos 15 Km aguas arriba de su desembocadura en el Río Negro.

3.1.1 Parámetros de medición *in situ*

3.1.1.1 Temperatura

En la cuenca del río Tacuarembó, al igual que en el resto del territorio nacional, el clima es la principal condicionante de las temperaturas de los cuerpos de agua. En Uruguay la escasa relevancia del relieve así como de la extensión del territorio en latitud hace que estos factores no sean determinantes en la temperatura del agua, siendo la misma similar en las diferentes regiones del país, donde la principal fuente de variación radica en las estaciones del año y en la radiación solar que recibe el curso. Por tanto, al no existir descargas de efluentes que puedan alterar la temperatura del cuerpo receptor, los registros de temperatura en el río Tacuarembó son los esperados para los cuerpos de agua de Uruguay, los cuales en invierno presentan temperaturas en el entorno de los 10°C y en verano de los 25°C. En las cuatro estaciones de muestreo del río Tacuarembó el promedio de los registros de verano fue de 23,1°C y el de invierno 13,3°C, en tanto que en primavera el promedio fue 20,2°C y en otoño 20,1°C (Figura 6). Los máximos y mínimos registrados en tanto fueron 30,1°C (XTAC030) y 11,2°C (XTAC010), respectivamente. La serie temporal por su parte mostró la oscilación del curso a lo largo de los años en los que ha sido monitoreado (Figura 7).

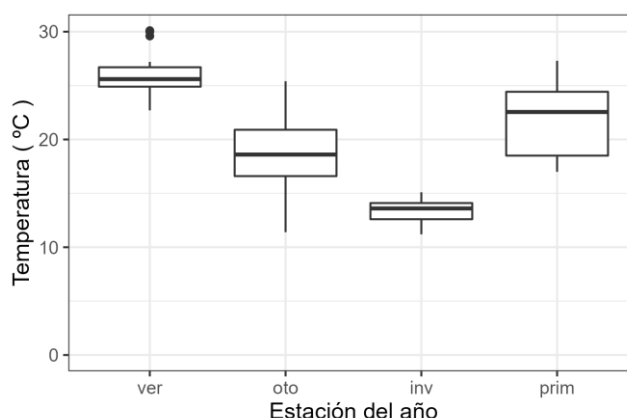


Figura 6. Variación estacional de la temperatura en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

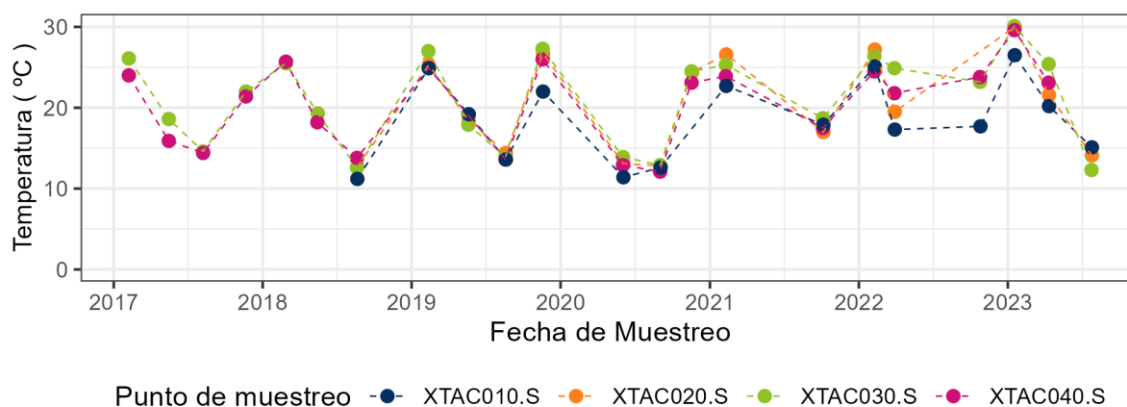


Figura 7. Serie temporal de la temperatura en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

3.1.1.2 Conductividad

La conductividad eléctrica es un indicador de la cantidad de iones libres en el agua. Generalmente, la conductividad en los cursos de agua aumenta conforme el mismo avanza, siendo mayor en las zonas bajas donde sedimentan materiales provenientes de toda la cuenca y menor en las zonas altas, donde predomina la exportación de materiales.

A lo largo del río Tacuarembó se observó un incremento gradual de la conductividad, desde 56 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la primera estación (ruta 30) hasta 96 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la última (est. Frigorífico Modelo) (Figura 8). La conductividad promedio fue 77,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y fue el curso con menor conductividad promedio de todos los cursos monitoreados en la cuenca. En la serie temporal, la conductividad presentó variaciones menores y no se observaron cambios estacionales a excepción de los veranos de 2018 y de 2023 (cerca de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) cuando la misma fue claramente superior a los valores usuales, los cuales no sobrepasaron los 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 9).

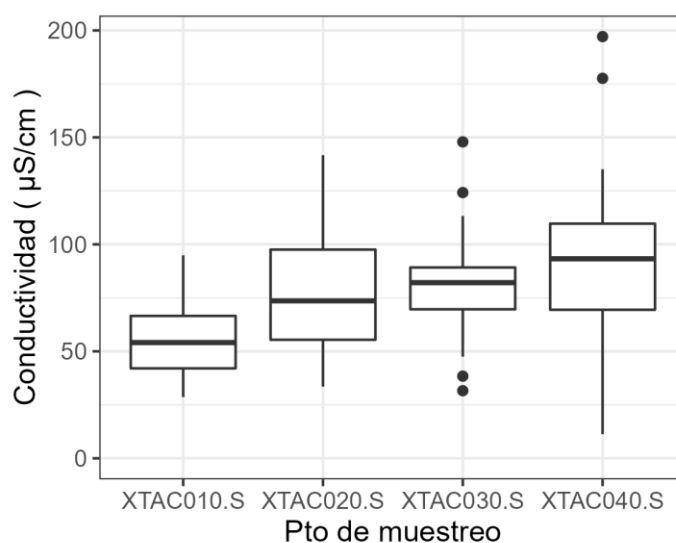


Figura 8. Distribución de los valores de conductividad en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

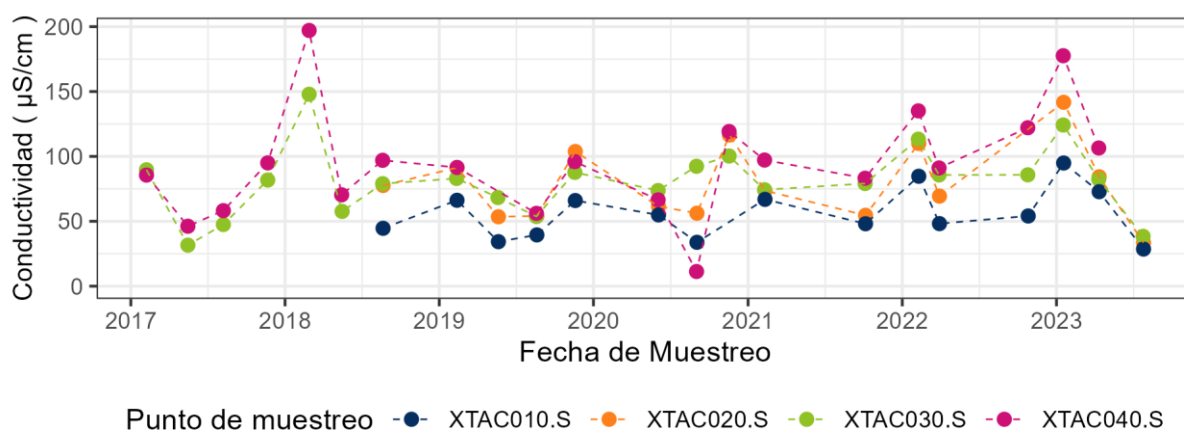


Figura 9. Serie temporal de la conductividad en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.1.1.3 pH

El pH (potencial de hidrógeno) 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. Bajo concentraciones normales de oxígeno el pH se encuentra en valores ligeramente superiores a la neutralidad (6,5 a 7,5), tendiendo a ser menor en ambientes donde las tasas de descomposición de la materia orgánica son mayores a lo usual.

El valor promedio de pH para todo el período en el río Tacuarembó fue de 7,2, el cual resulta similar al del resto de los cursos de la cuenca. Al igual que en el caso de la conductividad, se observó una ligera tendencia de incremento del pH a lo largo del curso (Figura 10). La serie temporal de pH mostró escasa variabilidad, con excepción de valores más bajos en otoño y primavera de 2019 (Figura 11).

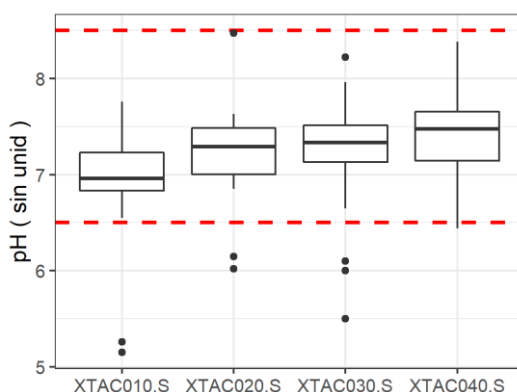


Figura 10. Distribución de los valores de pH en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023. Las líneas discontinuas indican el máximo y mínimo en que dicho valor debe encontrarse, según la normativa (Decreto 253/79 para cuerpo de agua Clase 3).

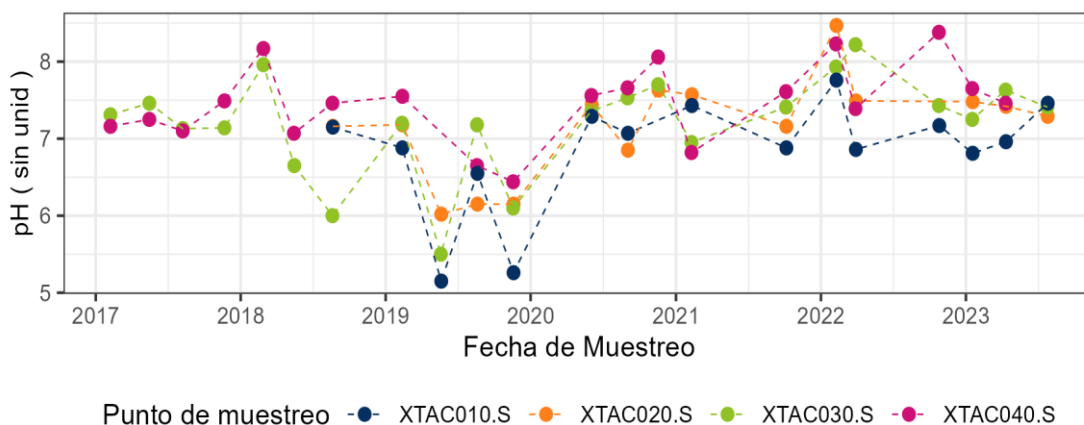


Figura 11. Serie temporal del pH en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.1.1.4 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 (>8 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 establece un mínimo aceptable de 5 mg/L en los cursos de agua naturales.

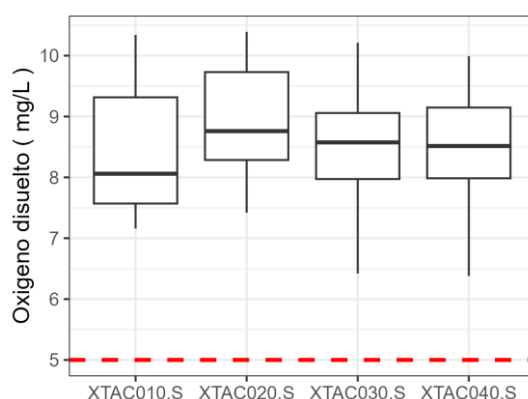


Figura 12. Distribución de los valores de oxígeno disuelto en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor mínimo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua Clase 3).

A lo largo del río Tacuarembó el oxígeno disuelto se encontró por encima del límite establecido en la norma, habiendo estado su promedio en 8,6 mg/L. Si bien no se registraron diferencias espaciales importantes, la estación ubicada más arriba (ruta 30) presentó el menor valor promedio, lo cual no deja de ser llamativo ya que puede ser indicador de la existencia de alguna

situación que esté afectando dicho sitio (Figura 12). En relación a los demás cursos de agua de la cuenca, la concentración de oxígeno disuelto en el río Tacuarembó mostró valores similares aunque en promedio ligeramente superiores al resto. En tanto a lo largo de la serie temporal no se encontraron tendencias de incremento o disminución, aunque sí se distinguió un patrón anual relacionado con la temperatura del agua, que obedece de la solubilidad del oxígeno en relación de la temperatura del agua (Figura 13).

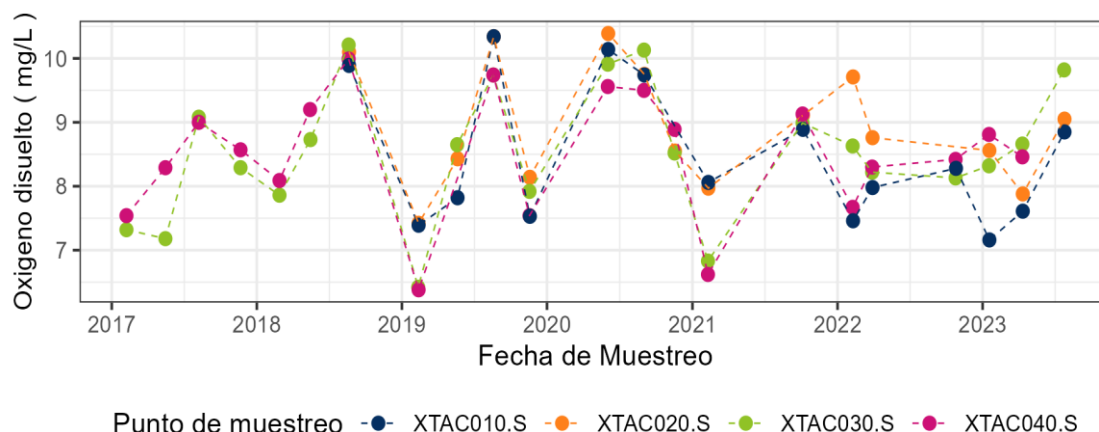


Figura 13. Serie temporal del oxígeno disuelto en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.1.2 Resultados analíticos

3.1.2.1 Alcalinidad

La alcalinidad da cuenta del grado de mineralización del agua, ya que expresa la cantidad de bases (calcio, magnesio, sodio y potasio) que forman sales con los principales aniones (carbonato, bicarbonato, cloruro y sulfato). En el agua dulce la alcalinidad está determinada básicamente por los carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio (Arocena, 2016).

En el río Tacuarembó la alcalinidad (expresada como mg de carbonato de calcio por litro) se encontró entre valores en el entorno de 30 a 40 y presentó una tendencia a incrementarse a lo largo del curso. En la estación ubicada más arriba (ruta 30) el promedio estuvo en 28,2 mg CaCO_3/L y en la última estación (Est. Frigorífico Modelo) el mismo fue de 43,7 mg CaCO_3/L , siendo este último valor similar al promedio histórico en el Río Negro.

3.1.2.2 Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales (SST) 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 valores promedio de las diferentes estaciones de monitoreo en el río Tacuarembó variaron de 14,3 a 25,6 mg/L, habiendo sido el mayor el correspondiente a la estación XTAC030 (Ansina). Sin embargo, el sitio con mayor mediana fue XTAC040 (Est. Frigorífico Modelo) (Figura 14). Esto se explica porque si bien los valores de SST en XTAC040 fueron en general superiores a los de XTAC030, algunos registros de SST en XTAC030 bastante por encima que los de XTAC040. Ello también se evidenció en el tercer cuartil, siendo el de XTAC030 mayor (figura 14). Lo mismo se observó en la serie temporal donde ocurren varios máximos de SST en esta estación (Figura 15).

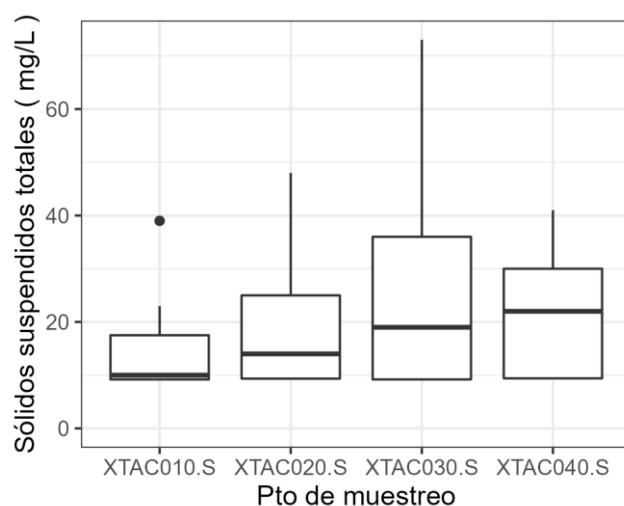


Figura 14. Distribución de los valores de SST en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

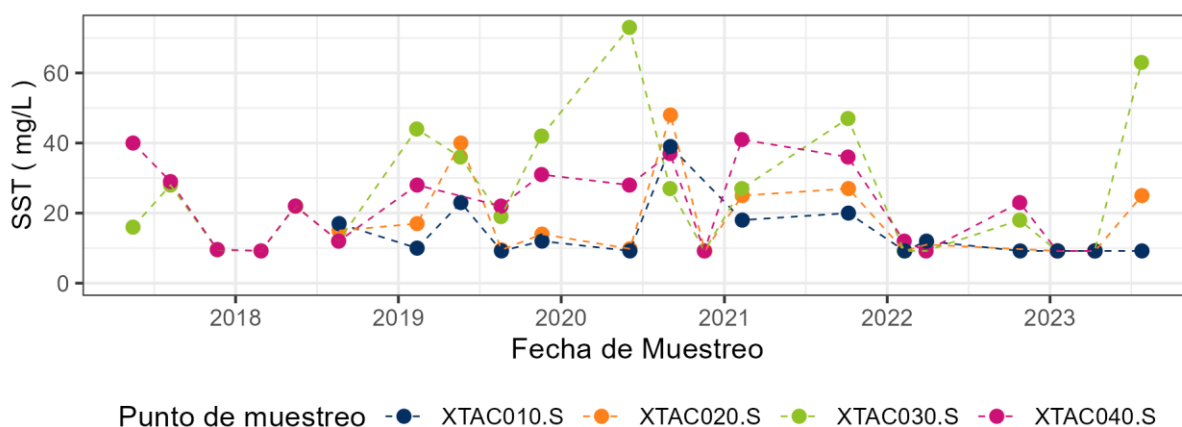


Figura 15. Serie temporal del SST en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.1.2.3 Demanda biológica de oxígeno (DBO₅)

La demanda biológica de oxígeno (DBO₅, también llamada demanda bioquímica de oxígeno), mide la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos en la oxidación (respiración) de la materia orgánica contenida en la muestra de agua durante 5 días de incubación a una

temperatura de 20°C. Esta información permite evaluar la cantidad de materia orgánica en el agua y es por tanto un indicador de su calidad. Es un parámetro de gran valor informativo en el tratamiento de aguas residuales, donde los valores de DBO₅ pueden ser muy elevados (del orden de los cientos). Sin embargo, en los cursos de agua naturales los valores de DBO₅ no deberían ser mayor de 2 o 3 mg/L. Valores superiores indican ambientes con elevada concentración de materia orgánica y pueden estar evidenciando aportes de efluentes que generan algún impacto en el curso que los recibe.

La cantidad de datos de DBO₅ en el río Tacuarembó entre 2017 y 2023 es disímil según la estación. La estación XTAC040 cuenta con solo dos fechas, en tanto que las estaciones XTAC010 y XTAC020 cuentan con tres y la estación XTAC030 fue la única que tiene información de todo el período, con 21 fechas (Figura 16). La escasez de datos de las estaciones XTAC010, XTAC020 y XTAC040 obliga a tener cautela en el momento de sacar conclusiones. Más allá de esa situación, se observó que todos los valores de DBO₅ registrados se encontraron mayoritariamente dentro del rango considerado normal para un curso de agua natural, exceptuando algunos valores puntuales en la estación XTAC030 (Figura 16). No obstante, el mayor valor promedio se registró en la estación XTAC020 (ruta 5), con 2,7 mg/L. Los menores valores de DBO₅ en general, así como el menor promedio fue registrado en la última estación de monitoreo (XTAC040 – Est. Frigorífico Modelo), lo que podría ser interpretado como autodepuración del curso conforme el agua transcurre por el mismo, aunque la escasez de registros no permitiría ser contundente en dicha interpretación.

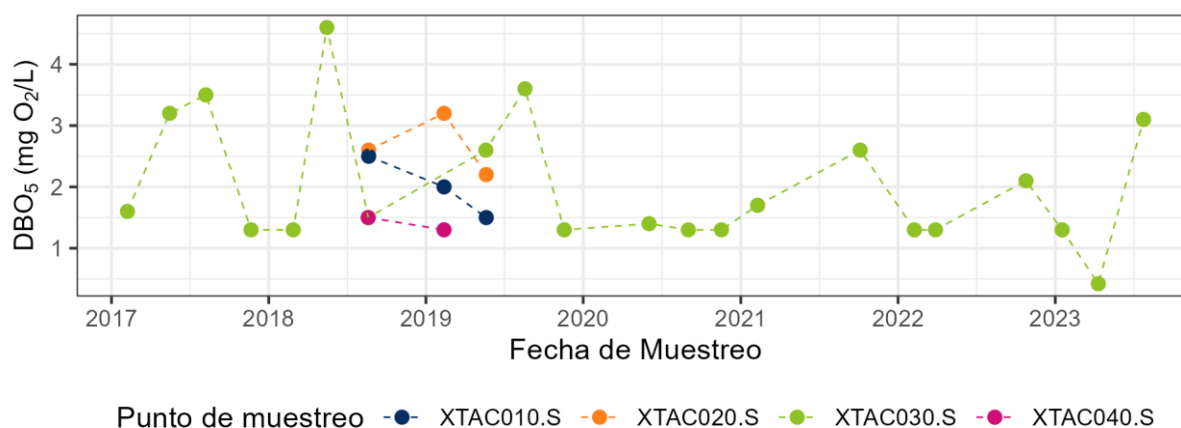


Figura 16. Serie temporal de la DBO₅ en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

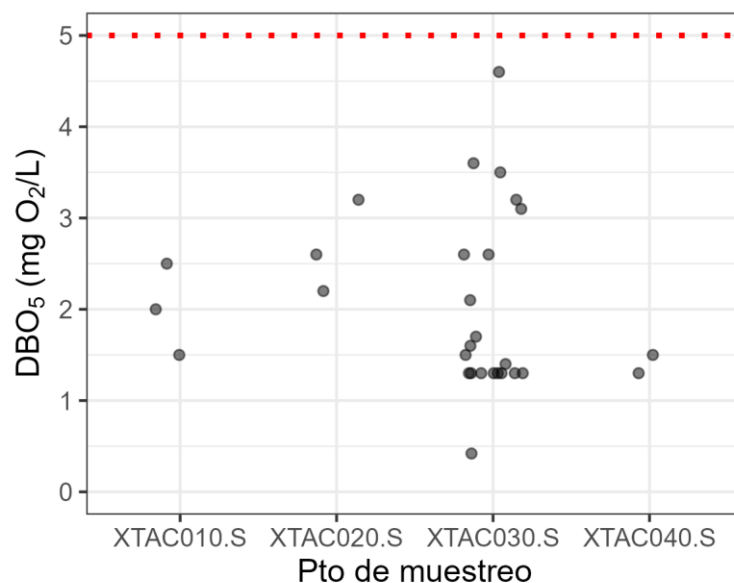


Figura 17. Distribución de los valores de DBO₅ en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea punteada indica el objetivo de calidad de agua según el Gesta Agua (2014).

3.1.2.4 Fósforo total

El fósforo así como el nitrógeno son los nutrientes más relevantes de los ambientes de agua dulce ya que se los considera moduladores de la productividad, siendo el primero considerado como el más significativo porque generalmente es el limitante. Los ambientes eutrofizados presentan altas concentraciones de nitrógeno y fósforo, siendo este último especialmente abundante. Los términos fósforo total (PT), así como nitrógeno total (NT) se refieren a la cantidad de estos elementos en todas sus formas moleculares, tanto orgánicas como inorgánicas, disueltas o particuladas.

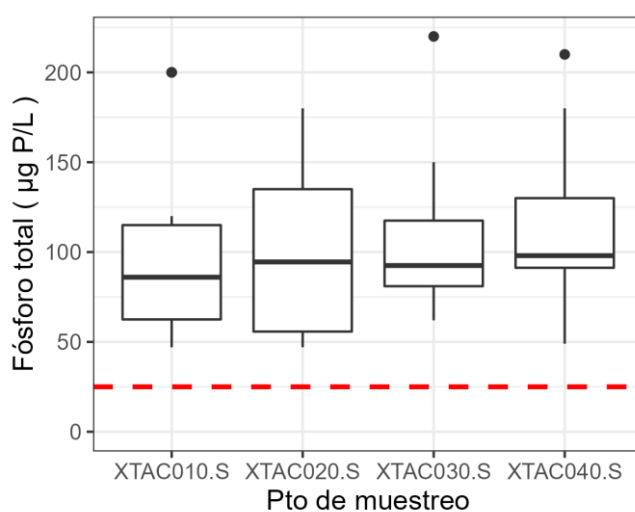


Figura 18. Distribución de los valores de PT en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor mínimo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua clase 3).

Los valores de fósforo total (PT) en el río Tacuarembó no fueron bajos, estando el promedio en 100 µg/L. Los valores promedio a lo largo de las diferentes estaciones mostraron cierto incremento, desde 95,2 µg/L en la estación ubicada más aguas arriba, hasta 108,2 µg/L en la última estación, lo que representa un aumento de aproximadamente un 13% a lo largo del curso (Figura 18).

La serie temporal mostró una importante variabilidad, siendo ésta mayor a la registrada espacialmente y no se observó estacionalidad (Figura 18). Por otra parte en la mayor parte de las fechas de muestreo los valores de PT de todas las estaciones fueron similares, independientemente si eran relativamente elevados o bajos, pero en otras ocasiones hubo importantes diferencias entre los sitios, siendo en algunos casos mayores los valores en las estaciones superiores (fundamentalmente en el caso de invierno de 2019) y en otros los valores más elevados se registraron en las estaciones inferiores (como en verano de 2021). El promedio anual de PT a partir de 2021 fue mayor a los años previos, aunque la importante variabilidad de su comportamiento no permite concluir que este aumento represente una tendencia de incremento durante el período evaluado (Figura 19).

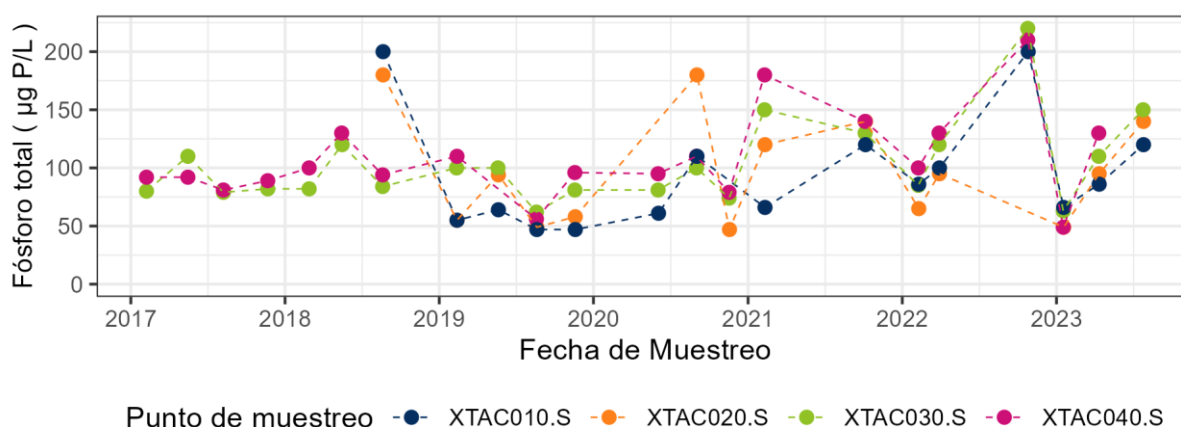


Figura 19. Serie temporal de la concentración de PT en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.1.2.5 Fosfato

Los fosfatos son sales de fósforo disueltas en el agua. El ion fosfato u ortofosfato (PO_4^{3-}) es la forma libre, dissociada de las sales, que es asimilada por microorganismos, incluidos los fotosintetizadores. Es decir, es la forma molecular que consumen los microorganismos, las algas y las plantas en los ambientes acuáticos. Su concentración en las aguas naturales está normalmente cerca de un orden de magnitud por debajo de la concentración del PT.

En el río Tacuarembó la concentración de fosfato aumentó conforme avanza el curso (Figura 20) y en promedio los valores en la estación ubicada más aguas abajo (XTAC040, Est. Frigorífico Modelo) con 55,4 µg/L duplicó el promedio de la concentración en la estación ubicada más

aguas arriba (XTAC010, ruta 30) cuyo valor es 26,9 $\mu\text{g/L}$. Es decir, mientras que la tasa de incremento de PT fue del 13%, la de fósforo fue de alrededor del 100% al duplicarse los valores promedio medidos en la última estación respecto a los de la primera, encontrándose el mayor incremento entre las dos últimas estaciones.

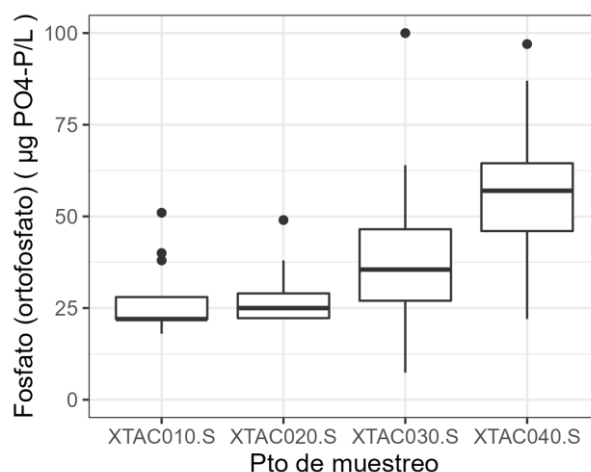


Figura 20. Distribución de los valores de fósforo (PO_4^{3-}) en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

No se observaron tendencias de incremento o disminución de la concentración de fósforo en la serie temporal (Figura 20). Esta serie reflejó también las diferencias de concentración entre las estaciones de monitoreo, habiendo sido muy superiores en las estaciones ubicadas más aguas abajo (XTAC030 y XTAC040) para la mayoría de las fechas.

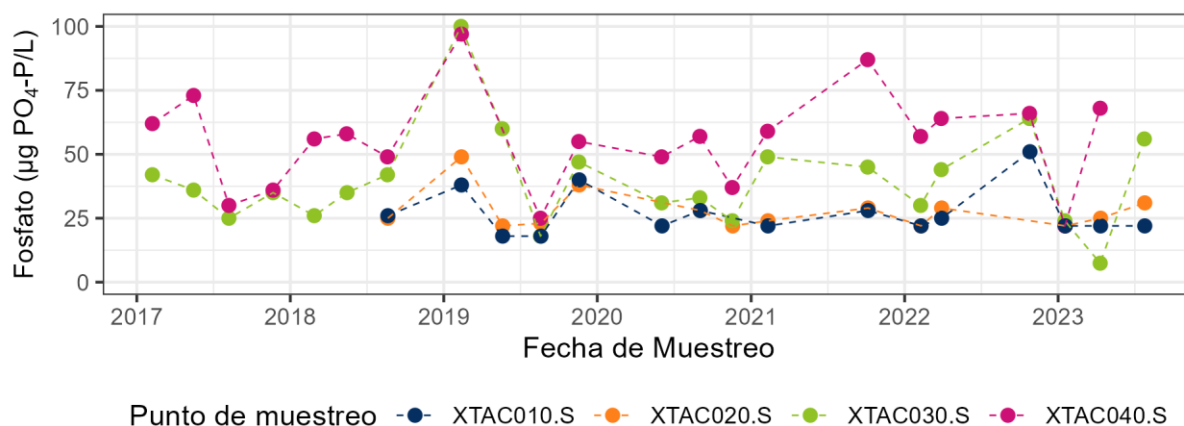


Figura 21. Serie temporal de la concentración de fósforo en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.1.2.6 Nitrógeno total

El nitrógeno total (NT) representa la suma de todas las formas de nitrógeno, tanto disueltas como particuladas, inorgánicas u orgánicas. Generalmente las fracciones particuladas son las mayoritarias. Normalmente en los cuerpos de agua superficiales las concentraciones de nitrógeno total se encuentran en el orden de los cientos de miligramos por litro, aunque en ambientes eutróficos puede llegar a ser un orden de magnitud superior.

El comportamiento del NT a lo largo del río fue sumamente conservador, habiendo sido muy sutiles las diferencias en su concentración entre las diferentes estaciones del río (Figura 22). Los valores promedio de las diferentes estaciones se encuentran por debajo de la mayoría de las estaciones de los demás cursos de agua de la cuenca.

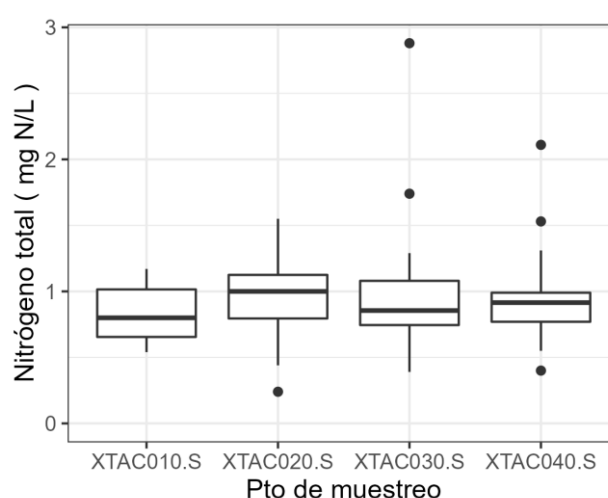
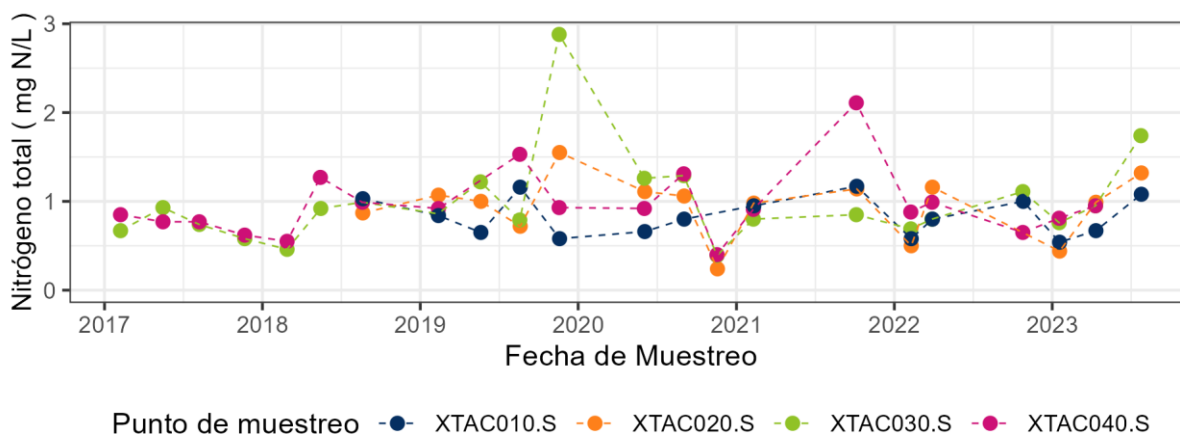


Figura 22. Distribución de los valores de Nitrógeno total en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

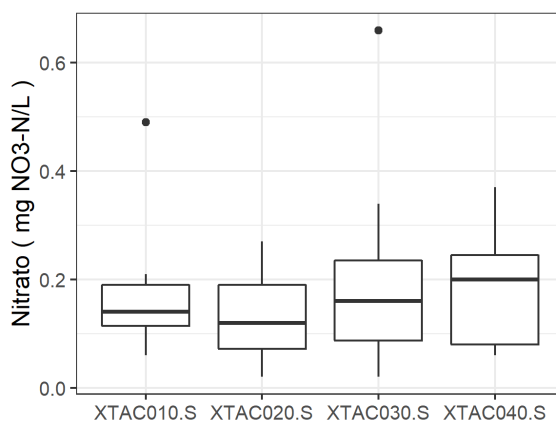
No se observaron tendencias a lo largo del tiempo ni patrón estacional y al igual que para el PT se observó una importante variabilidad (Figura 23). Asimismo al igual que en el caso del PT, primavera de 2020 y verano de 2022 fueron dos fechas donde todas las estaciones mostraron algunos de los valores más bajos de la serie temporal. Y a diferencia del PT en el caso del NT se observa mayor independencia entre las estaciones dentro de una misma fecha de muestreo.



3.1.2.7 Nitrato

El nitrato es la forma más oxidada del nitrógeno inorgánico disuelto en el agua, y la más abundante. Los iones de nitrato son consumidos por los microorganismos (incluidas las algas y cianobacterias), por lo que es un nutriente esencial para el desarrollo de los mismos y el estado trófico del ambiente en general. Como se mencionó, en condiciones naturales se encuentra en valores de concentración que están un orden de magnitud por encima del nitrógeno amoniacal.

En el río Tacuarembó los valores de nitrato resultaron bastante estables siendo el promedio a lo largo del mismo de 0,16 mg/L y las medianas entre 0,14 y 0,18 mg/L (Figura 24).



La serie temporal de nitrato muestra algunos momentos con valores muy bajos (verano de 2018, otoño de 2019, veranos de 2023 y 2023) y un pico importante en las estaciones TAC010 y TAC030 en otoño de 2020 (Figura 25).

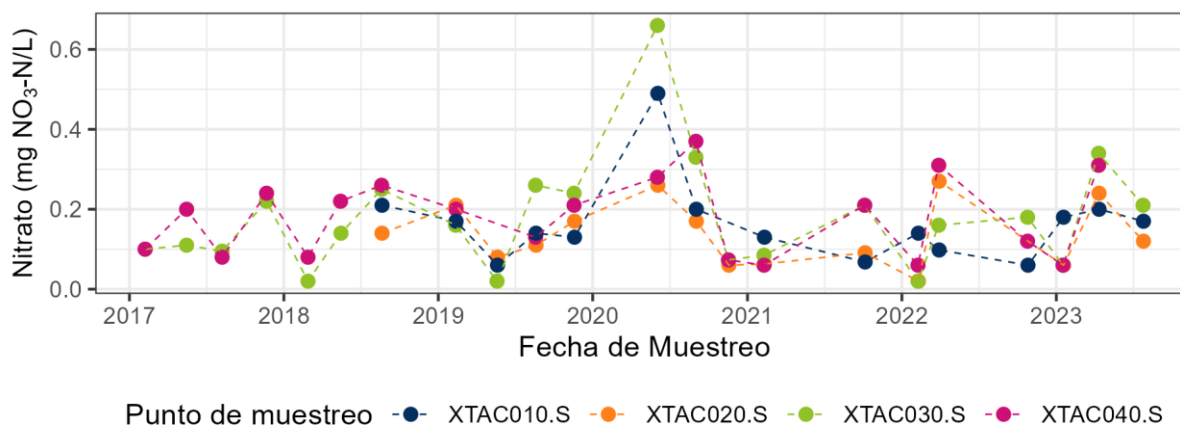


Figura 25. Serie temporal de la concentración de nitrato en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.1.2.8 Nitrógeno amoniacal

El nitrógeno amoniacal integra al amoníaco y su ión amonio ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$), las cuales son las formas inorgánicas reducidas de nitrógeno disuelto en el agua. Este componente es directamente asimilado por las bacterias y las microalgas para su crecimiento. Por ser una forma química reducida, en ambientes con adecuada oxigenación es una fracción minoritaria del nitrógeno inorgánico disuelto, donde priman fracciones oxidadas, principalmente nitrato (NO_3^-). En estas condiciones, las concentraciones de nitrógeno amoniacal esperables se presentan un orden de magnitud por debajo de los valores de concentración de nitrato. En ausencia de estándar, se hace referencia al valor objetivo del GESTA-agua/2014 que propone como valor de referencia para el amonio (NH_4^+) $\leq 0,5$ mg/L mientras que el estándar del amoníaco (NH_3) es $\leq 0,002$ mg/L según el decreto 253/79, ya que a valores superiores puede resultar tóxico para los peces.

Los valores promedio de concentración de nitrógeno amoniacal a lo largo del río Tacuarembó presentaron una ligera tendencia a disminuir (Figura 26). En efecto, el mayor valor promedio (0,1 mg/L) se registró en la estación ubicada más arriba en el curso (XTAC010), y las restantes presentaron valores de 0,07 a 0,06 mg/L.

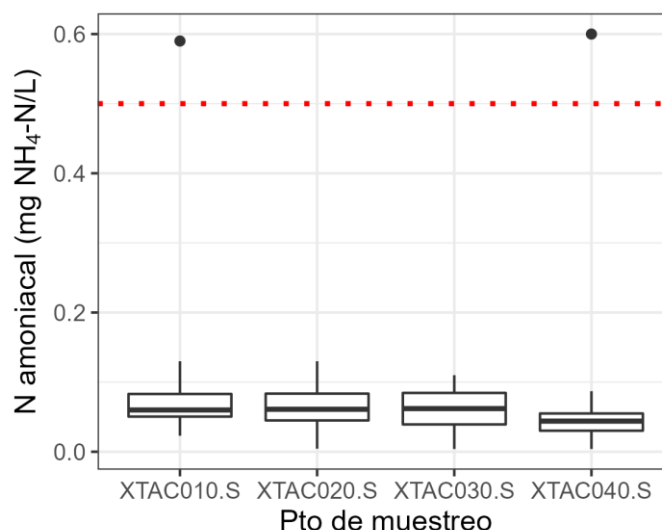


Figura 26. Distribución de los valores de nitrógeno amoniacal en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el objetivo de calidad de agua según el GESTA (2014).

La serie temporal muestra un comportamiento estable para este parámetro, donde destacan dos picos: el primero en primavera de 2017 correspondiente a la estación ubicada más aguas abajo (XTAC040 – Est. Frigorífico Modelo) y el segundo en otoño de 2020 en la estación ubicada más arriba (XTAC010 – ruta 30) (Figura 27).

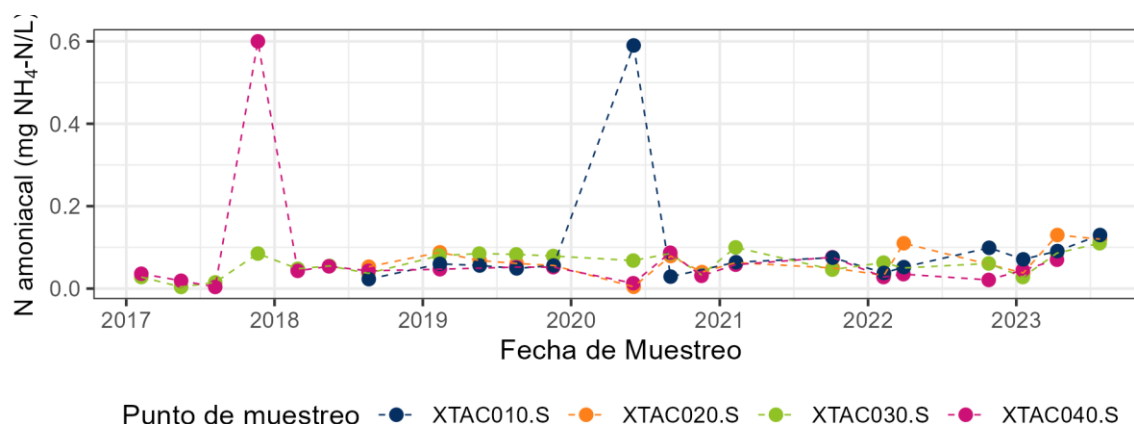


Figura 27. Serie temporal de la concentración de nitrógeno amoniacal en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.1.2.9 Clorofila-a

La clorofila-a es el principal pigmento de los organismos que realizan fotosíntesis. La clorofila-a obtenida de muestras de agua es un estimador de la cantidad fitoplancton. Dado que la productividad de un cuerpo de agua está relacionada a la disponibilidad de nutrientes, la concentración de clorofila-a es también un indicador del estado trófico del mismo. En los cuerpos de agua oligo y mesotróficos (es decir, que tienen baja y moderada cantidad de nutrientes) la abundancia de fitoplancton es relativamente menor que en los sistemas

eutróficos y la concentración de clorofila-a es menor a 10 $\mu\text{g/L}$. Pero no solamente los nutrientes limitan al fitoplancton; bajas temperaturas, la baja penetración de la luz y bajos tiempos de residencia del agua impiden el desarrollo de fitoplancton, aún cuando los cuerpos de agua sean eutróficos. Por ello que en cursos de agua no embalsados, donde los tiempos de residencia son bajos, raramente se registran floraciones algales, independientemente de la concentración de nutrientes que registren.

Los valores de concentración de clorofila-a medidos en el río Tacuarembó han sido bajos, esperables para un curso de agua (Figura 28). El promedio en todo el curso es 2,0 $\mu\text{g/L}$, mostrando un incremento desde las nacientes hacia su desembocadura. El mínimo absoluto se registró en la estación XTAC040 con 0,1 $\mu\text{g/L}$, así como el máximo también en la misma estación con un valor de 6,8 $\mu\text{g/L}$.

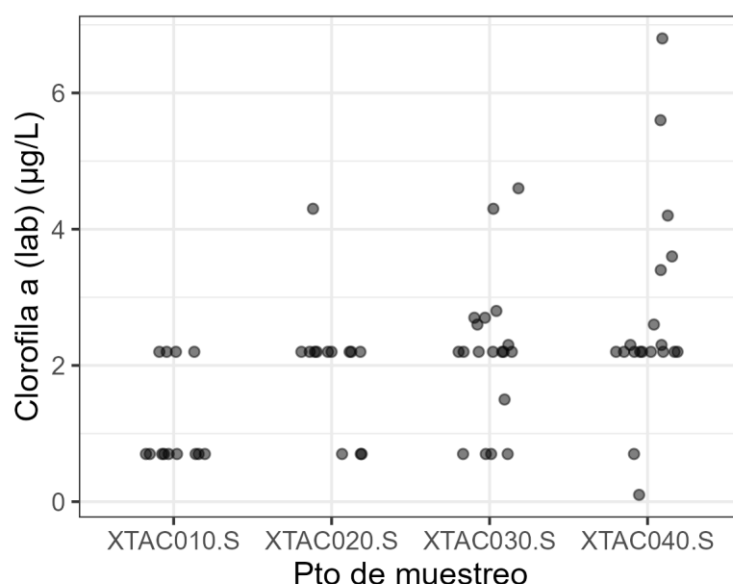


Figura 28. Distribución de los valores de clorofila-a en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

La serie temporal de clorofila-a no muestra variaciones significativas a lo largo del tiempo, aunque sí se pueden observar una tendencia a incrementarse los valores durante los muestreos de primavera y verano, lo cual coincide con las épocas en que el fitoplancton presenta mayor desarrollo (Figura 29).

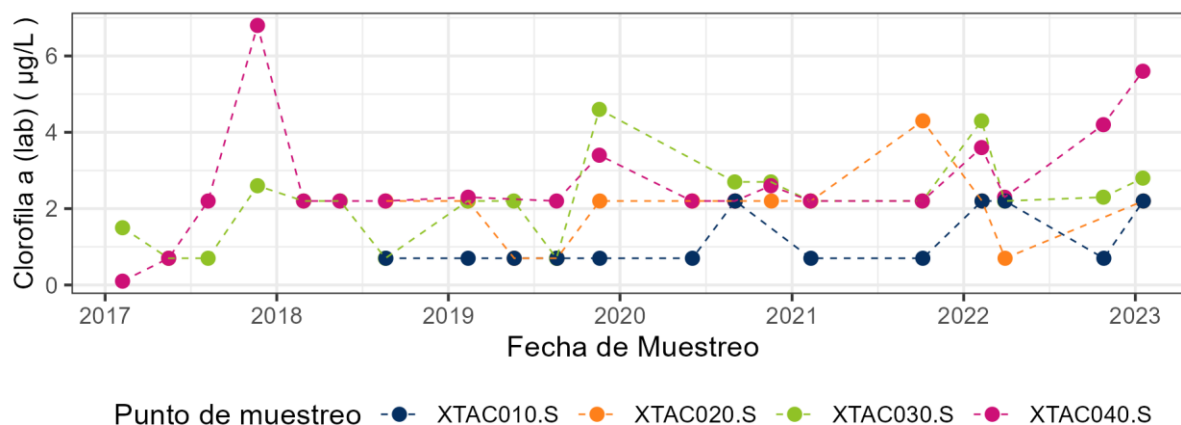


Figura 29. Serie temporal de la concentración de clorofila-a en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.1.2.10 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. Su presencia en los cuerpos de agua naturales puede deberse a aves u otros organismos de sangre caliente. Sin embargo, el acceso del ganado al agua en el medio rural así como en zonas urbanas la descarga de aguas servidas sin tratamientos adecuados puede aumentar la concentración de coliformes termotolerantes.

La mayoría de los registros de coliformes termotolerantes en el río Tacuarembó se encuentran dentro de las concentraciones naturales de este parámetro, estando su promedio en 276 UFC/100 mL. Sin embargo, en las estaciones TAC010 (ruta 30), TAC020 (ruta 5) y TAC030 (Ansina) se observaron puntualmente valores que no pueden asociarse a animales del entorno natural del ambiente, en particular en Ansina donde se registró un valor puntual muy elevado (10.000 UFC/100mL) (Figura 30).

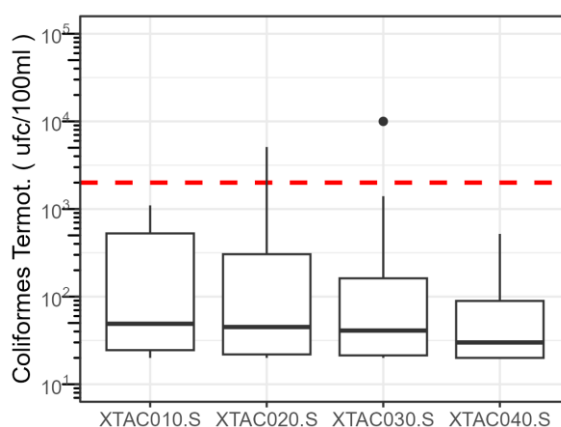


Figura 30. Distribución de los valores de coliformes termotolerantes en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor mínimo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua Clase 3).

La serie temporal muestra valores normales, exceptuando momentos en que los mismos tienen ciertos aumentos moderados, fundamentalmente en otoño 2019 e invierno 2020. En invierno de 2023 se observaron los mayores valores en TAC020 y TAC030 (Figura 31).

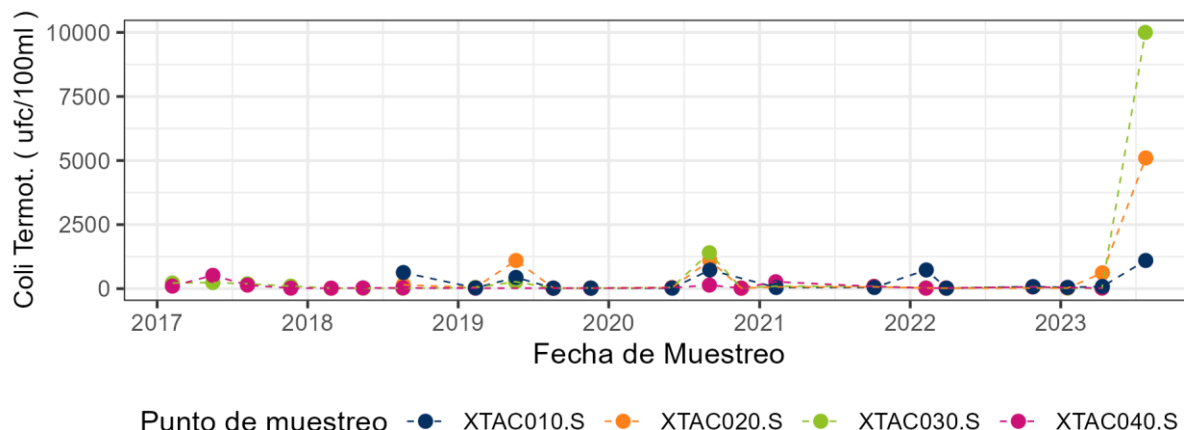


Figura 31. Serie temporal de la concentración de coliformes termotolerantes en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.1.2.11 Glifosato y AMPA

El glifosato (N-fosfonometilglicina) es un herbicida de amplio espectro que se emplea comúnmente en el proceso de preparación del campo antes de la siembra, para la “limpieza” del terreno, en la siembra directa (sin arado). Este herbicida es el más usado tanto a nivel nacional como a nivel mundial, debido a que existen varios cultivos modificados genéticamente que son resistentes al mismo. Dada la extensión de su uso, el mismo no ha estado exento de controversias relacionadas con la posibilidad que tenga efectos endócrinos o mutagénico, las que aún no están resueltas. Al día de hoy está clasificado dentro del grupo de agentes “probablemente carcinogénicos” al igual que las infusiones muy calientes o las frituras, entre muchos otros agentes, por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), organismo dependiente de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2024).

Es el herbicida de mayor uso en Uruguay, con volúmenes anuales de importación superiores a 7000 toneladas de ingrediente activo (MGAP, 2020), razón por la cual se incluyó en la lista de plaguicidas prioritarios para la gestión ambiental elaborada por el Ministerio de Ambiente (MA, 2021). Para aguas naturales, las recomendaciones nacionales proponen 65 µg/L de glifosato (GESTA-COTAMA, 2008). A nivel internacional, la guía para la protección de la vida acuática canadiense, propone valores de glifosato máximos en agua superficial de 800 µg/L para exposición crónica y de 27000 µg/L para exposición aguda (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2012).

En los programas de monitoreo de calidad de agua del MA se analizan tanto glifosato como AMPA (ácido aminometilfosfónico, principal producto de degradación del glifosato). Para este último compuesto, se ha sugerido un estándar de calidad de aguas superficiales de 1500 µg/L (Centro Suizo de Ecotoxicología Aplicada, 2013). La tabla 4 resume los resultados analíticos de estos compuestos en el río Tacuarembó. En el caso del glifosato, solamente pudo ser cuantificado en las estaciones XTAC010 (36,6 µg/L) y XTAC040 (0,31 µg/L) en una ocasión en cada sitio (el límite de cuantificación osciló 0,2 – 11 µg/L). Durante los restantes muestreos no fue detectado (el límite de detección osciló entre 0,4 – 4,5 µg/L). En el caso del AMPA, se cuantificó en uno de 9 muestreos en la estación XTAC020 (0,58 µg/L) y en dos de quince en la estación XTAC040 (0,68 y 0,98 µg/L).

Tabla 4. Resultados de los análisis de Glifosato y AMPA en muestras de agua en el río Tacuarembó. <LC: cantidad de muestras por debajo del límite de cuantificación; <LD: cantidad de muestras por debajo del límite de detección; Num: cantidad de muestras cuantificadas (es decir, por encima del límite de cuantificación); N: cantidad total de muestras; Num (%): porcentaje de muestras cuantificadas.

código	Glifosato (µg/L)					AMPA (µg/L)				
	<LC	<LD	Num	N	Num (%)	<LC	<LD	Num	N	Num (%)
XTAC010	1	10	1	12	8	1	7	0	8	0
XTAC020	2	10	0	12	0	0	8	1	9	11
XTAC030	3	10	0	13	0	1	8	0	9	0
XTAC040	3	16	1	20	5	3	10	2	15	13

3.2 Arroyo Tacuarembó Chico

El A° Tacuarembó Chico tiene sus nacientes en la Cuchilla de Haedo y desemboca en el río Tacuarembó, a aprox. 32 Km aguas abajo de Villa Ansina. En la figura 32 se puede observar el detalle de las estaciones de monitoreo. La primera estación de muestreo (XTAH004) se ubica aprox. a 25 Km aguas arriba de la ciudad de Tacuarembó, sobre el Paso del Médico, en un sitio netamente rural siendo un paso para tropas de ganado. Aproximadamente 9 Km aguas abajo se ubica la estación XTAH005 (P° de la laguna). Este sitio fue dado de baja en diciembre de 2021, junto con el alta del sitio ubicado aguas arriba por el que fue reemplazado, debido a que su ubicación en una zona de pajonales inundables determinaba condiciones ambientales que no representan cabalmente el curso de agua.

Aguas abajo, a la altura de la ruta 5, se encuentra el sitio de muestreo XTAH010. Esta estación se ubica sobre una planicie de inundación altamente degradada por la influencia urbana (alteración de la vegetación, presencia de basura). Debido a la difícil accesibilidad cuando el nivel del río es elevado esta estación fue dada de baja en 2019 y en su lugar se estableció la estación XTAH013, que se ubica sobre un parque suburbano a aprox. 4 Km aguas abajo del puente de la ruta 5 y a 700 metros aguas abajo de una cañada que descarga el efluente del frigorífico Tacuarembó. Finalmente, la estación más aguas abajo (P° de los novillos) se ubica a

57 Km de la estación anterior y a aprox. 25 Km aguas arriba de la desembocadura en el río Tacuarembó.

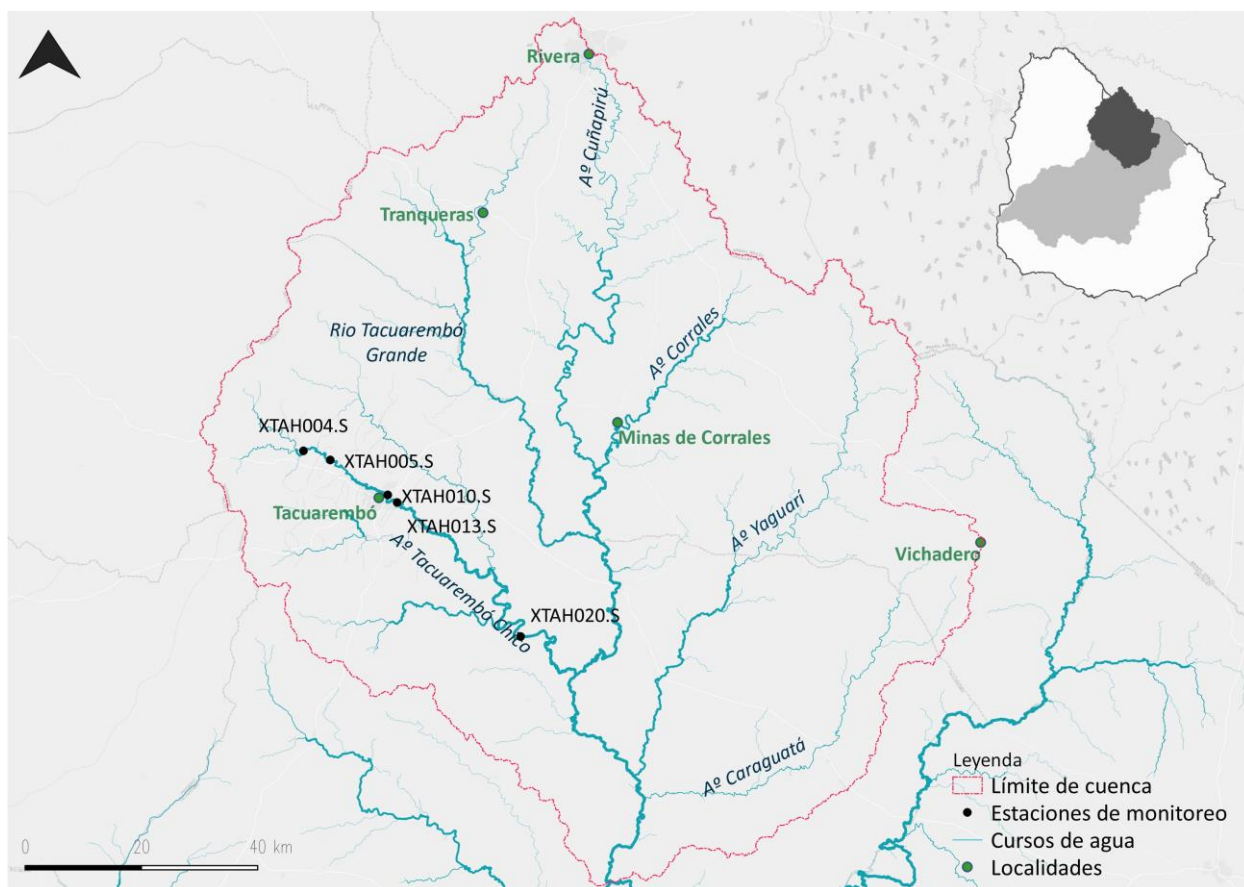


Figura 32. Cuenca del río Tacuarembó donde se destaca el arroyo Tacuarembó Chico y las estaciones de monitoreo en el mismo.

3.2.1 Parámetros de medición *in situ*

3.2.1.1 Temperatura

Al igual que en el curso principal, el A° Tacuarembó chico presentó marcadas variaciones estacionales, con un máximo de 32,9°C, un mínimo de 11,4°C y un promedio de 20,4°C. En la figura 33 se observa la distribución de las temperaturas en cada estación del año y en la figura 34 los ciclos anuales a lo largo de la serie de tiempo.

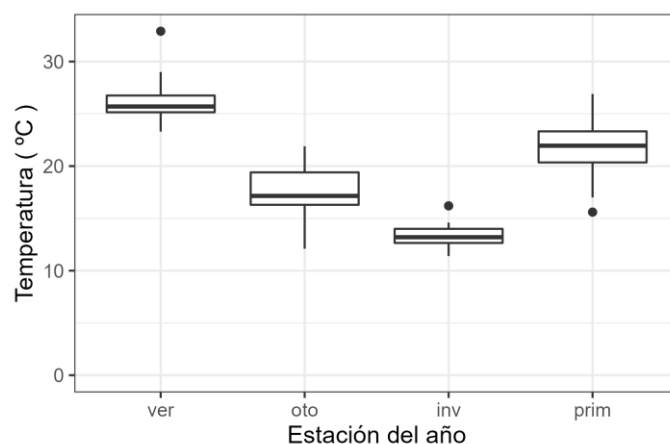


Figura 33. Variación estacional de la temperatura en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

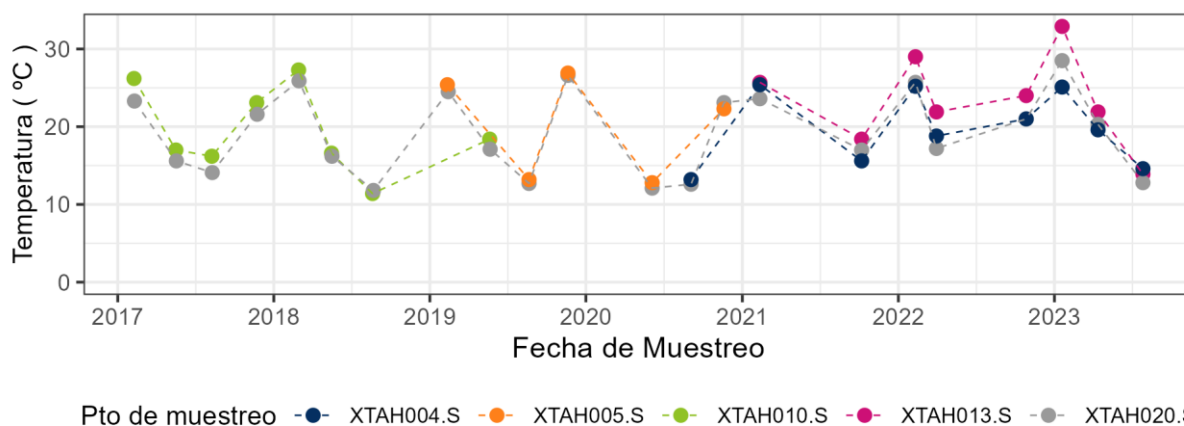


Figura 34. Serie temporal de la temperatura en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

3.2.1.2 Conductividad

La conductividad en el A° Tacuarembó Chico presentó un promedio general de 162 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la cual si se compara con la del río Tacuarembó resulta ser algo mayor al doble de la de este último (77,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Asimismo a diferencia que en el río Tacuarembó, la conductividad no presentó un incremento gradual a lo largo del curso sino que presentó incrementos y disminuciones, siendo la última estación (XTAH020 - P° de los novillos) la que presentó menor valor promedio (Figura 35). Por su parte la estación que presentó mayor valor de conductividad resultó ser XTAH005 (P° hondo). Se infiere que las características ambientales ya mencionadas para esta estación determinan que algunos parámetros entre los que se encuentra la conductividad presentan valores que difieren a los del curso, distorsionando la información del mismo. Por este motivo en 2021 se dejó de tomar muestras en esta estación.

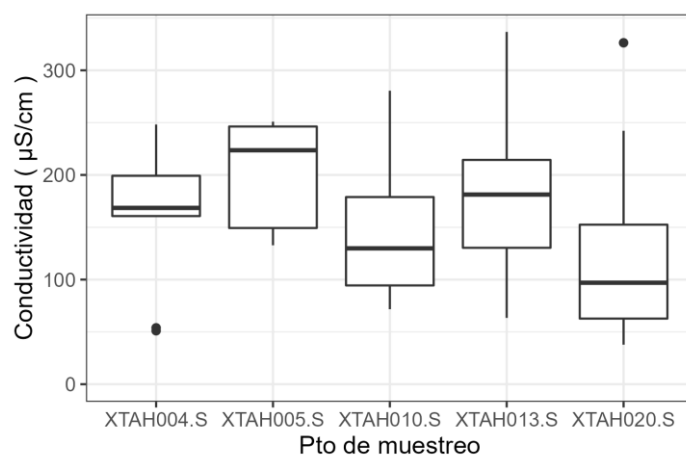


Figura 35. Distribución de los valores de conductividad en las estaciones de monitoreo del A° Tacuarembó Chico durante el periodo comprendido entre 2017 y 2023.

En la serie temporal, la conductividad presentó variaciones menores y no se observaron cambios estacionales a excepción de los veranos de 2018 y de 2022 cuando la misma fue claramente superior a los valores usuales (Figura 36). Por otra parte, se observa cierta tendencia de incremento de la conductividad en los monitoreos del verano.

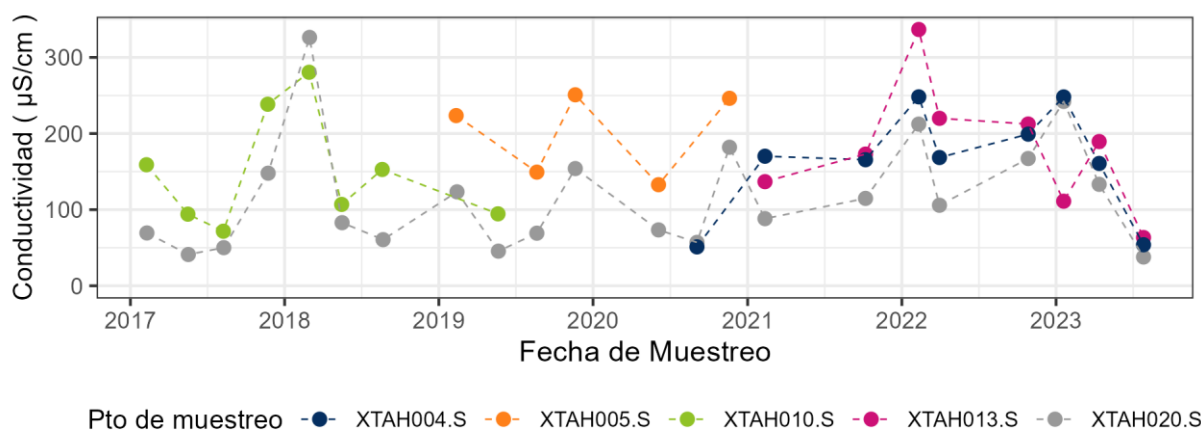


Figura 36. Serie temporal de la conductividad en el A° Tacuarembó Chico durante el periodo comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.2.1.3 pH

El valor promedio de pH para todo el período en el Tacuarembó Chico fue de 7,5, siendo el curso que presentó mayor promedio. No obstante, la diferencia con los restantes cursos de la cuenca fue escasa y la mayor parte de los registros se encontraron dentro del rango establecido por la normativa (Figura 37). La serie temporal de pH mostró escasa variabilidad, con excepción de valores más bajos en otoño y primavera de 2019, al igual que lo observado en el río Tacuarembó (Figura 38).

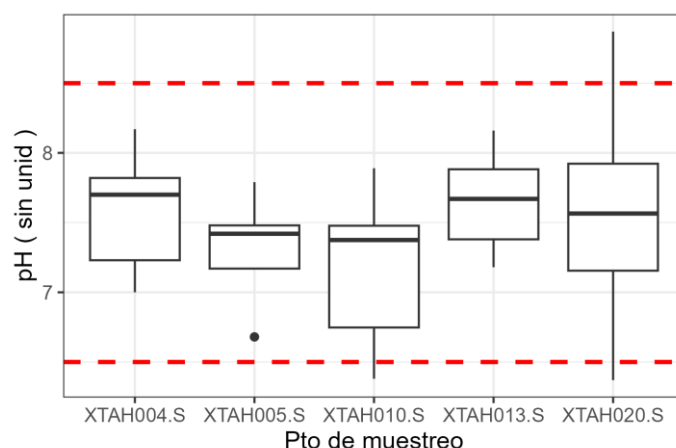


Figura 37. Distribución de los valores de pH en las estaciones de monitoreo del A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023. Las líneas discontinuas indican el máximo y mínimo en que dicho valor debe encontrarse, según la normativa (Decreto 253/79 para cuerpos de agua Clase 3).

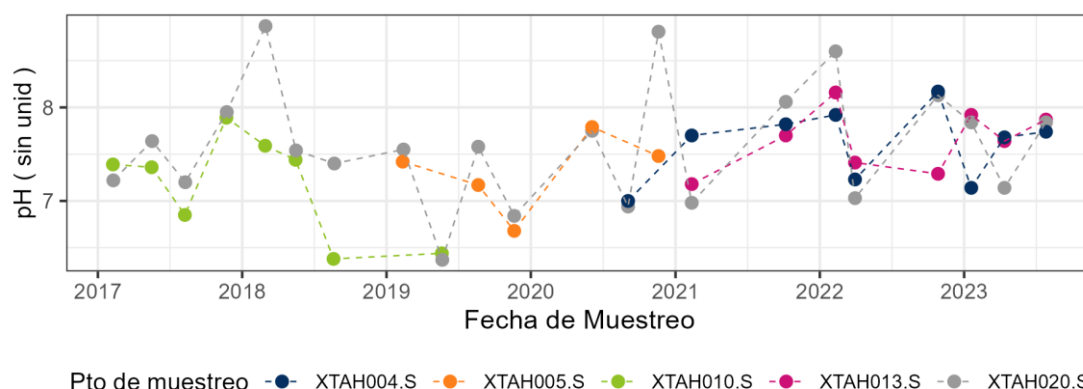


Figura 38. Serie temporal del pH en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.2.1.4 Oxígeno disuelto

En el arroyo Tacuarembó Chico los valores de oxígeno disuelto estuvieron por encima del mínimo establecido en la norma en prácticamente todo momento, excepto un caso en la estación ubicada bajo el puente de la ruta 5 (XTAH010) en la cual se registraron 4,2 mg/L en una ocasión. El promedio general de todas las estaciones fue de 8,1 mg/L y la estación con mayor valor promedio (9,2 mg/L) fue la ubicada más aguas abajo (XTAH020 – P° de los novillos). Las estaciones XTAH005 y XTAH013 presentaron valores más bajos de los esperables, denotando algún tipo de afectación puntual (Figura 39).

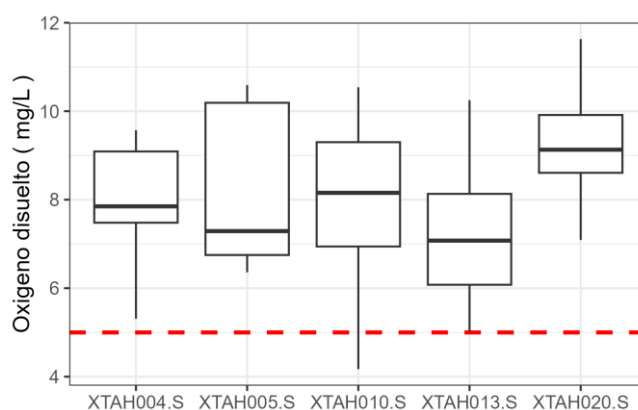


Figura 39. Distribución de los valores de oxígeno disuelto en las estaciones de monitoreo del A° Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor mínimo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua Clase 3).

La serie temporal muestra la variación estacional relacionada con la temperatura, donde los máximos generalmente se observan en los meses más fríos y los mínimos en los cálidos (Figura 40).

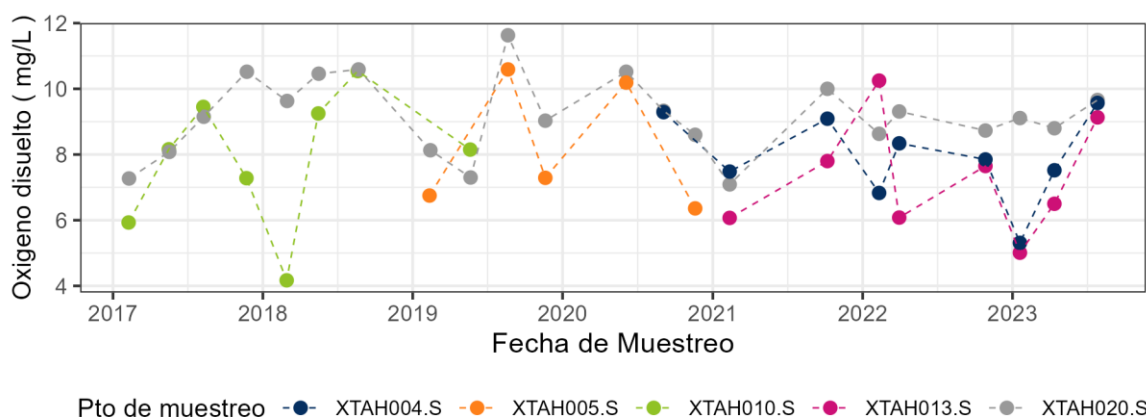


Figura 40. Serie temporal del oxígeno disuelto en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.2.2 Resultados analíticos

3.2.2.1 Alcalinidad

La alcalinidad en el arroyo Tacuarembó Chico presentó un promedio de 87 mg CaCO_3/L . En comparación con la alcalinidad del río Tacuarembó, resultó notoriamente mayor. Asimismo, existieron diferencias entre las estaciones, habiendo estado los promedios entre 60 mg CaCO_3/L en la estación XTAH020 y 112 mg CaCO_3/L en la estación XTAH005.

3.2.2.2 Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales (SST) presentaron una concentración promedio de 23,6 mg/L. Sin embargo, si no se tiene en cuenta la estación XTAH013 (Pque. Batlle), este promedio bajó a 13,6 mg/L, ya que esta estación presentó un promedio de 63,4 mg/L, siendo el mismo de 4 a 7 veces superior que las restantes estaciones. Más allá de la excepcionalidad de los valores

registrados en la estación XTAH013, la estación XTAH010 (ruta 5) presentó valores relativamente mayores a las que se ubican aguas arriba así como a la última estación del curso (Figura 41).

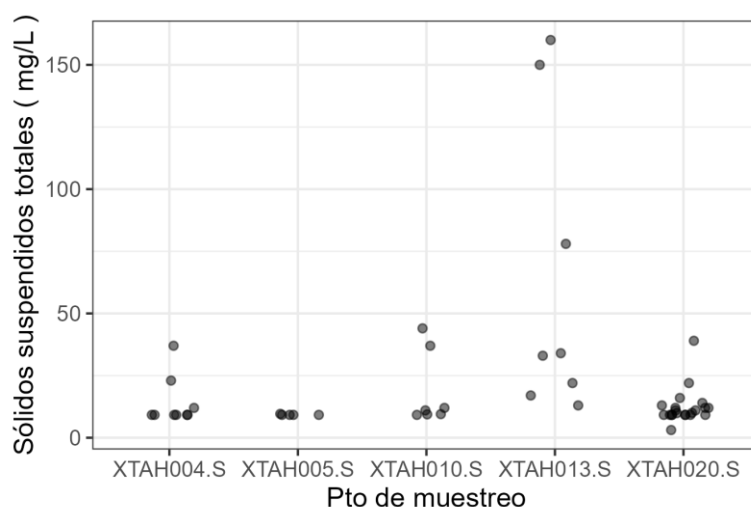


Figura 41. Distribución de los valores de SST en las estaciones de monitoreo del río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

La serie temporal de datos en tanto presentó valores relativamente constantes en el entorno de 13 mg/L en todas las estaciones, exceptuando la XTAH013 (Figura 42). En dicha estación además de presentar registros en su mayoría superiores a la media del curso, se obtuvieron en dos ocasiones valores iguales o superiores incluso al máximo permitido para efluentes que vierten a curso de agua (150 mg/L).

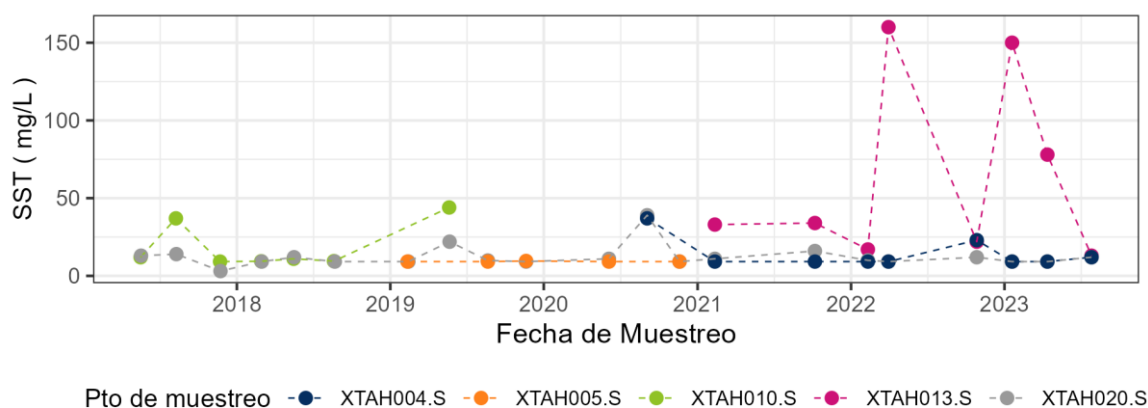


Figura 42. Serie temporal de sólidos suspendidos totales en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.2.2.3 Demanda biológica de oxígeno (DBO₅)

La DBO₅ en el arroyo Tacuarembó Chico presentó un promedio general de 3,1 mg/L, la cual en relación al río Tacuarembó es un 50% mayor. A lo largo del curso los valores se incrementan, pero hacia el final del mismo se observa una recuperación (Figura 41). La estación que presentó menor valor promedio (1,8 mg/L) fue la ubicada más arriba en el curso (XTAH004, P° del médico) y la que presentó mayor valor absoluto (5,4 mg/L) fue la estación ubicada aguas abajo

de la ciudad y de la descarga del frigorífico (XTACH013, Pque. Batlle), en la cual incluso se registró un valor superior al establecido en la norma (Figura 43).

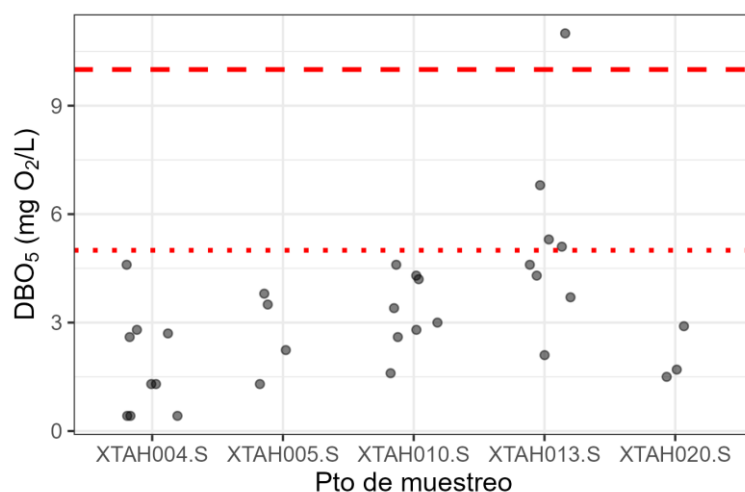


Figura 43. Distribución de los valores de DBO5 en las estaciones de monitoreo del A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor máximo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua clase 3) mientras que la línea punteada indica el valor del objetivo de calidad según el GESTA (2014)..

La serie temporal es incompleta en todas las estaciones, pero igualmente se observan fluctuaciones dentro de las mismas, aunque no denotan un comportamiento estacional (Figura 44).

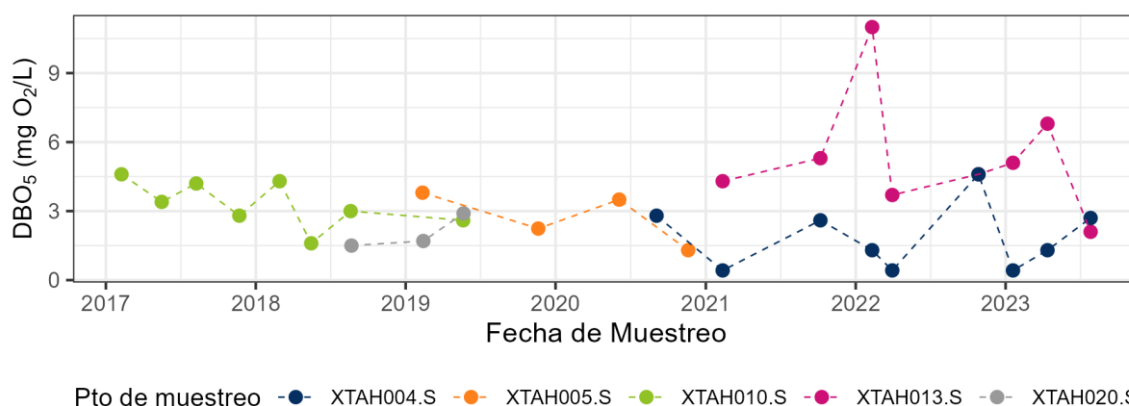


Figura 44. Serie temporal de la DBO5 en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.2.2.4 Fósforo total

La concentración promedio general del fósforo total (PT) en el arroyo Tacuarembó Chico (204 µg/L) resultó ser el doble que la del río Tacuarembó, lo que se encuentra por encima de la norma (25 µg/L). Pero si no se tiene en cuenta la estación XTAH013 (Pque. Batlle) este valor desciende a la mitad (111,5 µg/L), ya que el promedio de dicha estación fue de 573,8 µg/L. A lo largo del curso se observó una tendencia de incremento, con excepción de la estación XTAH004 (por debajo del resto) y de la ya mencionada estación XTAH013 (muy por encima del resto) (Figura 45).

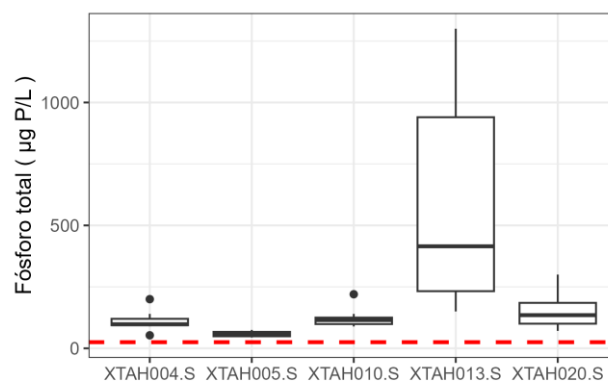


Figura 45. Distribución de los valores de PT en las estaciones de monitoreo del A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor mínimo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua clase 3).

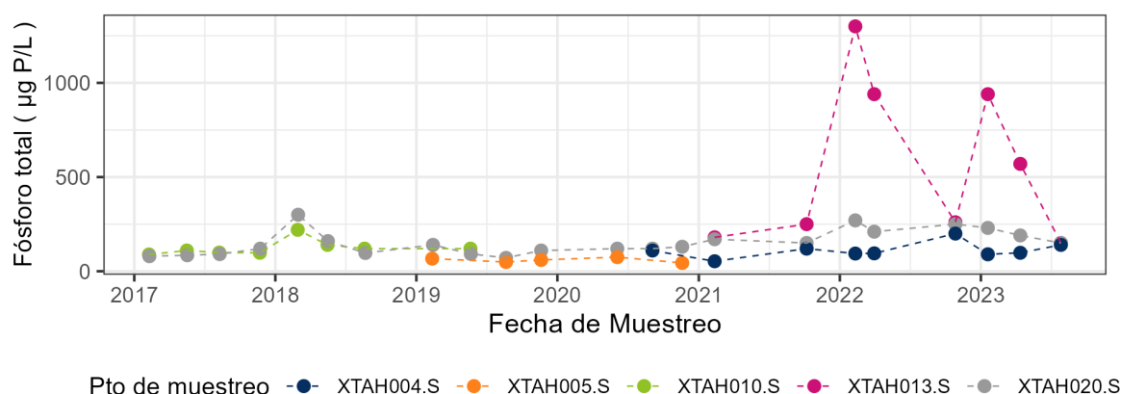


Figura 46. Serie temporal de la concentración de PT en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

La serie temporal muestra valores que normalmente se encontraron en un rango entre 90 y 125 µg/L, con excepción de la estación XTAH013, cuyos mínimos, pero fundamentalmente los máximos fueron muy superiores a este rango, llegando a los 1300 µg/L. Asimismo se observa una tendencia de incremento en la estación XTAH020 (aguas abajo de XTAH013) a partir de 2022, en particular junto con los picos registrados en XTAH013 (Figura 46).

3.2.2.5 Fosfato

El fosfato (PO_4^-) mostró un comportamiento similar al fósforo total: al excluir la estación XTAC013 el promedio arrojó un valor de 57,9 µg/L pero si se la incluye el promedio aumentó a 131,6 µg/L. El promedio de dicha estación fue de 426,6 µg/L, con un máximo de 1.100 µg/L. Aguas arriba de dicha estación los valores promedio no llegaron a 50 µg/L, pero la última estación del curso, aguas abajo de la estación XTAC013 fue de 103,4 µg/L (Figura 47).

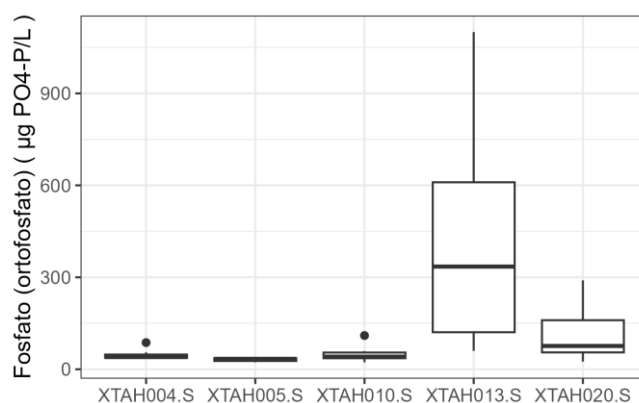


Figura 47. Distribución de los valores de PO4- en las estaciones de monitoreo del A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

La serie temporal mostró también un comportamiento muy similar al del PT, habiendo presentado escasas variaciones a lo largo del tiempo, con excepción de la estación XTACH013. En este caso también se observó un incremento en la estación XTAH020 a partir de 2022 (Figura 48).

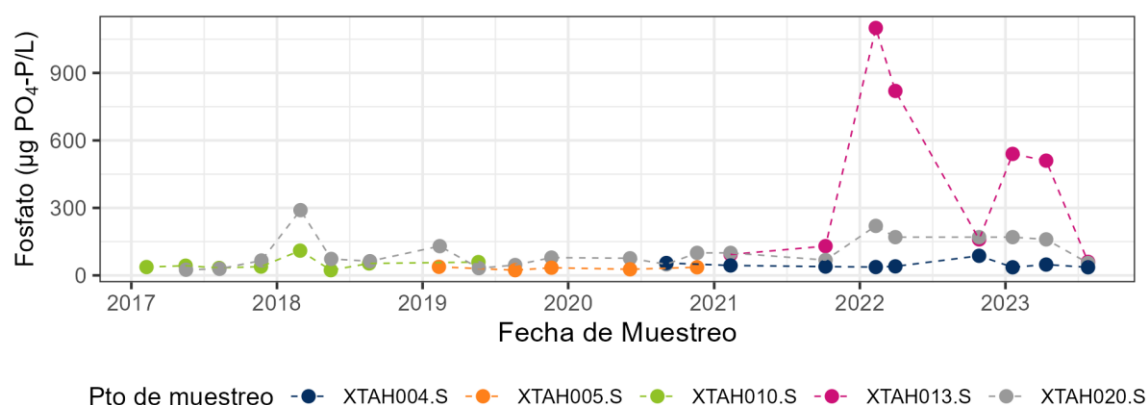


Figura 48. Serie temporal de la concentración de PO4- en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.2.2.6 Nitrógeno total

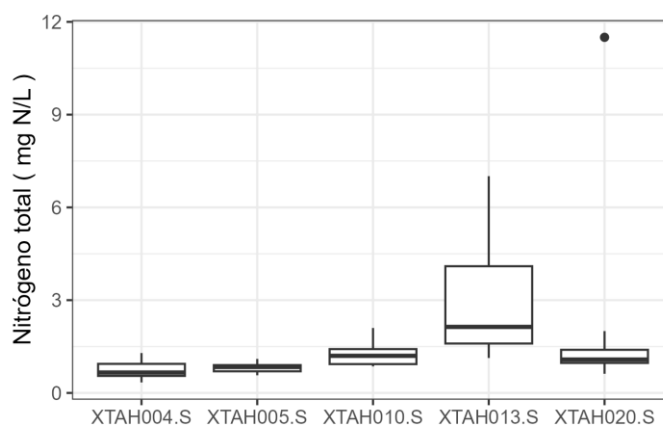


Figura 49. Distribución de los valores de NT en las estaciones de monitoreo del A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

El valor promedio de nitrógeno total (NT) en el arroyo Tacuarembó Chico fue 1,5 mg/L, un 50% superior del promedio registrado en el río Tacuarembó Grande. Para este parámetro nuevamente el sitio XTAH013 presentó un promedio que superó el doble del de los restantes sitios. Con la excepción de este sitio, el comportamiento del NT presentó una tendencia a incrementarse gradualmente a lo largo del curso (Figura 49).

A lo largo del período los valores de NT mostraron ciertas variaciones. La única estación para la cual la serie temporal es completa es la estación XTAH020, la última estación del curso. Esta estación presentó un pico en 2018 cuyo valor no es esperable, por lo que en esta evaluación el mismo es interpretado como contaminación de la muestra o un error analítico. No obstante, a partir de 2022 la mayor parte de los valores de NT de este sitio fueron más elevados que los anteriores a ese año. En las restantes estaciones no se observaron tendencias, pero la estación XTAH013 mostró una gran variabilidad, junto con los mayores valores registrados en el curso (Figura 50).

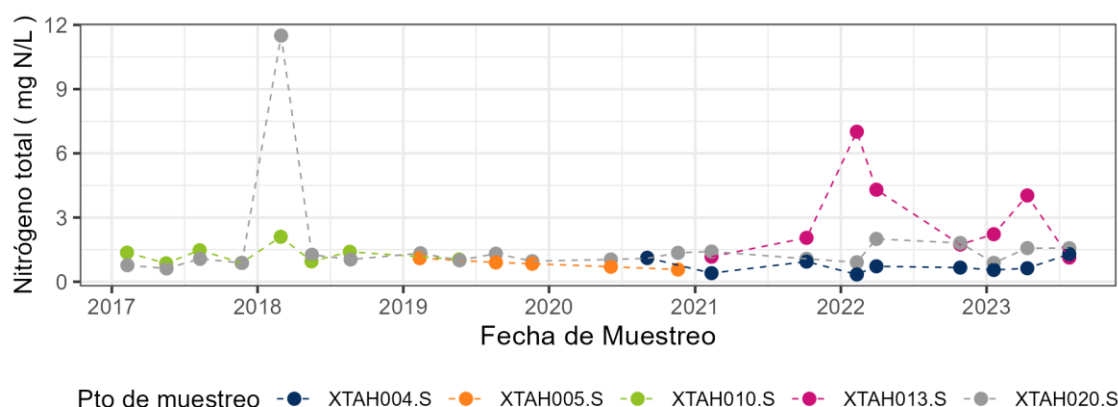


Figura 50. Serie temporal de la concentración de NT en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.2.2.7 Nitrato

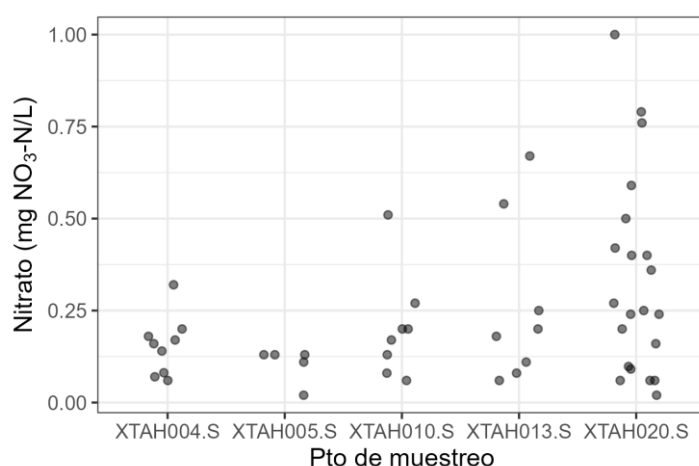


Figura 51. Distribución de los valores de nitrato en las estaciones de monitoreo del arroyo Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

El promedio general del nitrato (NO_3^-) fue de 0,2 mg/L, siendo éste un valor algo superior al del río Tacuarembó (0,16 mg/L). A diferencia de los demás compuestos del nitrógeno y también del fósforo, el sitio XTAH013 en este caso no se destacó con valores superiores a los restantes sitios. En este caso la estación XTAH020 presentó el mayor valor promedio (0,33 mg/L) y máximos (Figura 51).

La serie temporal mostró para la mayoría de las estaciones de monitoreo una importante variabilidad entre muestreos aunque no se observa una tendencia clara (Figura 52). No obstante, en la estación XTAH020 se observa una tendencia de incremento en los valores máximos a lo largo del tiempo.

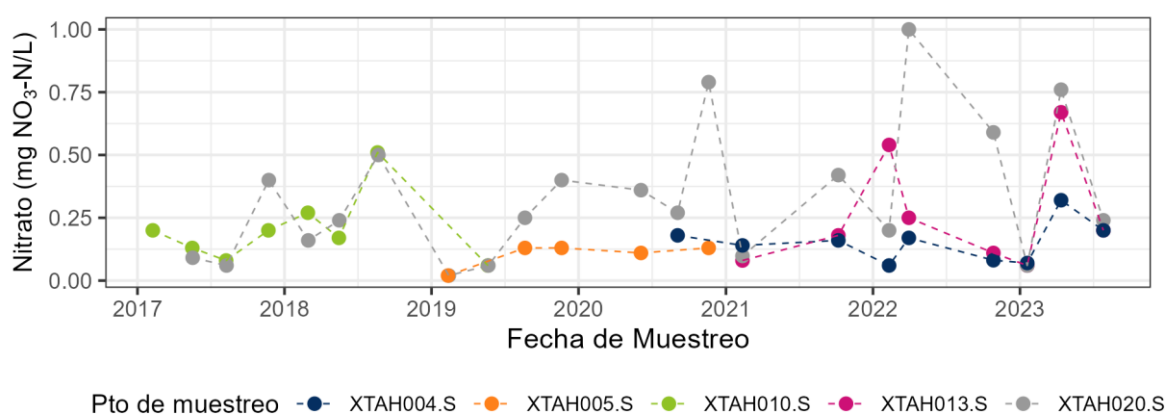


Figura 52. Serie temporal de la concentración de nitrato en el arroyo Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.2.2.8 Nitrógeno amoniacal

En el caso del nitrógeno amoniacal (NH_4^+) el promedio general en el arroyo Tacuarembó Chico fue de 0,5 mg/L, nuevamente, un valor elevado a causa de los valores registrados en el sitio XTAH013. Si no se tiene en cuenta esta estación, el promedio pasa a ser 0,1 mg/L, un valor similar al registrado en el río Tacuarembó Grande. Los valores registrados en la estación XTAH013 además de ser sumamente elevados en relación a las restantes estaciones, sobrepasaron en su gran mayoría tanto al límite establecido en el Decreto 253/79 para la preservación de la vida en un curso de agua de 0,02 mg/L de amoníaco libre (único sitio que superó el límite en toda la cuenca) como así también el nivel guía del GESTA-agua de nitrógeno amoniacal de 0,5 mg/L (Figura 53).

La serie temporal de nitrógeno amoniacal mostró valores que en su mayoría no superaron los 0,1 mg/L en todas las estaciones, exceptuando la estación XTAH013. Esta última desde su inicio siempre mostró valores más elevados, alcanzando registros superiores en uno y hasta dos

órdenes de magnitud por encima de los registros de las restantes estaciones (Figura 54). Estos valores suponen además un notorio incumplimiento de la normativa.

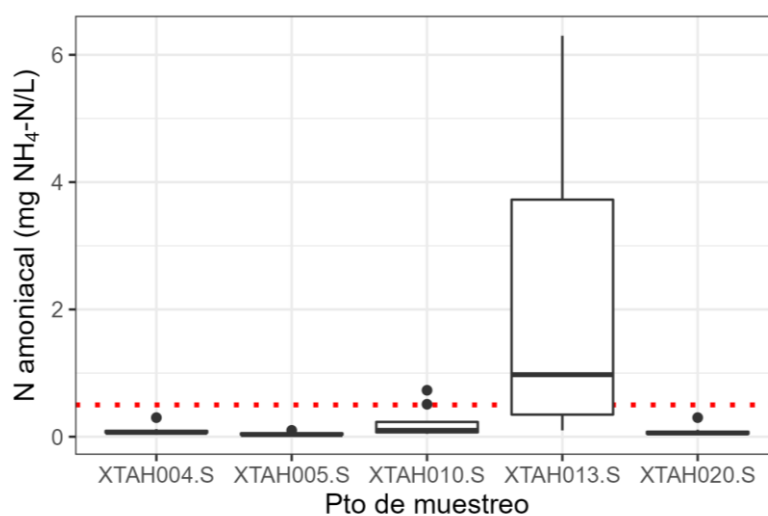


Figura 53. Distribución de los valores de nitrógeno amoniacal en las estaciones de monitoreo del A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea punteada indica el valor del objetivo de calidad según el GESTA (2014).

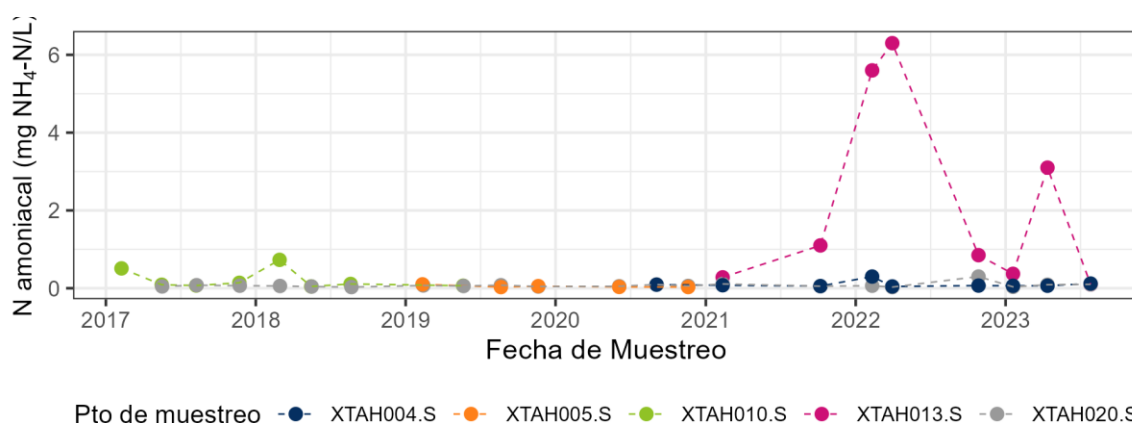


Figura 54. Serie temporal de la concentración de nitrógeno amoniacal en el río Tacuarembó durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.2.2.9 Clorofila-a

Los valores de clorofila-a en el arroyo Tacuarembó Chico -exceptuando la estación XTAH013- resultaron similares a los del río Tacuarembó, con un promedio de 1,9 mg/L. Sin embargo, si se tiene en cuenta la estación XTAH013 este valor alcanza los 6,5 mg/L debido a que el promedio de dicha estación resultó ser 24,9 mg/L, lo cual es un valor muy alto para un cuerpo en el cual el agua fluye (Figura 55).

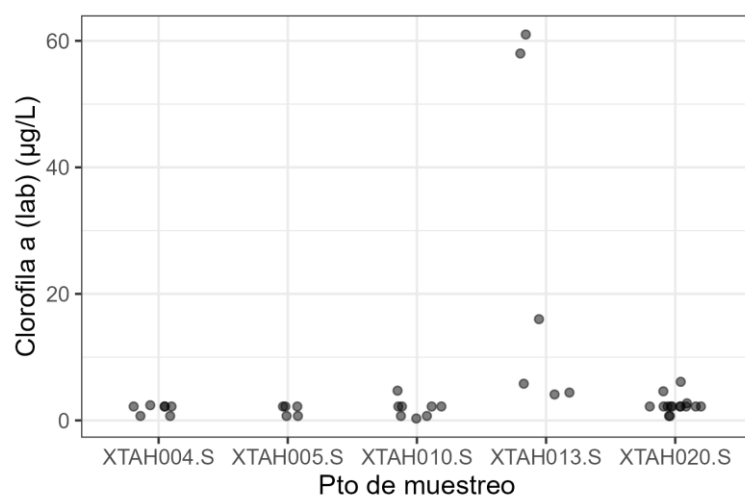


Figura 55. Distribución de los valores de clorofila-a en las estaciones de monitoreo del A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

En cuanto a la serie temporal, ésta mostró valores esperables para las restantes estaciones, no observándose gran variabilidad. Nuevamente se aprecia que la estación XTAH013 alcanza valores no habituales para un sistema lótico (aguas corrientes) (Figura 56).

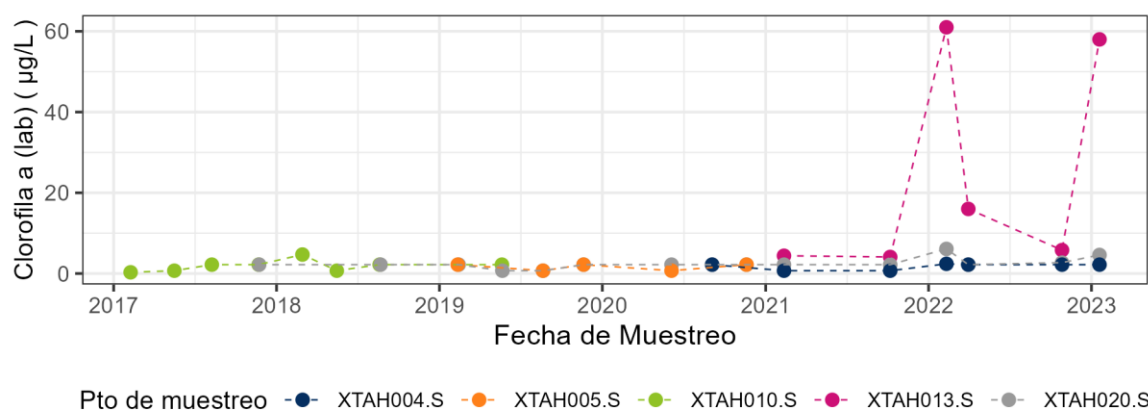


Figura 56. Serie temporal de la concentración de clorofila-a en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.2.2.10 Coliformes termotolerantes

La concentración de coliformes termotolerantes a lo largo del arroyo Tacuarembó Chico resultó muy variada (Figura 57), por lo que el promedio global (1316 UFC/100mL) resulta poco informativo. Los menores valores se registraron en la estación ubicada más aguas abajo (XTAH020) y en la estación aguas arriba (XTAH005 - P° hondo); la primera con un promedio de 304 UFC/100mL y la segunda con 35 UFC/100mL. La estación que presentó mayor valor promedio fue la XTAH010, ubicada abajo del puente de la ruta 5 en la ciudad de Tacuarembó (4203 UFC/100mL), la cual excede el límite impuesto por la normativa para un curso de agua clase 3.

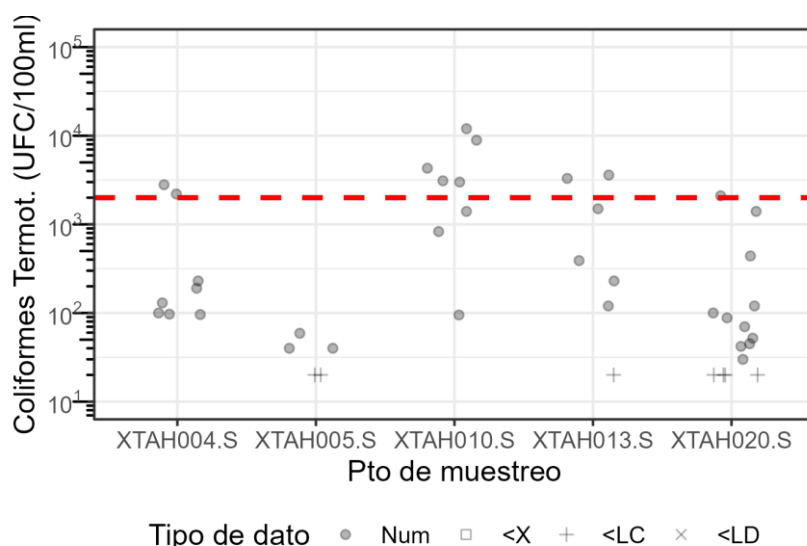


Figura 57. Distribución de los valores de coliformes termotolerantes en las estaciones de monitoreo del A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor máximo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79 para un cuerpo de agua Clase 3).

La serie temporal en tanto muestra la predominancia de muy elevados valores de coliformes termotolerantes en la estación XTAH010 durante la mayor parte del período en que fue operativa. Por otra parte, la importante presencia aunque en forma puntual de estos microorganismos en la estación ubicada más aguas arriba (P° del médico) denota la existencia de una fuente que puntualmente afecta este sitio, siendo que durante la mayor parte del tiempo los valores son bajos. La estación XTAH013 presentó valores elevados con relativa frecuencia, en tanto que la estación siguiente (XTAH020) muestra valores mayoritariamente bajos, lo que muestra la recuperación del curso de agua en este parámetro (Figura 58).

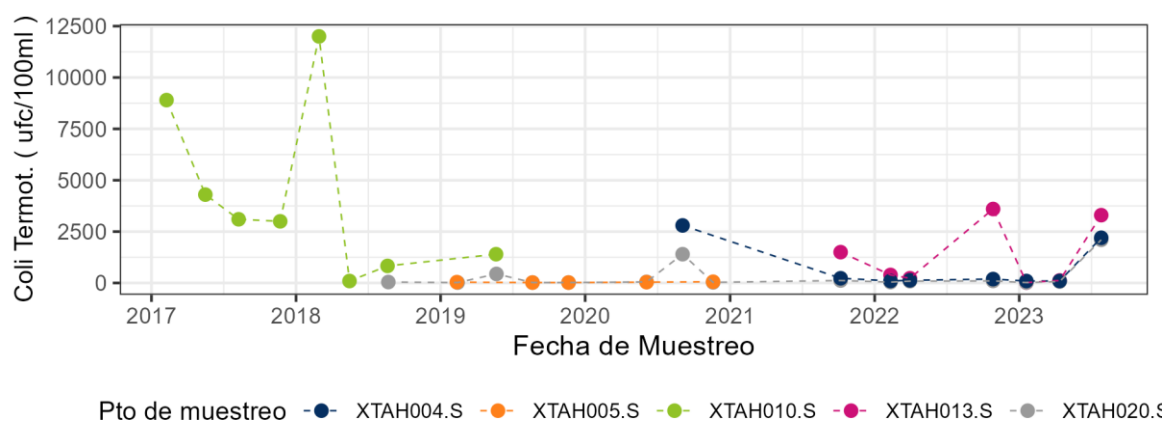


Figura 58. Serie temporal de la concentración de coliformes termotolerantes en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.2.2.11 Glifosato y AMPA

La tabla 5 resume los resultados obtenidos para el glifosato y el AMPA en agua en el arroyo Tacuarembó Chico. El glifosato solamente se cuantificó una única vez, en la estación XTAH020

(0,28 µg/L) de un total de 15 muestreos. En otras ocasiones se detectó su presencia, pero por debajo del límite de cuantificación (0,2 – 7 µg/L) y en la estación XTAH005 nunca fue detectado. En el caso del AMPA, en ninguna ocasión pudo ser cuantificado, habiéndose detectado únicamente en la estación XTAH004 (en uno de cuatro muestreos) y en la estación XTAH020 (en cinco de quince ocasiones). Considerando los límites de la técnica analítica, la concentración de AMPA en estos casos se encontró entre 0,25 – 0,5 µg/L.

Tabla 5. Resultados de los análisis de Glifosato y AMPA en muestras de agua en el arroyo Tacuarembó Chico. <LD: cantidad de muestras por debajo del límite de detección; Num: cantidad de muestras cuantificadas (es decir, por encima del límite de cuantificación); N: cantidad total de muestras; Num (%): porcentaje de muestras cuantificadas.

código	Glifosato (µg/L)					AMPA (µg/L)				
	<LC	<LD	Num	N	Num (%)	<LC	<LD	Num	N	Num (%)
XTAH004	2	6	0	8	0	1	3	0	4	0
XTAH005	0	4	0	4	0	0	4	0	4	0
XTAH010	1	1	0	2	0	0	2	0	2	0
XTAH013	1	6	0	7	0	0	3	0	3	0
XTAH020	3	16	1	20	5	5	10	0	15	0

3.3 Arroyo Cuñapirú

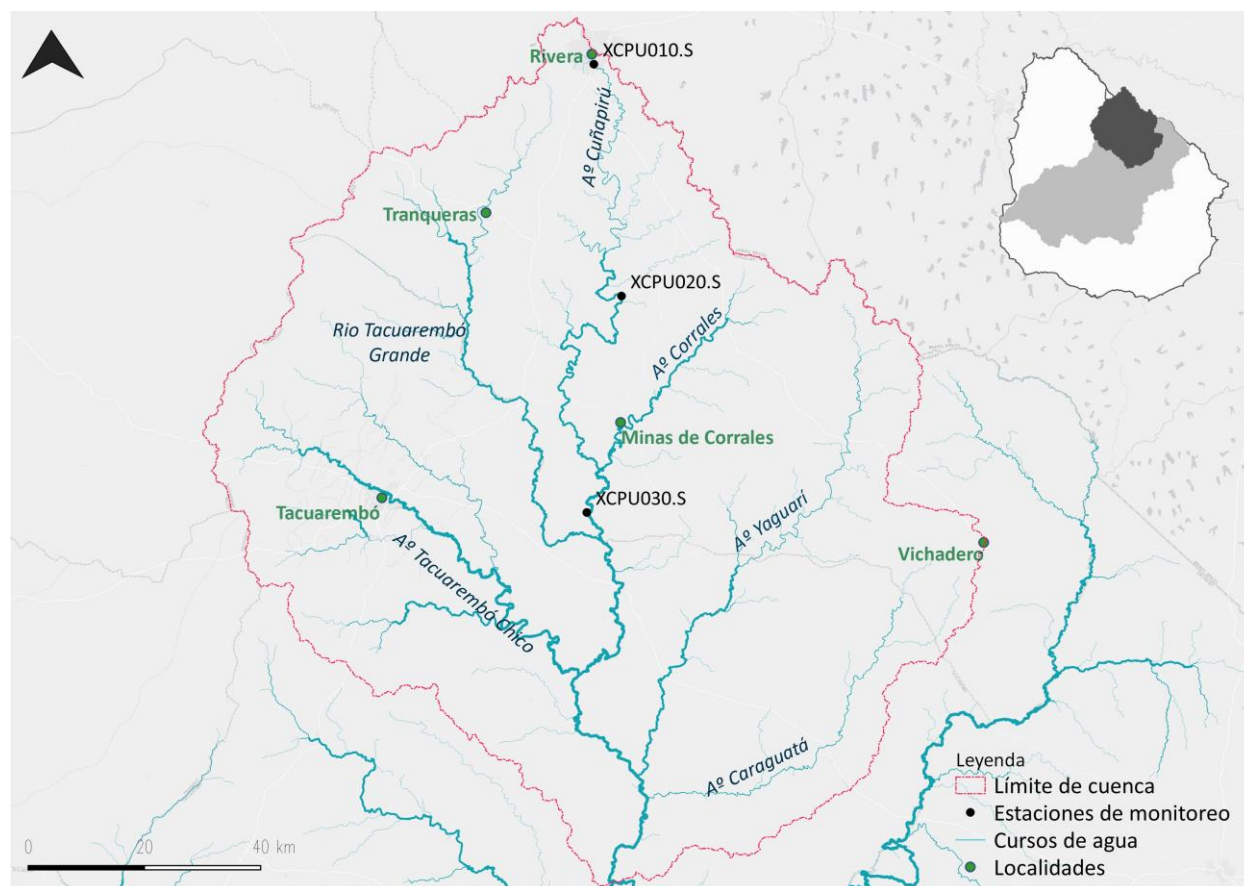


Figura 59. Cuenca del río Tacuarembó donde se destaca el arroyo Cuñapirú y las estaciones de monitoreo en el mismo.

El arroyo Cuñapirú nace en la Cuchilla Negra, a escasos kilómetros de la ciudad de Rivera. En sus nacientes se encuentra embalsado para proveer de agua potable a la ciudad, la cual bordea por el oeste atravesando algunos barrios periféricos. En la figura 59 se detallan las estaciones de monitoreo de este curso de agua. La primera estación de muestreo se ubica sobre un puente que permite el acceso al shopping de Rivera y al barrio Manduví (XCPU010), siendo un sitio inmerso en un área suburbana de importante crecimiento. El siguiente sitio (XCPU020) se ubica sobre un camino departamental (P° de la calera), ubicado aprox. a 75 Km aguas abajo del anterior. El tramo entre ambos puntos se caracteriza por atravesar una de las regiones de mayor densidad de cultivos forestales del país. El siguiente punto (XPU030) también se ubica a aprox. 75 Km aguas abajo del anterior, sobre un camino departamental (camino al P° de Rogelio) y se lo conoce como Paso de Cunha. Este sitio se encuentra en una zona rural y aislada, aunque se encuentra a aprox. 28 Km aguas abajo de la localidad Minas de Corrales, con la cual está conectado a través del arroyo Corrales. A 8 Km más abajo desemboca en el río Tacuarembó Grande, a aprox. 14 km aguas arriba de la estación XTAC030.

3.3.1 Parámetros de medición *in situ*

3.3.1.1 Temperatura

Al igual que en el río Tacuarembó, el A° Cuñapirú presentó marcadas variaciones estacionales, con máximas en el entorno de los 30°C y mínimas en el entorno de 10°C, en tanto que el promedio se ubicó en 19,1°C. La figura 60 muestra la distribución de las temperaturas en cada estación del año y la figura 61 los ciclos anuales a lo largo de la serie de tiempo.

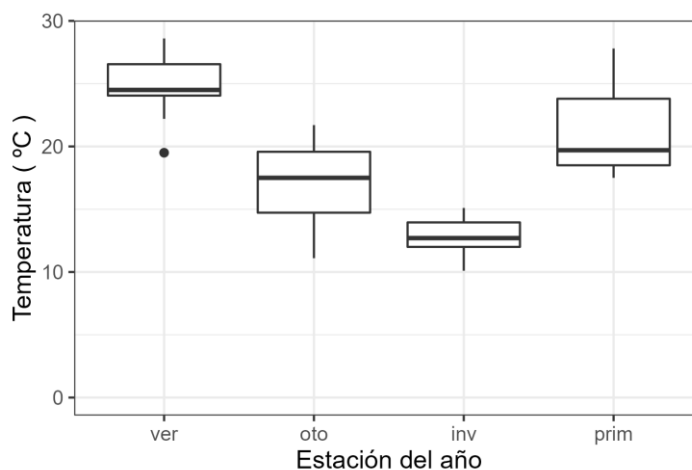


Figura 60. Variación estacional de la temperatura en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

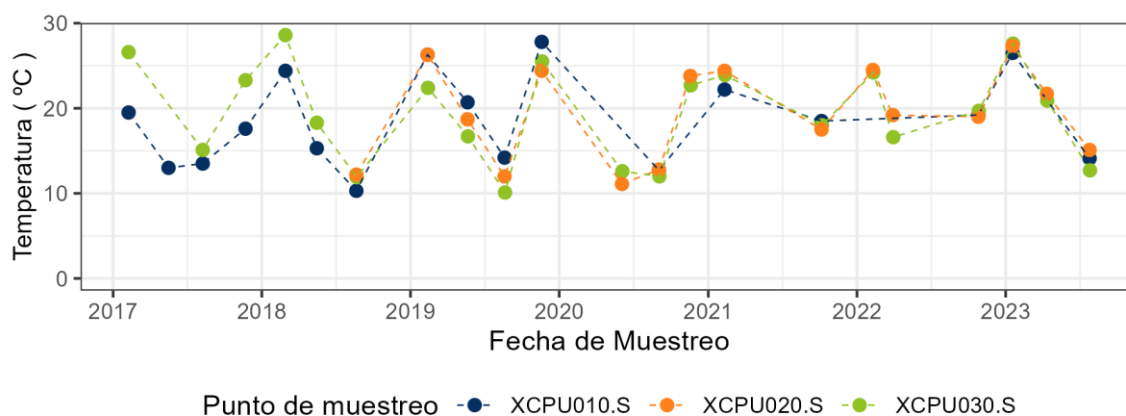


Figura 61. Serie temporal de la temperatura en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

3.3.1.2 Conductividad

La conductividad en el A° Cuñapirú presentó un valor promedio de 88,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Pero el comportamiento de este parámetro presentó variaciones importantes entre las estaciones de muestreo (Figura 62). La estación ubicada más aguas arriba, sobre la ciudad de Rivera (XCPU010) fue la que presentó mayor conductividad (115,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$) así como mayor variabilidad (mín. 63,9 y máx. 273,9), la estación siguiente (XCPU020) presentó la menor conductividad (64,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$), en tanto que la estación ubicada más aguas abajo (XCPU030) valores intermedios (84,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La serie temporal no muestra cambios a lo largo del período más allá de las variaciones entre muestreos, destacándose algunos picos de la estación XCPU010, dos de los cuales superaron los 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 63).

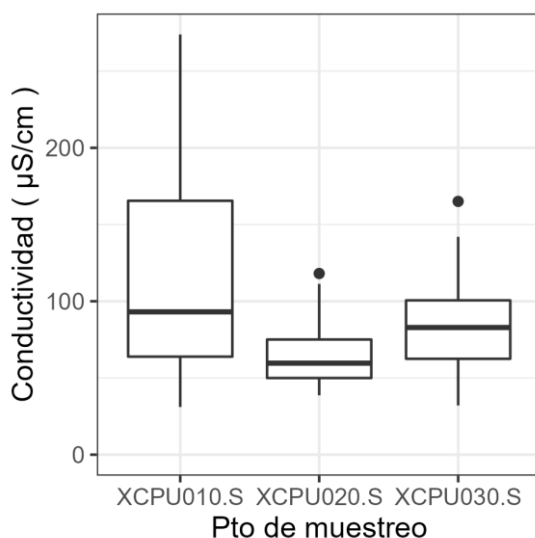


Figura 62. Distribución de los valores de conductividad en las estaciones de monitoreo del A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

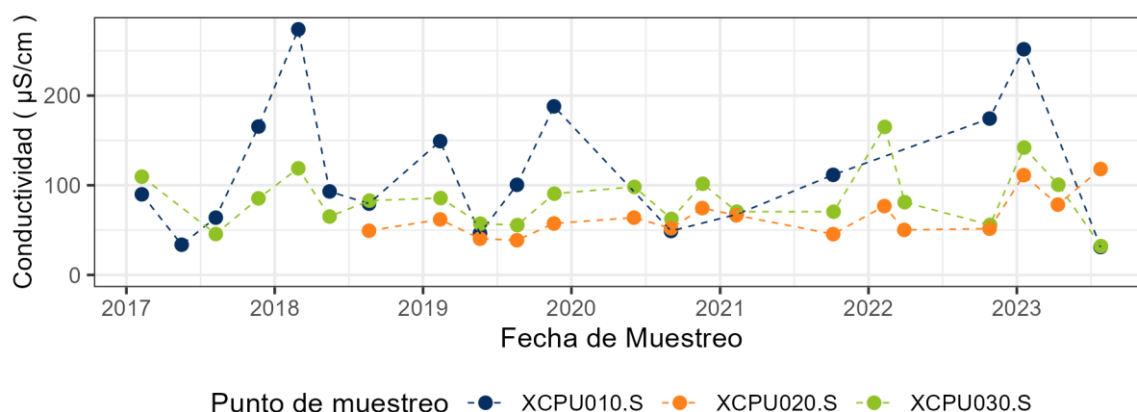


Figura 63. Serie temporal de la conductividad en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.3.1.3 pH

El valor promedio de pH para todo el período en el A° Cuñapirú fue de 7,2, mismo valor que el río Tacuarembó y similar al del resto de los cursos de la cuenca. Se observó una tendencia de incremento del pH a lo largo del curso (Figura 64). La serie temporal de pH mostró cierta variabilidad, siendo la estación ubicada en la ciudad la que presentó en general menores valores e incluso el menor valor absoluto, siendo éste de 5,3 (Figura 65).

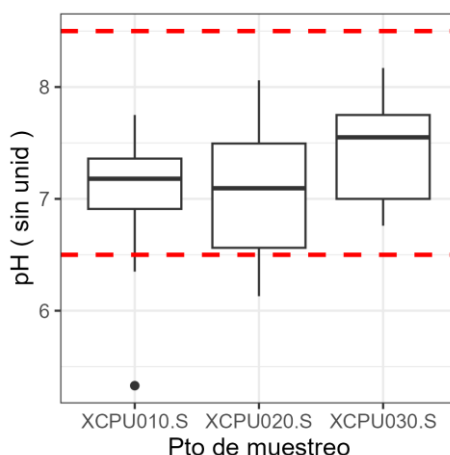


Figura 64. Distribución de los valores de pH en las estaciones de monitoreo del A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023. Las líneas discontinuas indican el máximo y mínimo en que dicho valor debe encontrarse, según la normativa (Decreto 253/79 para un cuerpo de agua Clase 3).

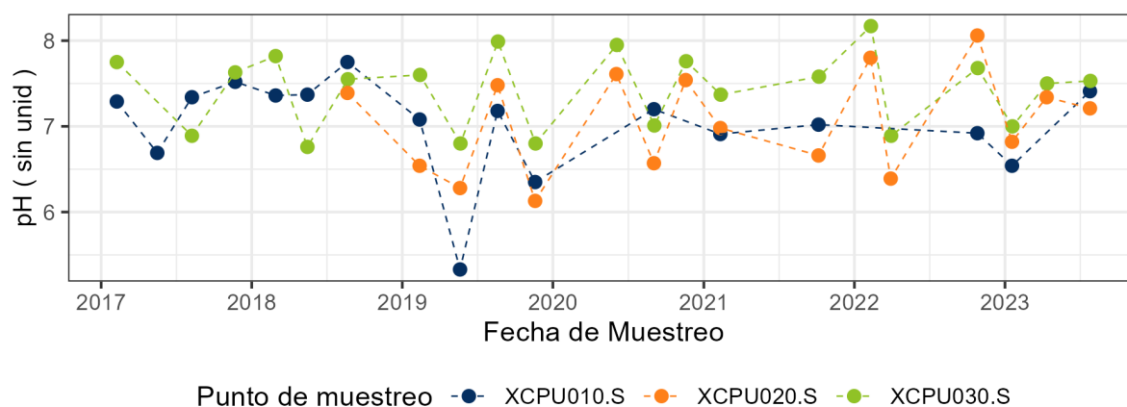


Figura 65. Serie temporal del pH en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.3.1.4 Oxígeno disuelto

El valor promedio general del oxígeno disuelto en todo el arroyo fue de 8,3 mg/L, siendo el promedio menor el de la estación ubicada en la ciudad (7,8 mg/L) y el mayor en la última estación (8,7 mg/L). Asimismo en la estación ubicada en la ciudad se registraron los menores valores de oxígeno (Figura 66).

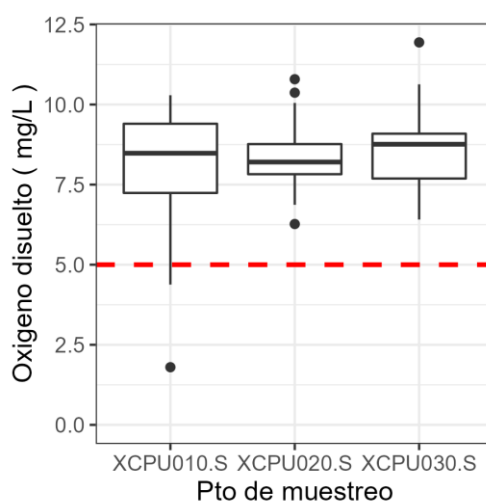


Figura 66. Distribución de los valores de oxígeno disuelto en las estaciones de monitoreo del A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor mínimo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua Clase 3).

A lo largo del tiempo la concentración de oxígeno mostró variaciones estacionales siguiendo el efecto de la temperatura del agua. En la serie temporal también se mostró la estación ubicada sobre la ciudad de Rivera como la que normalmente presentó los menores valores de este parámetro (Figura 67).

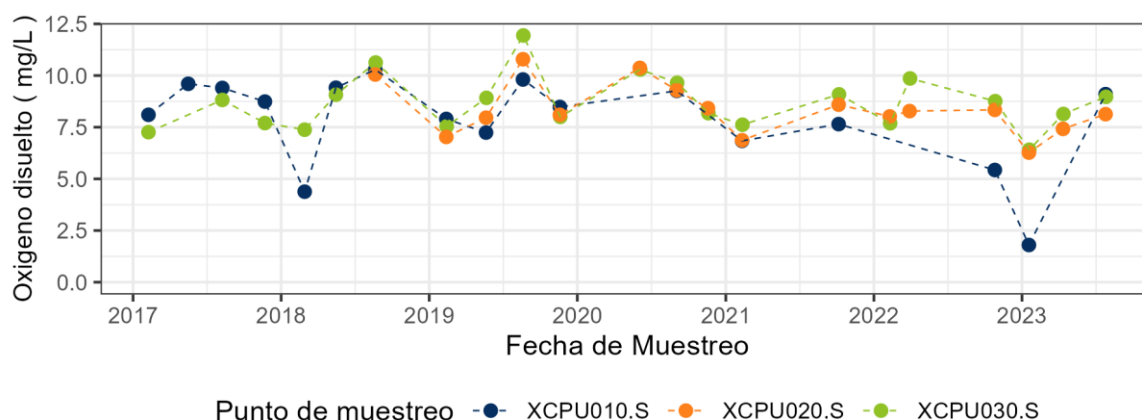


Figura 67. Serie temporal del oxígeno disuelto en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.3.2 Resultados analíticos

3.3.2.1 Alcalinidad

La alcalinidad en el arroyo Cuñapirú presentó un promedio de 37 mg CaCO_3/L , igual valor que el registrado en el río Tacuarembó. A diferencia de éste, el cual mostró una tendencia de incremento desde las nacientes hacia la desembocadura, en el A° Cuñapirú la alcalinidad presentó un promedio máximo en las nacientes (47,9 mg), un promedio mínimo hacia el tramo medio (25,2 mg) y nuevamente un incremento hacia la desembocadura (37,9 mg).

3.3.2.2 Sólidos suspendidos totales

La concentración promedio de SST de todas las estaciones fue de 17,3 mg/L, siendo el menor promedio el registrado en la estación del tramo medio (13,4 mg/L) y el mayor en la estación aguas abajo (20,5 mg/L) (Figura 68). Estos valores son similares a los encontrados en las estaciones de otros cursos de agua.

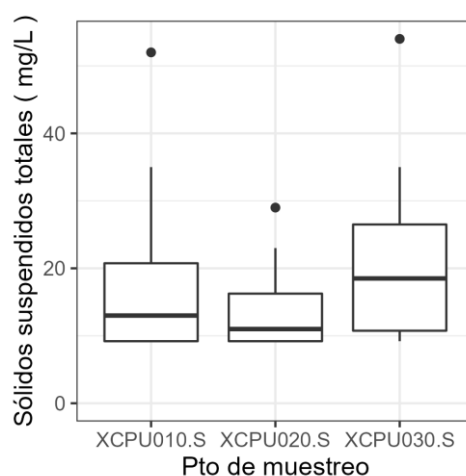


Figura 68. Distribución de los valores de SST en las estaciones de monitoreo del A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

La serie temporal no muestra tendencias a lo largo de la misma (Figura 69). No obstante, se puede observar que tanto la primera como la última estación presentan máximos recurrentes por ejemplo, por encima de 30 mg/L.

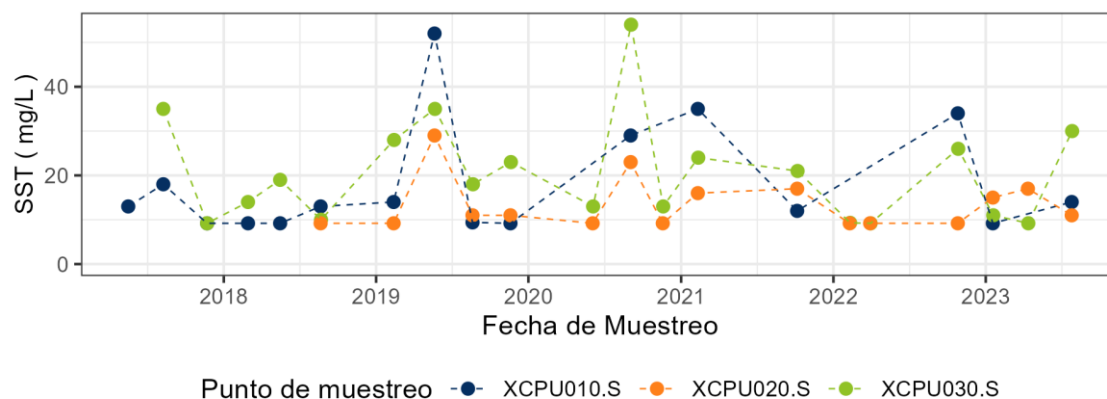


Figura 69. Serie temporal de sólidos suspendidos totales en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.3.2.3 Demanda biológica de oxígeno (DBO₅)

La DBO₅ en el arroyo Cuñapirú presentó un promedio general de 3,2 mg/L, la cual es similar a la del arroyo Tacuarembó Chico. Pero al igual que éste, la DBO₅, varía según el sitio, siendo mayor en la estación XCPU010 ubicada en Rivera (promedio de 4,1 mg/L), cayendo a 1,8 mg/L en el tramo medio (XCPU020) y volviendo a incrementarse hacia el final (XCPU030), cuando ha recibido la descarga del A° Corrales (3,7 mg/L) (Figura 70).

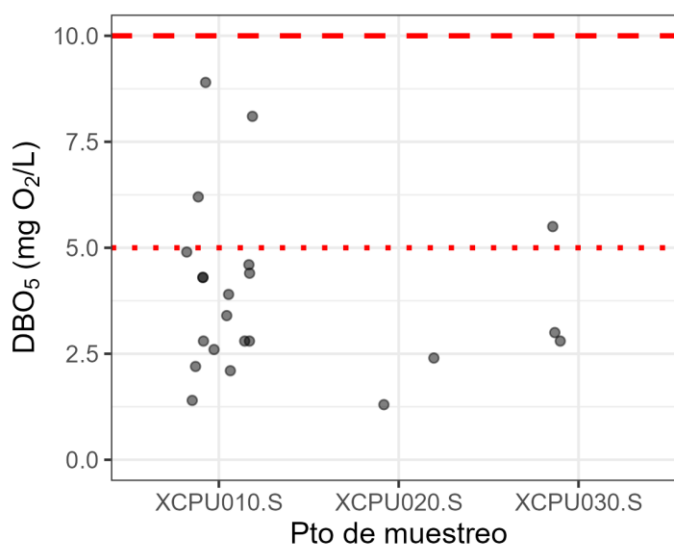


Figura 70. Distribución de los valores de DBO₅ en las estaciones de monitoreo del A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor máximo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua clase 3) y la línea punteada indica el objetivo de calidad según el GESTA (2014).

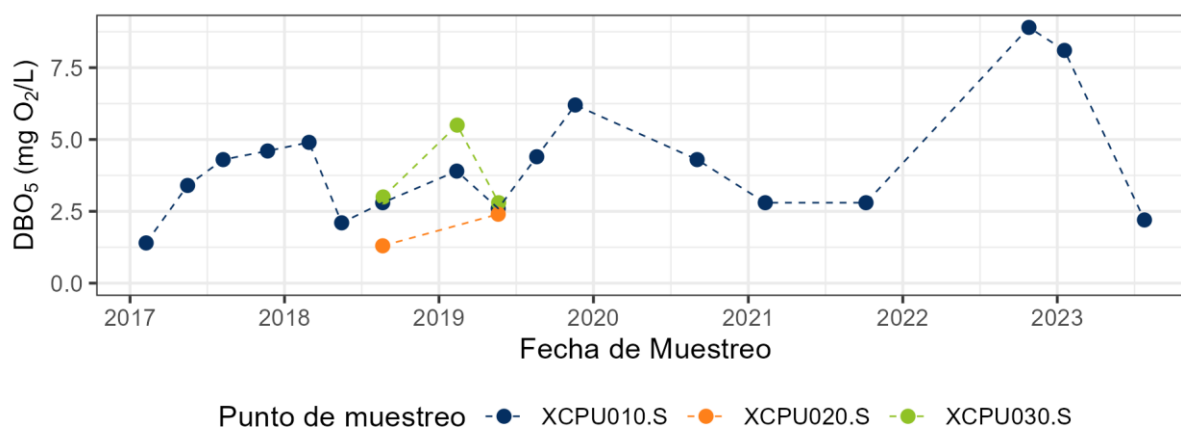


Figura 71. Serie temporal de la DBO5 en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

La serie temporal de este parámetro es poco informativa para las estaciones del tramo medio y bajo dada la escasez de datos. No obstante, para la estación de cabecera se cuenta con la serie completa, la cual muestra una gran variación en un rango que llega hasta 8,9 mg/L (Figura 71).

3.3.2.4 Fósforo total

La concentración promedio general del fósforo total (PT) en el arroyo Cuñapirú fue de 145 µg/L, un 45% superior a la del río Tacuarembó. Los valores de concentración para este parámetro también varían según el tramo, siendo mayor sobre la ciudad (XCPU010, 180 µg/L) y menor en el último (XCPU030, 111 µg/L) (Figura 72). Cabe señalar que en todos los sitios los valores se encontraron encima de la norma (25 µg/L).

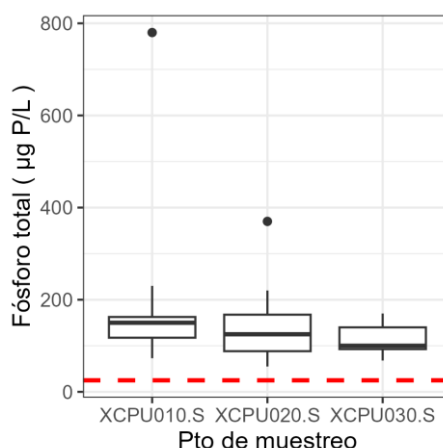


Figura 72. Distribución de los valores de PT en las estaciones de monitoreo del A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor máximo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua clase 3).

La serie temporal muestra valores que normalmente se encontraron en un rango entre 100 y 200 µg/L, aunque la estación ubicada sobre la ciudad siempre presentó valores algo superiores, así como un máximo en verano de 2023 sumamente elevado (Figura 73).

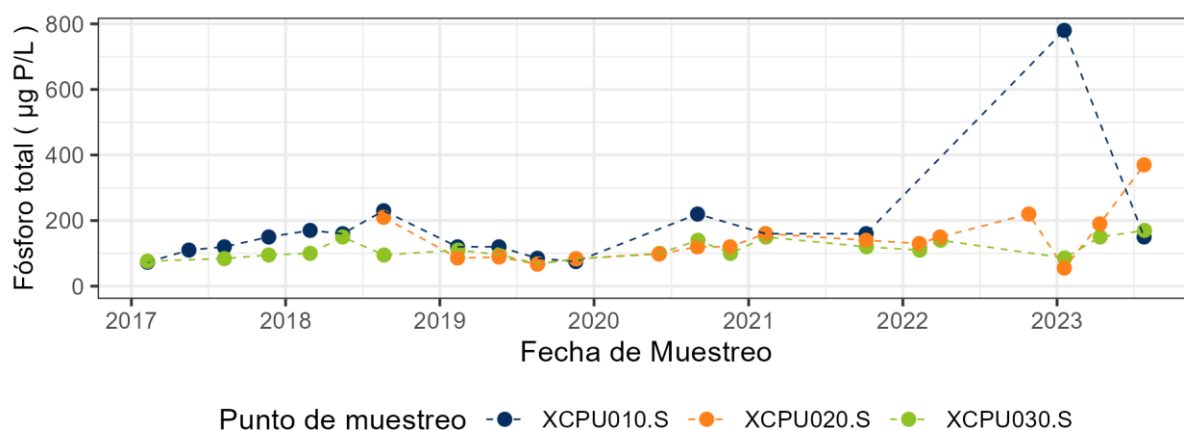


Figura 73. Serie temporal de la concentración de PT en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.3.2.5 Fosfato

El promedio general de concentración de fosfato (PO_4^-) fue de 37,4 $\mu\text{g/L}$ siendo la primera estación la que presentó el promedio mayor (74,9 $\mu\text{g/L}$) en tanto que en las siguientes los promedios rondaron los 55 $\mu\text{g/L}$ (Figura 74). La estación ubicada sobre la ciudad además de haber presentado valores en general algo mayores, registró un máximo de 380 $\mu\text{g/L}$, siendo este uno de los mayores valores registrados en la cuenca del río Tacuarembó, únicamente superado por valores registrados en la estación ubicada inmediatamente aguas abajo de la ciudad de Tacuarembó, en el A° Tacuarembó Chico (XTAH013).

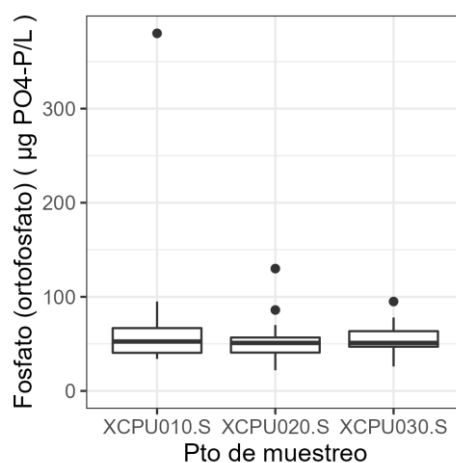


Figura 74. Distribución de los valores de PO_4^- en las estaciones de monitoreo del A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

La serie temporal presentó un comportamiento muy similar que el PT, habiendo presentado escasas variaciones a lo largo del tiempo, con excepción de la estación ubicada sobre la ciudad (XCPU010) la cual al igual que para el PT presentó un valor excepcional en el muestreo de verano de 2023 (Figura 75).

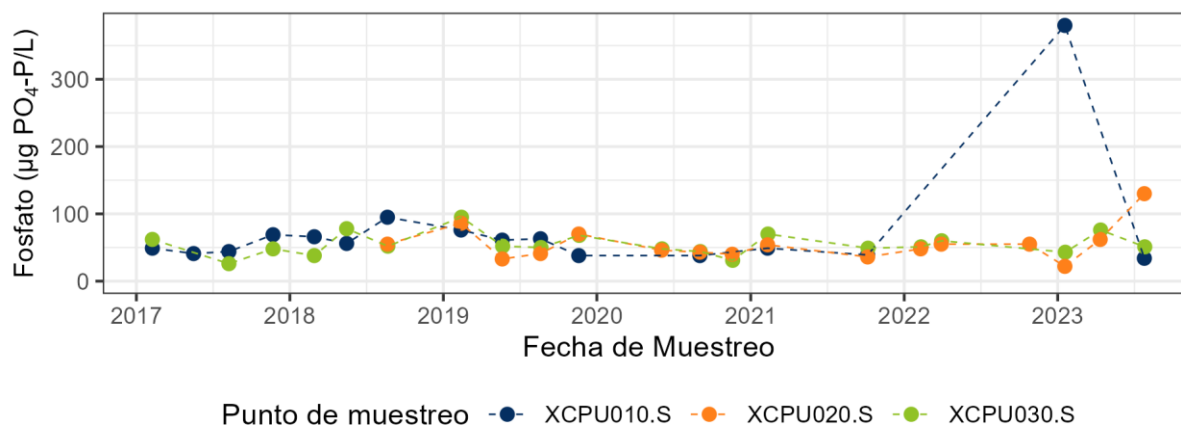


Figura 74. Serie temporal de la concentración de PO_4 - en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.3.2.6 Nitrógeno total

El valor promedio de nitrógeno total (NT) en el arroyo Cuñapirú fue 1,6 mg/L, siendo al igual que en el A° Tacuarembó Chico un 50% superior del promedio registrado en el río Tacuarembó Grande. Nuevamente la estación ubicada sobre la ciudad de Rivera mostró el mayor valor promedio (1,9 mg/L), aunque la diferencia con las siguientes estaciones no fue tan contrastante (1,5 y 1,3 mg/L para las estaciones siguientes) (Figura 76). Por otra parte, llama la atención la presencia de un único valor, extremo, en la estación del tramo medio (XCPU020).

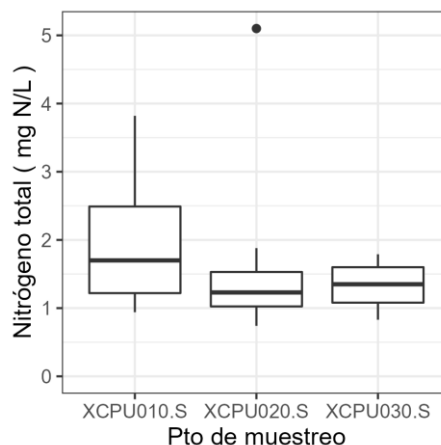


Figura 75. Distribución de los valores de NT en las estaciones de monitoreo del A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

A lo largo del período no se observan tendencias en ninguna de las estaciones, aunque sí se detectaron con frecuencia valores muy elevados en la estación ubicada frente a la ciudad (Figura 77). En la serie se puede observar que el valor extremo detectado en la estación del tramo medio (XCPU020) ocurrió en el muestreo de invierno de 2023, no habiéndose detectado dicha anomalía en otros parámetros para ese sitio -excepto otras formas nitrogenadas-.

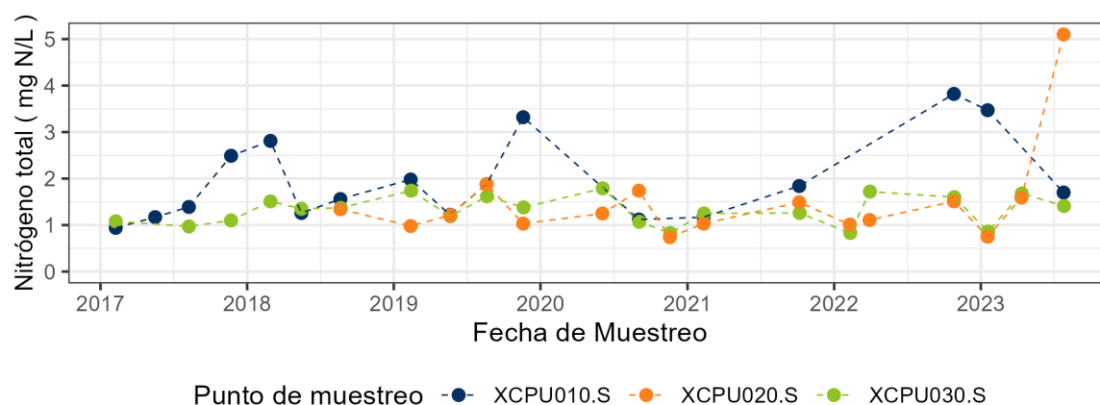


Figura 76. Serie temporal de la concentración de NT en el A° Tacuarembó Chico durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.3.2.7 Nitrato

El promedio general del nitrato (NO_3^-) fue de 0,37 mg/L, un valor bastante superior al del río Tacuarembó (0,16 mg/L). El promedio más alto se registró, nuevamente, en la estación del tramo superior (XCPU010, 0,44 mg/L) y el más bajo en la estación del tramo inferior (CPU030, 0,55 mg/L) (Figura 77).

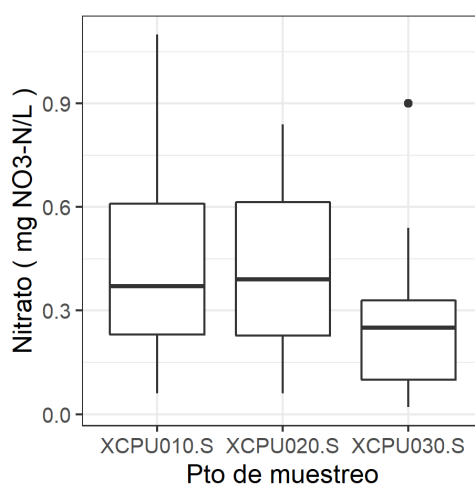


Figura 77. Distribución de los valores de nitrato en las estaciones de monitoreo del arroyo Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

En cuanto a la serie temporal, ésta mostró para la mayoría de las estaciones de monitoreo una importante variabilidad entre muestreos, habiéndose presentado picos en todas las estaciones, aunque sin observarse una tendencia (Figura 78).

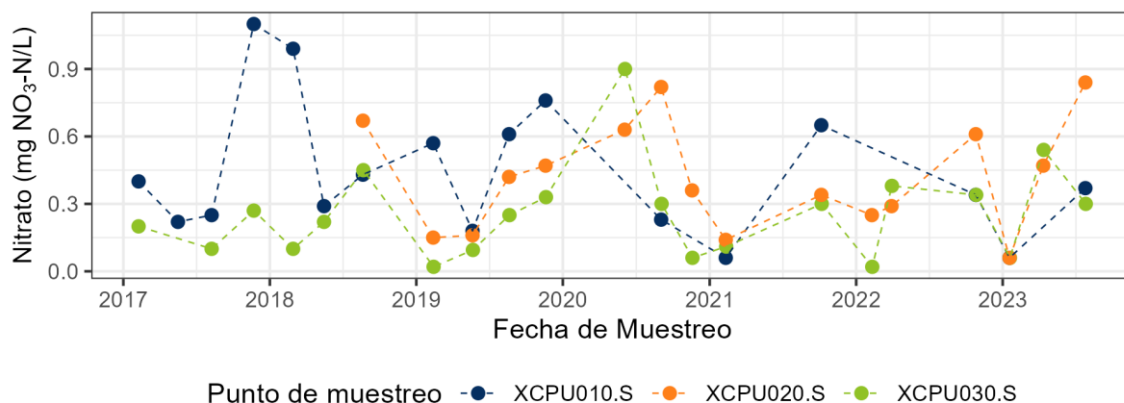


Figura 78. Serie temporal de la concentración de nitrato en el arroyo Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.3.2.8 Nitrógeno amoniacal

En el caso del nitrógeno amoniacal (NH₄⁺) el promedio general fue de 0,4 mg/L, un valor elevado respecto al curso principal de la cuenca (0,07 mg/L). Si se observan los promedios por tramo del curso, éstos presentan una tendencia a disminuir a lo largo del mismo, donde la estación frente a la ciudad presentó un promedio de 0,7 mg/L, pasando a 0,3 mg/L en la estación del tramo medio y finalmente en 0,07 mg/L en la última estación. La primera estación así como la segunda por otra parte mostraron valores puntuales muy elevados (Figura 79).

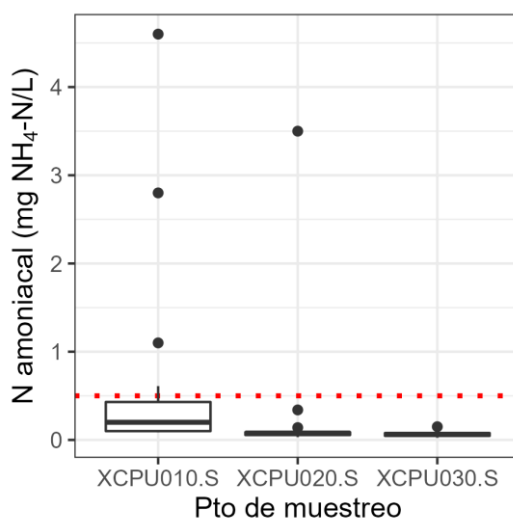


Figura 79. Distribución de los valores de nitrógeno amoniacal en las estaciones de monitoreo del A° Caraguatá durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea punteada indica el valor del objetivo de calidad según el GESTA (2014).

La serie temporal en tanto mostró valores relativamente constantes en el entorno de 0,1 mg/L en las estaciones de los tramos medio y bajo y en el entorno de 0,3-0,4 mg/L en la estación del tramo superior (Figura 80). Hacia fines de 2022 y principios de 2023 se observan valores extremadamente altos en la estación frente a la ciudad (XCPU010), en tanto que lo mismo ocurrió en invierno de 2023 en la estación del tramo medio (XCPU020).

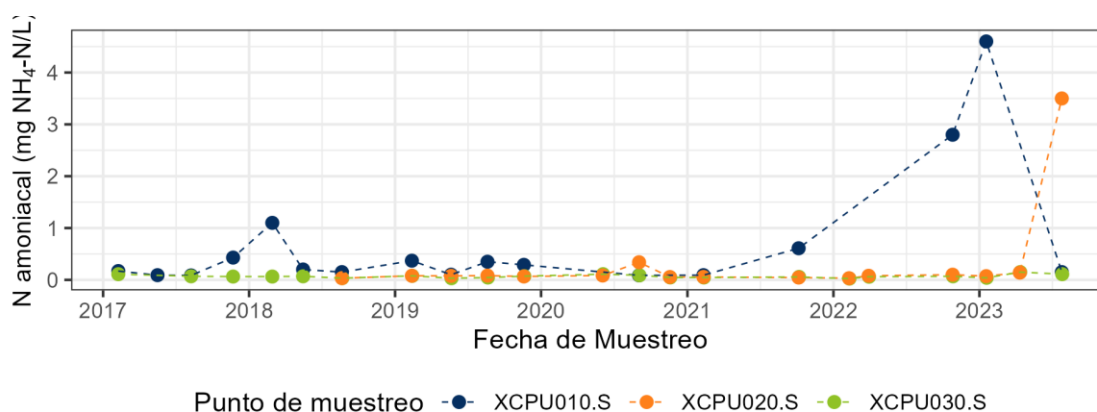


Figura 80. Serie temporal de la concentración de nitrógeno amoniacal en el A° Caraguatá durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.3.2.9 Coliformes termotolerantes

La concentración de coliformes termotolerantes a lo largo del arroyo Cuñapirú resultó heterogénea (Figura 81). Según la normativa vigente (Decreto 253/79) un curso de agua natural (clase 3) debería presentar una concentración de coliformes fecales que no supere las 2000 UFC/100mL en ninguna de las muestras tomadas del mismo, ni la media geométrica superar las 1000 UFC/100mL. En el caso de la estación ubicada frente a la ciudad de Rivera, el Cuñapirú no cumple con lo antedicho (se registraron valores de hasta 24000 UFC/100mL que en su mayoría fueron superiores a 2000 UFC/100mL y la media geométrica alcanzó las 1800 UFC/100mL). En cuanto a los promedios, en dicha estación el mismo alcanzó las 4840 UFC/100mL, en tanto que en las siguientes estaciones los mismos descendieron a 2820 y 528 UFC/100mL en las estaciones del tramo medio (XCPU020) y del tramo final (XCPU030), respectivamente.

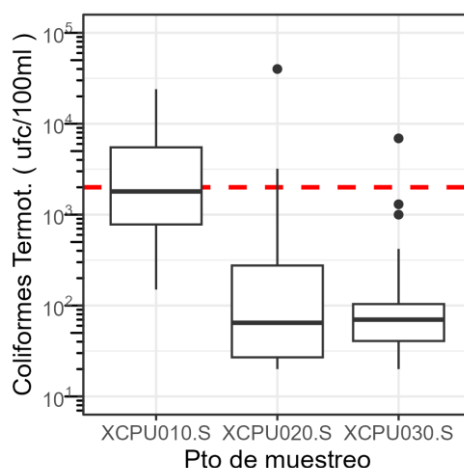


Figura 81. Distribución de los valores de coliformes termotolerantes en las estaciones de monitoreo del A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor máximo aceptable para una muestra, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua clase 3).

La escala logarítmica adoptada en la figura 82 permite visualizar la elevada concentración de coliformes termotolerantes en la estación XCPU010 sin perder la distribución de los valores en

las otras dos estaciones, en las cuales prácticamente todos los datos se encuentran por debajo de 100 UFC/100mL. Pero en la gráfica correspondiente a la serie temporal (Figura 82) se observa que en la estación del tramo intermedio (XCPU020) en invierno de 2023 se registró un valor extremadamente elevado. En esa fecha para ese sitio también se registraron los valores más elevados de fósforo total, fosfato, nitrógeno total, nitrato y nitrógeno amoniacal, valores que en algunos casos fueron un orden de magnitud mayor. Estas observaciones podrían indicar la ocurrencia de un evento de contaminación puntual por alta carga de materia orgánica y coliformes en esta estación o en algún lugar ubicado aguas arriba de ésta.

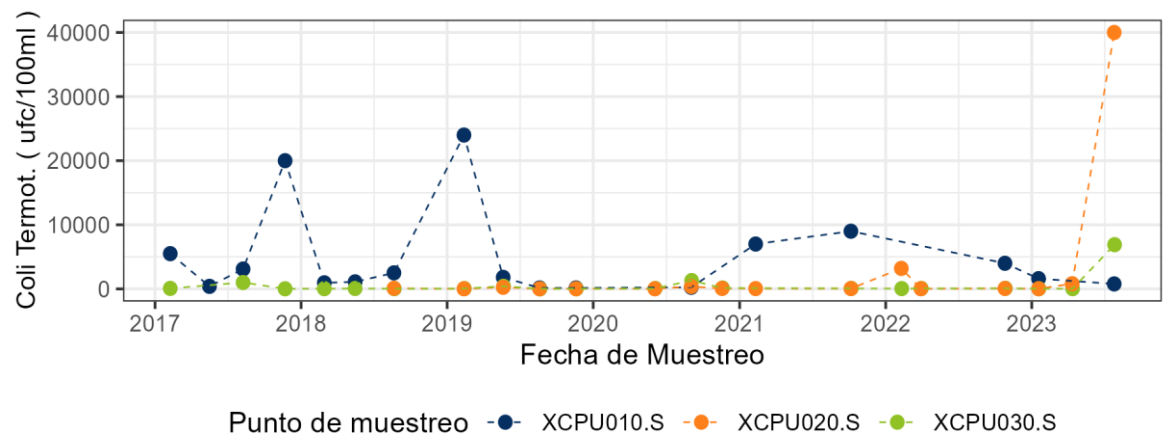


Figura 82. Serie temporal de la concentración de coliformes termotolerantes en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.3.2.10 Glifosato y AMPA

La tabla 6 resume los resultados de glifosato y AMPA en el arroyo Cuñapirú. En el caso del glifosato, el mismo fue detectado en las tres estaciones de muestreo, pero solamente pudo ser cuantificado en las estaciones XCPU020 (14,2 µg/L) y XCPU030 (20,5 µg/L). El AMPA también fue detectado en las tres estaciones, pero cuantificado solamente en las estaciones XCPU010 (0,6 µg/L) y XCPU030 (0,54 µg/L; 0,60 µg/L y 0,68 µg/L).

Tabla 6. Resultados de los análisis de Glifosato y AMPA en muestras de agua en el arroyo Cuñapirú. <LD: cantidad de muestras por debajo del límite de detección; Num: cantidad de muestras cuantificadas (es decir, por encima del límite de cuantificación); N: cantidad total de muestras; Num (%): porcentaje de muestras cuantificadas.

código	Glifosato (µg/L)					AMPA (µg/L)				
	<LC	<LD	Num	N	Num (%)	<LC	<LD	Num	N	Num (%)
XCPU010	1	8		9		2	4	1	7	14
XCPU020	1	10	1	12	8		8		8	
XCPU030	3	15	1	19	5	4	7	3	14	21

3.4 Arroyos Yaguari y Caraguatá

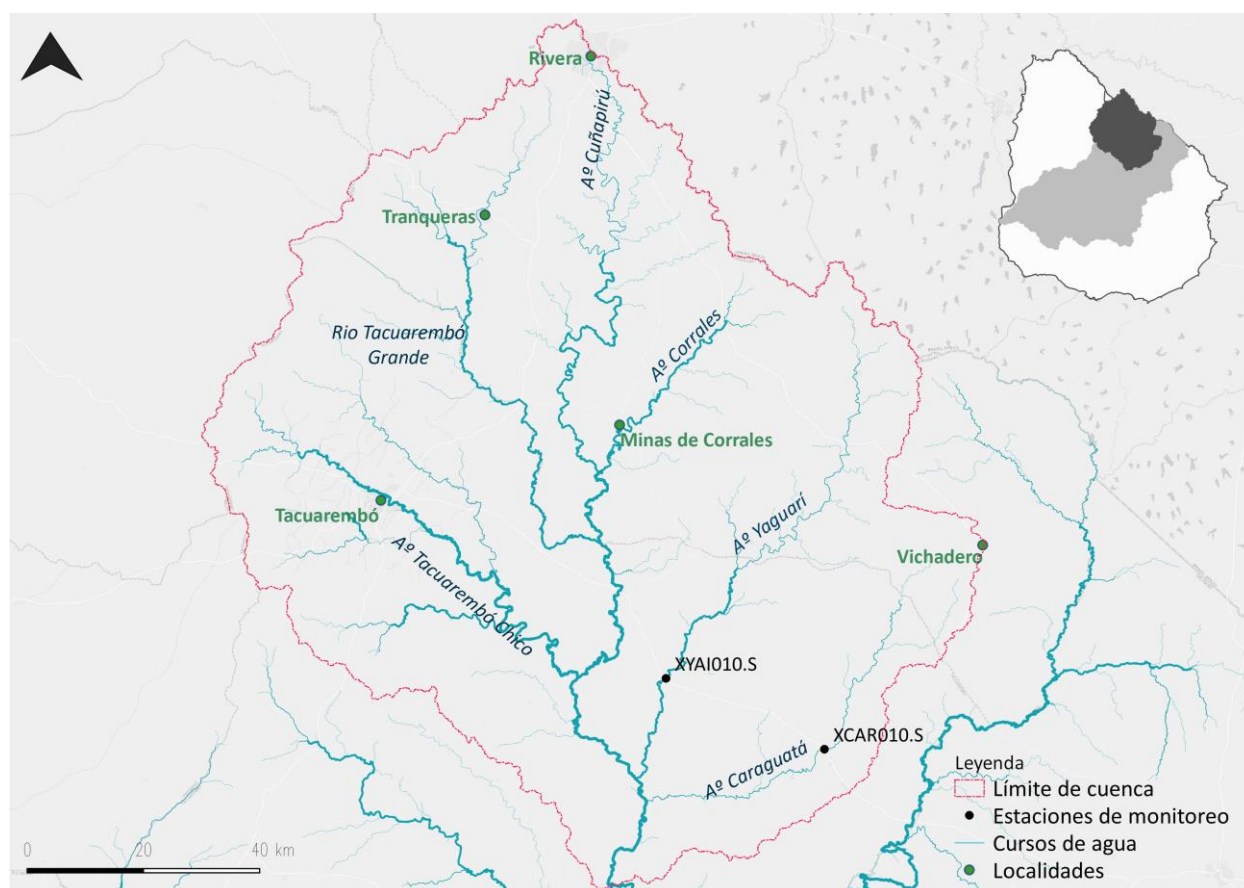


Figura 83. Cuenca del río Tacuarembó donde se destacan los arroyos Caraguatá y Yaguari y las estaciones de monitoreo en los mismos.

Los arroyos Yaguari y Caraguatá nacen en la Cuchilla de Santa Ana (límite con Brasil) y corren paralelos al hacia el río Tacuarembó Grande y hacia sus desembocaduras convergen sobre éste, a aprox. 8 Km (Caraguatá) y 15 Km (Yaguari) aguas arriba de la estación XTAC040 (Figura 83). Ambos cursos cuentan con una estación de muestreo (Figura 84). La estación del Yaguari (XYAI010) se encuentra bajo el puente de la ruta 26, al igual que la estación del Caraguatá (XCAR010). La primera se encuentra a aprox. 110 Km de las nacientes y la segunda a aprox. 63 Km. Ambas estaciones se ubican en parajes rurales, pero mientras la estación del Yaguari se ubica sobre una importante planicie de inundación cubierta por monte ripario, la del Caraguatá se ubica en una zona donde el valle del mismo es bastante estrecho.

Debido a que ambos cursos se encuentran en la misma región, descargar en el río Tacuarembó a una distancia muy escasa entre sí (aprox. 7 Km) y a que cuentan cada uno con una única estación de muestreo, los resultados de calidad de agua son presentados en forma conjunta.

3.4.1 Parámetros de medición *in situ*

3.4.1.1 Temperatura

Al igual que los restantes cursos de la cuenca, los arroyos Caraguatá y Yaguarí presentaron marcadas variaciones estacionales, con máximas en el entorno de los 30°C y mínimas en el entorno de 10°C (Figura 84). El promedio del primero se ubicó en 20,7°C y del segundo en 20,9°C. Por otra parte la figura 84 muestra los ciclos anuales de temperatura a lo largo de la serie de tiempo.

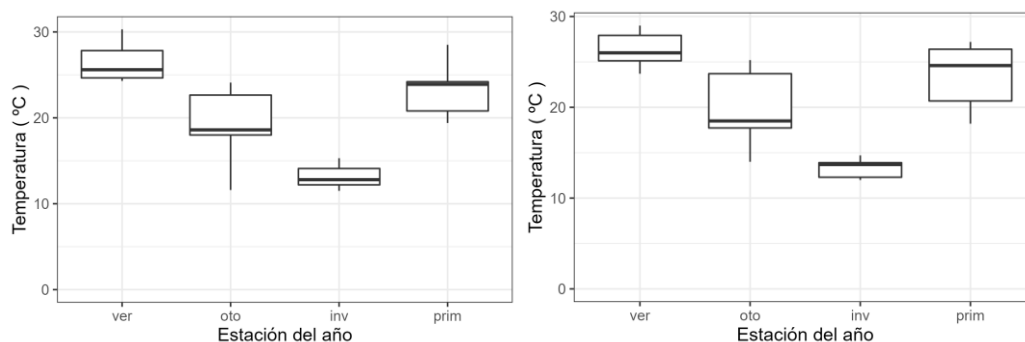


Figura 84. Distribución estacional de los datos de temperatura en los A° Caraguatá (izquierda) y Yaguarí (derecha) durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

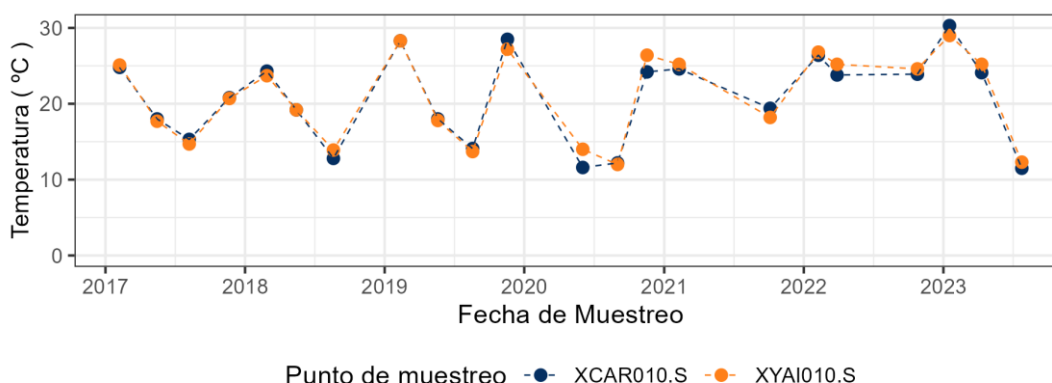


Figura 85. Variación estacional de la temperatura en los A° Caraguata y Yaguarí durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

3.4.1.2 Conductividad

Los valores de conductividad fueron similares en ambos arroyos (Figura 86). No obstante, en el Yaguarí el promedio de la conductividad resultó ligeramente mayor (142 $\mu\text{S}/\text{cm}$) respecto al Caraguatá (116 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Estos valores asimismo resultaron ser ligeramente superiores a los registrados en el curso principal de la cuenca y en el Cuñapirú, aunque inferiores a los del A° Tacuarembó Chico.

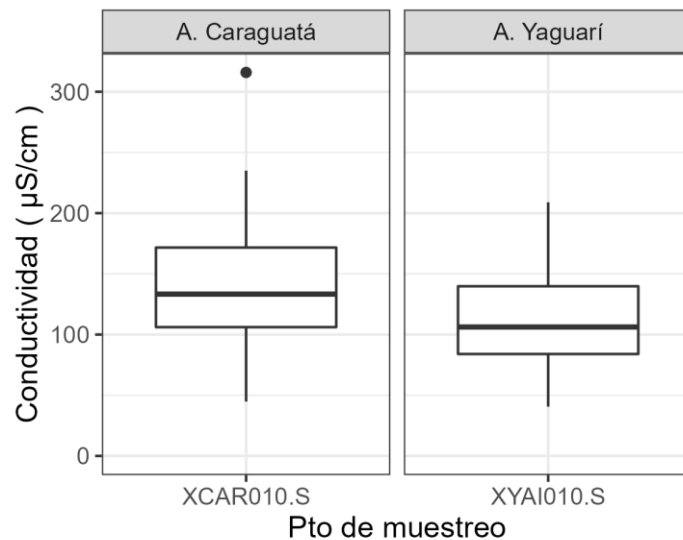


Figura 86. Distribución de los valores de conductividad en los A° Caraguatá (izquierda) y Yaguarí (derecha) durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

La serie temporal en ambos arroyos presentó el mismo patrón, observándose un comportamiento muy semejante en las variaciones temporales de cada uno, aunque los valores del Caraguatá fueron algo superiores en prácticamente todos los muestreos (Figura 87).

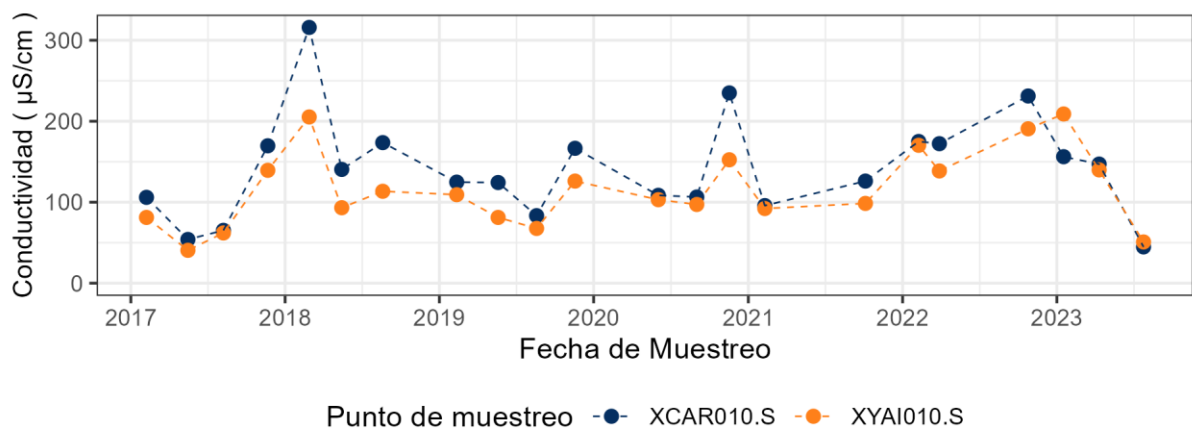


Figura 87. Serie temporal de la conductividad en los A° Caraguata y Yaguarí durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

3.4.1.3 pH

Los promedios de los valores de pH en ambos cursos de agua fueron muy similares: 7,5 en el Caraguatá y 7,3 en el Yaguarí. Ambos valores son ligeramente superiores a los registrados en el río Tacuarembó y en el A° Cuñapirú (7,2 en ambos casos). Prácticamente todos los valores se encontraron dentro del rango establecido por la norma (Figura 88). La serie temporal en tanto si bien mostró una tendencia de incremento del pH a lo largo del curso, el mismo se mantiene dentro del rango establecido en la normativa (Figura 89).

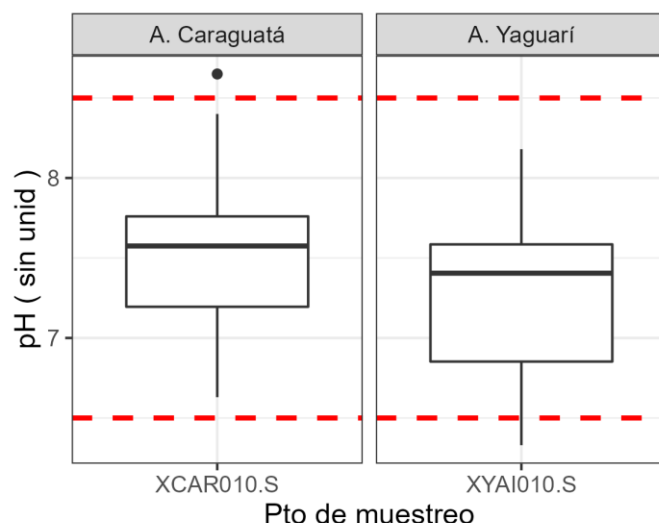


Figura 88. Distribución de los valores de pH en los A° Caraguatá (izquierda) y Yaguarí (derecha) durante el período comprendido entre 2017 y 2023. Las líneas discontinuas indican el máximo y mínimo en que dicho valor debe encontrarse, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua clase 3).

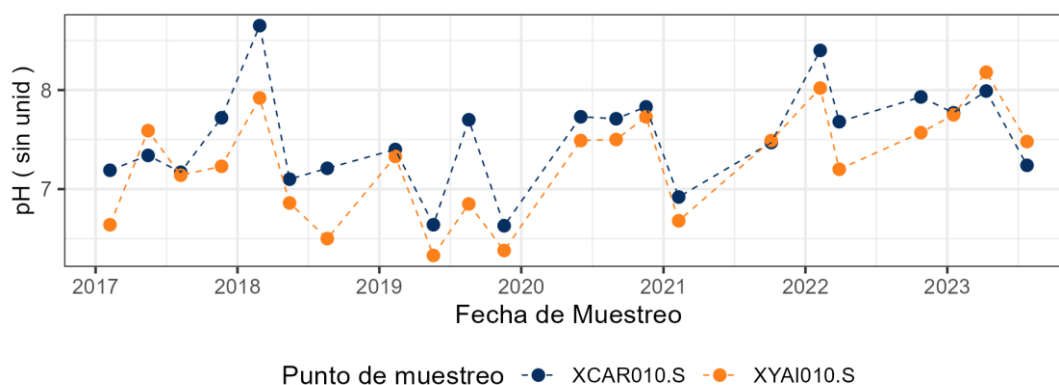


Figura 89. Serie temporal del pH en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

3.4.1.4 Oxígeno disuelto

El valor promedio general del oxígeno disuelto en el A° Caraguatá fue de 8,3 mg/L, en tanto que en el Yaguarí resultó de 8,1 mg/L. A pesar de ser valores muy similares, en la distribución de los datos el Yaguarí presentó valores algo inferiores, aunque en todos los casos los mismos se encontraron por encima del mínimo establecido en la normativa (Figura 90). Ambos promedios fueron similares a los registrados en el río Tacuarembó y en el A° Caraguatá (8,6 y 8,3 mg/L respectivamente).

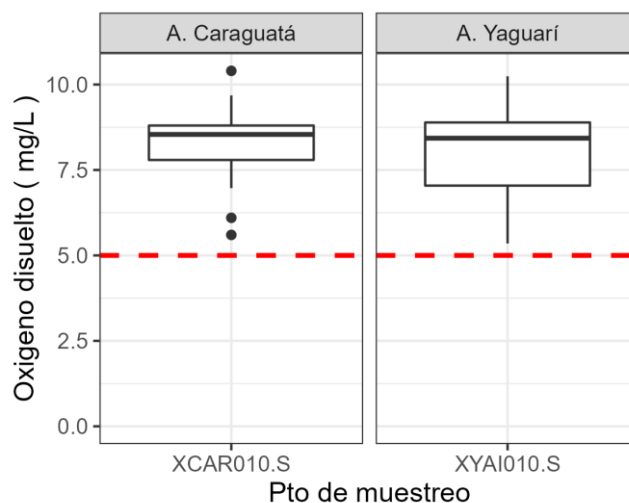


Figura 90. Distribución de los valores de oxígeno disuelto en los A° Caraguatá (izquierda) y Yaguarí (derecha) durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor mínimo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua clase 3).

La serie temporal mostró variaciones muy similares en ambos arroyos, registrando valores menores durante los meses más cálidos y superiores durante los meses más fríos (Figura 91). En ningún momento se registraron valores extraordinariamente bajos, como por ejemplo los hallados circunstancialmente en las estaciones aguas abajo de las ciudades de Rivera y Tacuarembó de los A° Cuñapirú y Tacuarembó Chico.

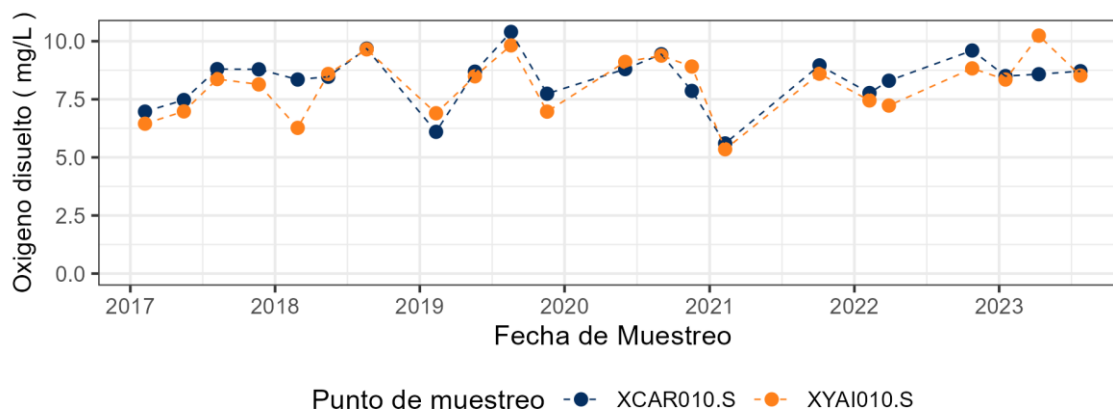


Figura 91. Serie temporal del oxígeno disuelto en los A° Caraguatá y Yaguarí durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

3.4.2 Resultados analíticos

3.4.2.1 Alcalinidad

La alcalinidad en los arroyos Caraguatá y Yaguarí presentó promedios de 69,9 y 55,0 mg CaCO_3/L , respectivamente. Estos valores, en particular el del Caraguatá, fueron superiores a los de la mayor parte de los restantes cursos de agua de la cuenca, siendo únicamente superados por las estaciones del A° Tacuarembó Chico.

3.4.2.2 Sólidos suspendidos totales

La concentración promedio de SST fue muy similar en ambos cursos (Figura 92), siendo de 23,6 y 24,8 mg/L en los A° Caraguatá y Yaguarí, respectivamente. Estos valores se encontraron dentro del rango registrado en los restantes cursos de la cuenca.

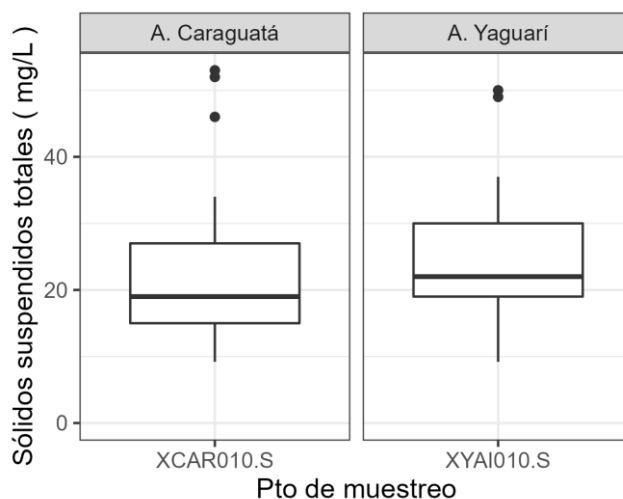


Figura 92. Distribución de los valores de SST en las estaciones de monitoreo de los A° Caraguatá (izquierda) y Yaguarí (derecha) durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

La serie temporal mostró importantes variaciones en ambos cursos, no habiéndose encontrado un patrón de variación similar en ambos cursos como sí se registró en los parámetros medidos *in situ* (Figura 93). Más allá de la diferencia en el comportamiento de los SST en los cursos, en ambos se puede apreciar que a partir de los años 2021 y 2022 los máximos observados son mayores que los registrados previamente, excepto para los máximos registrados en 2017 y 2018 en el A° Caraguatá.

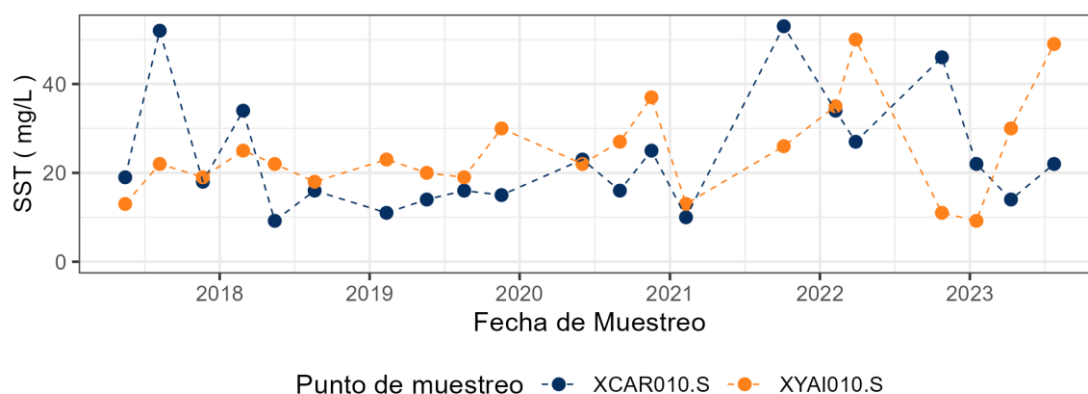


Figura 93. Serie temporal del SST en los A° Caraguatá y Yaguarí durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

3.4.2.3 Fósforo total

La concentración promedio general del fósforo total (PT) en el arroyo Caraguatá fue de 113,4 $\mu\text{g/L}$, en tanto que en el Yaguarí fue de 114,1 $\mu\text{g/L}$ (Figura 94). Ambos valores fueron muy similares entre sí y algo superiores a los registrados en el río Tacuarembó, aunque inferiores a

los registrados en el Cuñapirú y en el Tacuarembó Chico. Cabe señalar que estos promedios se encontraron encima de la norma (25 µg/L).

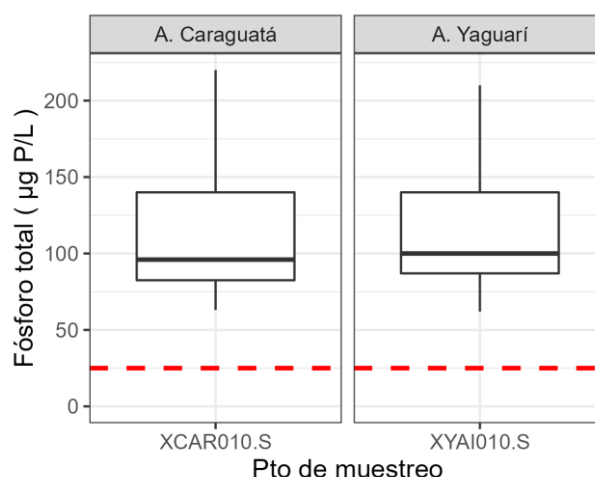


Figura 94. Distribución de los valores de PT en los A° Caraguatá (izquierda) y Yaguarí (derecha) durante el período comprendido entre 2017 y 2023. El valor mínimo aceptable, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua clase 3) es de 25 µg/L.

La serie temporal mostró una variación de PT en cada curso que durante la mayor parte de los muestreos fue similar y siguió el mismo patrón (Figura 95). Si embargo, en otoño de 2020 ocurrió un pico (máximo valor absoluto de la serie) en el A° Caraguatá que no se observó en el Yaguarí. Por otra parte, de forma similar a lo observado para los SST, a partir de 2020-2021 las variaciones en este parámetro tienden a ser mayores al período precedente.

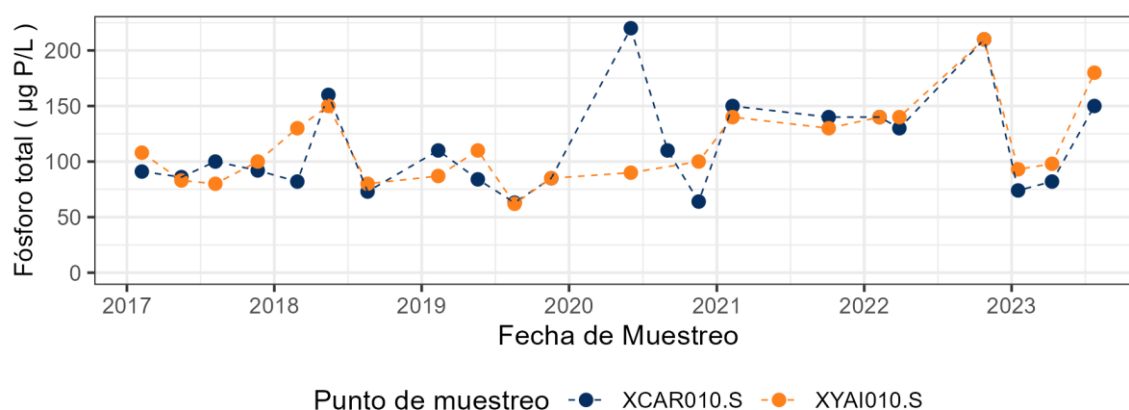


Figura 95. Serie temporal de la concentración de PT en el A° Cuñapirú durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

3.4.2.4 Fosfato

El promedio general de concentración de fosfato (PO_4^-) fue de 54,5 y 45,2 µg/L en los arroyos Caraguatá y Yaguarí, respectivamente (Figura 96). Estos valores fueron similares a los

registrados en el A° Cuñapirú, a la vez que mayores a los observados en el río Tacuarembó e inferiores a los del A° Tacuarembó Chico.

La serie temporal por su parte presentó un comportamiento similar a la del PT, donde las series de ambos cursos resultaron bastante similares, a la vez que se observó un pico en el A° Caraguatá en otoño de 2020 (Figura 97).

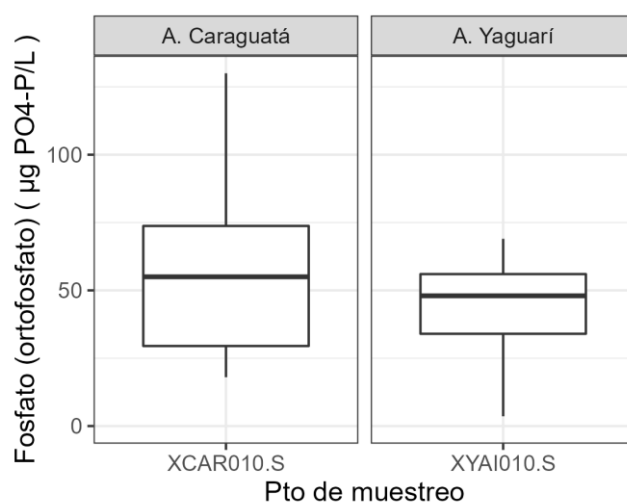


Figura 96. Distribución de los valores de PO_4^- en las estaciones de monitoreo de los A° Caraguatá (izquierda) y Yaguarí (derecha) durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

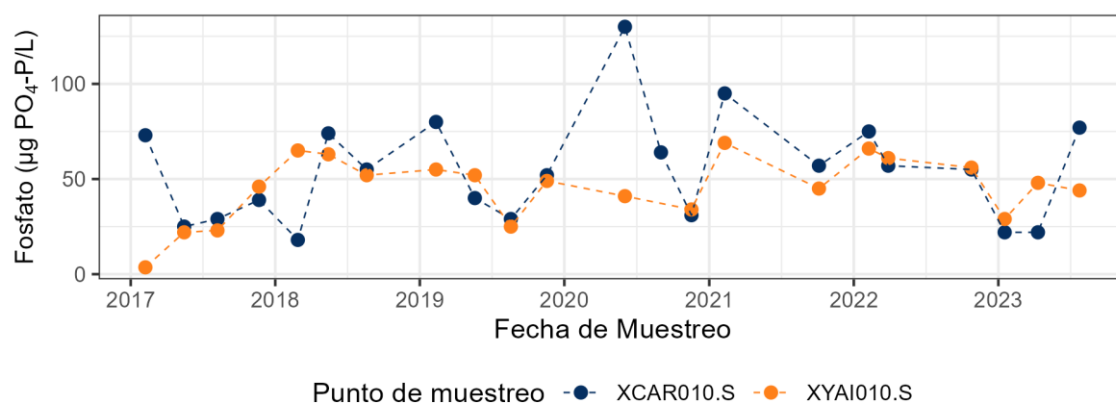


Figura 97. Serie temporal de la concentración de PO_4^- en los A° Caraguatá y Yaguarí durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

3.4.2.5 Nitrógeno total

El valor promedio de nitrógeno total (NT) en los arroyos Caraguatá y Yaguarí fue 1,2 y 1,3 mg/L, respectivamente (Figura 98). Estos valores son superiores a los registrados en el Río Tacuarembó, aunque inferiores a los encontrados en el A° Cuñapirú y tramos inferiores del Tacuarembó Chico.

En la serie temporal ambos cursos presentan un comportamiento similar, presentando el A° Yaguarí valores máximos que destacan por sobre los del Caraguatá (Figura 99).

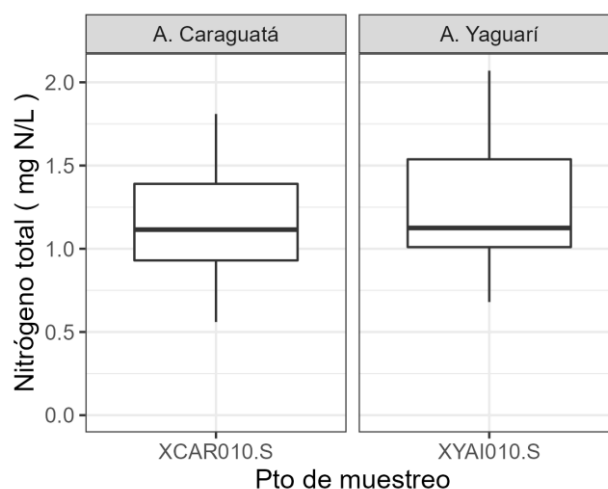


Figura 98. Distribución de los valores de NT en los A° Caraguatá y Yaguarí durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

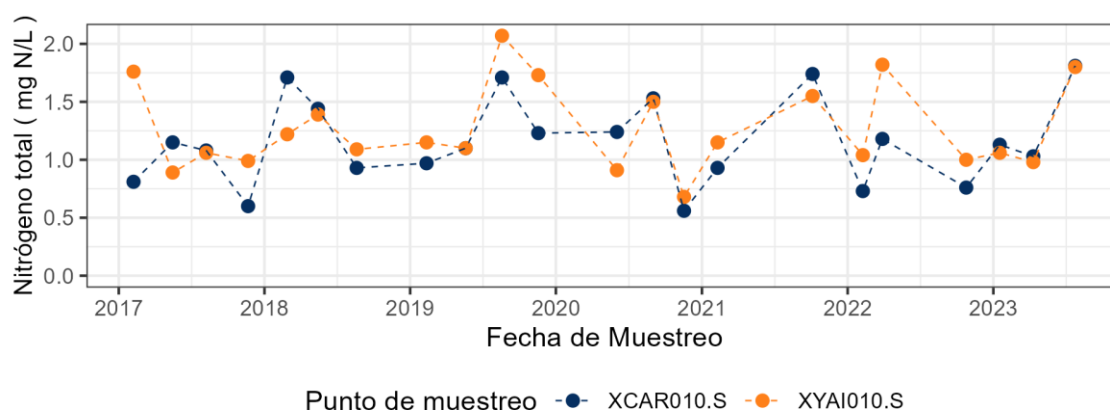


Figura 99. Serie temporal de la concentración de NT en los A° Caraguatá y Yaguarí durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.4.2.6 Nitrato

El promedio general del nitrato (NO_3^-) fue de 0,14 y 0,13 mg/L en el A° Caraguatá y Yaguarí, respectivamente, siendo éstos los menores valores promedio de todos los cursos de agua monitoreados en la cuenca (Figura 100).

En cuanto a la serie temporal, ambos cursos nuevamente presentan un comportamiento similar, destacándose en verano de 2019 un máximo en ambos, aunque el del A° Caraguatá prácticamente duplica al del Yaguarí (Figura 101). Este máximo no tiene correspondencia con el NT.

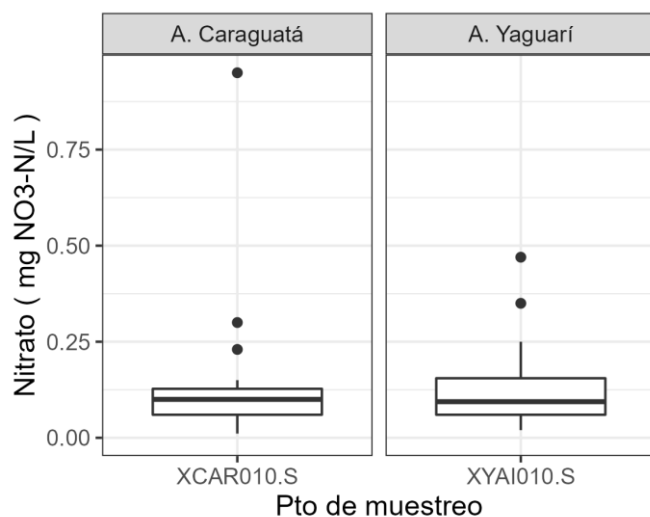


Figura 100. Distribución de los valores de nitrato en los A° Caraguatá y Yaguarí durante el período comprendido entre 2017 y 2023.

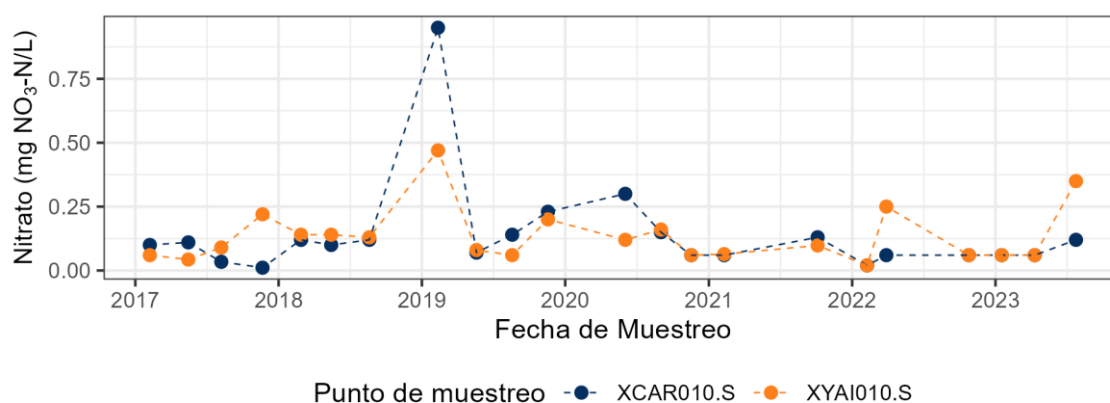


Figura 101. Serie temporal de la concentración de nitrato en los A° Caraguatá y Yaguarí durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.4.2.7 Nitrógeno amoniacal

En el caso del nitrógeno amoniacal (NH_4^+) el promedio en el A° Caraguatá fue de 0,05 mg/L y en el Yaguarí de 0,07 mg/L (Figura 102). En relación con los restantes cursos, estos valores fueron similares a los registrados en el río Tacuarembó e inferiores a los registrados en el A° Cuñapirú. En relación al A° Tacuarembó Chico estos valores son similares a los tramos aguas arriba de la ciudad y al último tramo previo a su desembocadura. En estos dos arroyos y al igual que en la mayor parte de los sitios monitoreados en los demás cursos -exceptuando los tramos ubicados aguas debajo de las ciudades de Rivera en el A° Cuñapirú y del Tacuarembó en el A° Tacuarembó- estos valores se encuentran por debajo del máximo estipulado en la normativa.

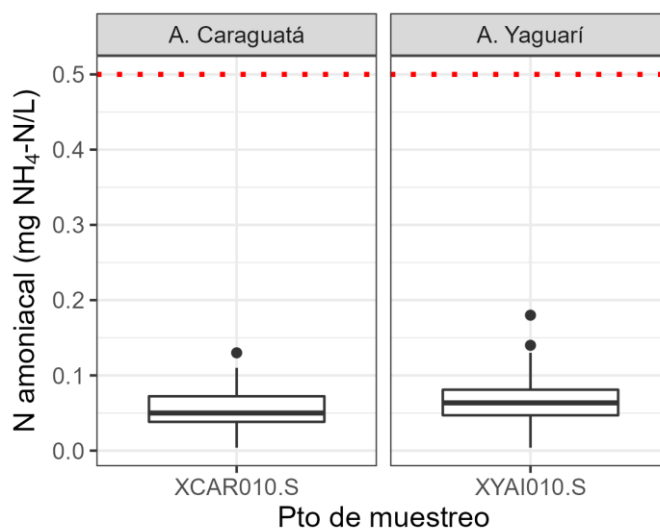


Figura 102. Distribución de los valores de nitrógeno amoniacal en las estaciones de monitoreo del A° Caraguatá durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea punteada indica el valor del objetivo de calidad según el GESTA (2014).

La serie temporal en tanto mostró también para este parámetro un comportamiento similar en ambos cursos, coincidiendo durante casi todo el período en los máximos y mínimos, siendo éstos a su vez de magnitud semejante (Figura 103). Una excepción es el valor de primavera de 2017 en el A° Yaguari, donde ocurrió el máximo para estos cursos (0,18 mg/L). Este valor no tiene correspondencia en valores elevados de las otras formas nitrogenadas analizadas (NT y NO_3^-).

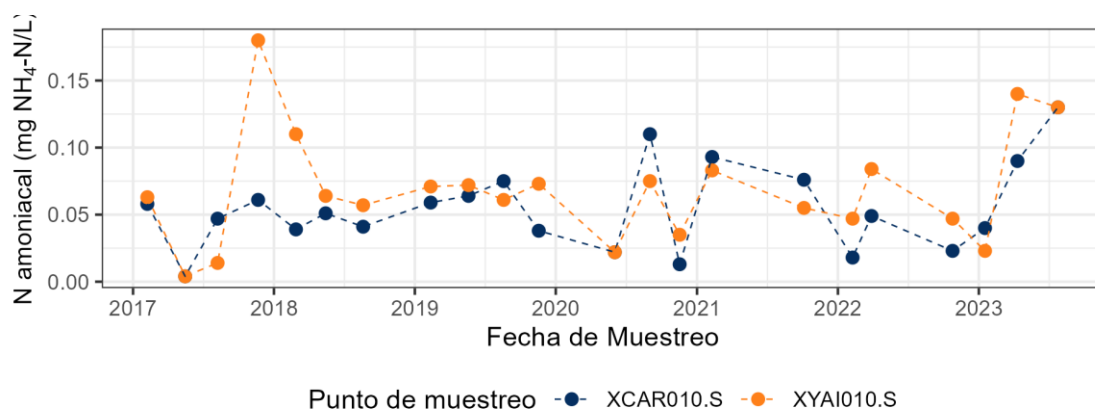


Figura 103. Serie temporal de la concentración de nitrógeno amoniacal en el A° Caraguatá durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.4.2.8 Coliformes termotolerantes

La concentración promedio de coliformes termotolerantes en el A° Caraguatá fue de 571 UFC/100mL y del Yaguari de 311 UFC/100mL. Estos valores son un orden de magnitud superiores a los de la mediana (media geométrica), la cual se indica en el diagrama de cajas de la figura 104 (ver explicación de los diagramas de caja en el apartado 2.2). Ello se explica porque existen algunos valores muy altos que elevan el promedio, fundamentalmente en el Caraguatá.

Por otra parte, la mayoría de las muestras cumplieron con la normativa (la concentración de coliformes fecales que no debe superar las 2000 UFC/100mL en ninguna de las muestras, ni la media geométrica superar las 1000 UFC/100mL).

Las series temporales muestran valores de concentración de estos microorganismos que son razonables para cursos de agua naturales (Figura 105). Sin embargo, en la última fecha de la serie (invierno 2023) en ambos cursos se midieron valores extraordinariamente elevados de coliformes termotolerantes, similares a los registrados en las estaciones afectadas por aguas residuales urbanas de la cuenca. En principio se entiende que estos valores únicamente podrían suceder en estos sitios debido o a la descarga puntual de aguas sépticas o a alguna forma de contaminación de las muestras.

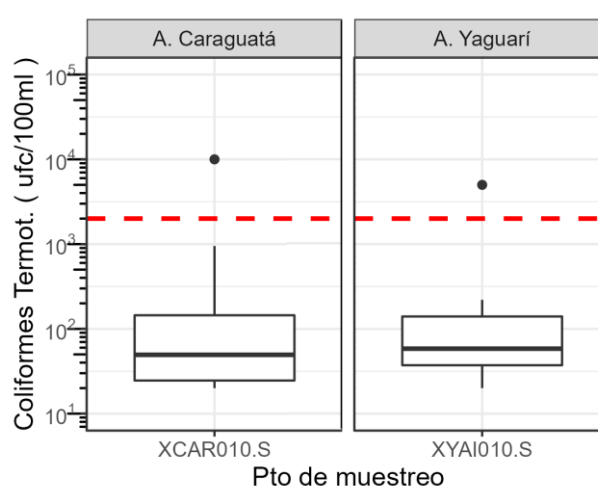


Figura 104. Distribución de los valores de coliformes termotolerantes en las estaciones de monitoreo de los A° Caraguatá y Yaguarí durante el período comprendido entre 2017 y 2023. La línea discontinua indica el valor máximo aceptable para una muestra, según la normativa (Decreto 253/79, cuerpo de agua clase 3).

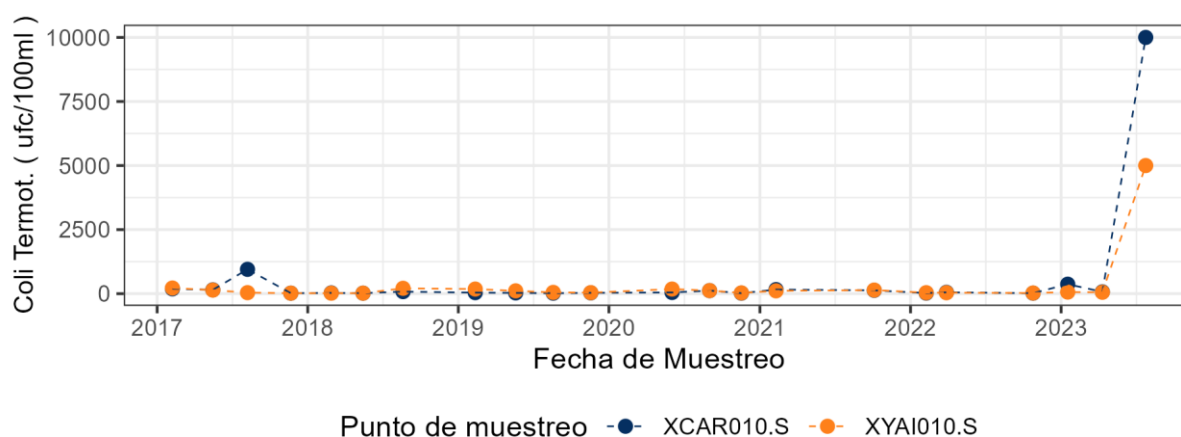


Figura 105. Serie temporal de la concentración de coliformes termotolerantes en los A° Caraguatá y Yaguarí durante el período comprendido entre 2017 y 2023, en cada estación de monitoreo.

3.4.2.9 Glifosato y AMPA

La tabla 7 resume los resultados de glifosato y AMPA en ambos arroyos. En el caso del glifosato, en el A° Caraguatá se detectó en 3 ocasiones y se pudo cuantificar en una ocasión (46,4 µg/L) de 20 muestreos. En el A° Yaguarí fue detectado en 3 oportunidades y cuantificado en 2 de 21 ocasiones (0,33 µg/L; 51,7 µg/L). En el caso del AMPA, en el A° Caraguatá fue detectado en 3 ocasiones y cuantificado en una sola ocasión (0,64 µg/L) de 15 y en el A° Yaguarí, fue detectado en 5 ocasiones y cuantificado en dos (0,52 µg/L; 0,95 µg/L), de 16 ocasiones analizado. La fecha en la que se cuantificó glifosato en el A° Caraguatá coincide con una de las fechas en la que también se lo pudo cuantificar en el A° Yaguarí. Lo mismo sucedió con la fecha en que se cuantificó AMPA en el A° Caraguatá.

Tabla 7. Resultados de los análisis de Glifosato y AMPA en muestras de agua en los arroyos Yaguarí y Caraguatá. <LD: cantidad de muestras por debajo del límite de detección; Num: cantidad de muestras cuantificadas (es decir, por encima del límite de cuantificación); N: cantidad total de muestras; Num (%): porcentaje de muestras cuantificadas.

código	Glifosato (µg/L)					AMPA (µg/L)				
	<LC	<LD	Num	N	Num (%)	<LC	<LD	Num	N	Num (%)
XCAR010.S	2	17	1	20	5	2	12	1	15	7
XYAI010.S	1	18	2	21	10	3	11	2	16	12

4 ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA CUENCA DEL RÍO TACUAREMBÓ.

Las diferentes actividades que se desarrollan en los suelos impactan en forma diferencial en la calidad de agua de las cuencas. En este sentido, la agricultura supone un impacto mayor que la ganadería extensiva y la actividad forestal. Esto se puede observar en otras cuencas hidrográficas del país, donde las cuencas con mayor producción agrícola presentan una menor calidad relativa del agua.

El uso del suelo en la cuenca del **río Tacuarembó** es predominantemente pastoril (campo natural y praderas), el cual ocupa alrededor del 70 % de la cuenca, seguido del forestal con cerca del 16 %. El bosque nativo presenta alrededor del 7,5 % de extensión en tanto que la agricultura ocupa solamente el 6 %. En términos generales, es decir, en la escala global de la cuenca, la extensión de los usos del suelo guarda relación con la relativamente buena calidad de agua encontrada en el curso del río Tacuarembó a lo largo de todo su trayecto.

Pero al observar los diferentes tramos del curso, se encuentra que la mayor parte de los parámetros medidos presentan variaciones entre los sitios de monitoreo. La conductividad, los SST, el PT y la clorofila presentaron un incremento gradual a lo largo del curso. El fosfato y en menor medida el nitrato, mostraron un incremento notorio hacia las estaciones XTAC030 (Ansina) y fundamentalmente hacia la última (XTAC040, Est. Frigorífico Modelo). En este

sentido, resulta destacable observar que mientras el PT se incrementó alrededor del 13 % a lo largo del río, en fosfato lo hizo en algo más del 100 %, habiendo ocurrido el mayor incremento entre las estaciones mencionadas. El amonio y los coliformes termotolerantes en tanto presentaron una ligera tendencia a disminuir a lo largo del curso. Por otra parte, la estación XTAC020 (ruta 5) presentó los mayores valores de NT y especialmente de DBO₅, aunque en este último caso el número de datos es escaso (3 valores).

Es esperable que los cursos de agua presenten una tendencia de incremento gradual río abajo en la mayoría de los parámetros de calidad de agua. En este sentido, el comportamiento registrado en la conductividad, los SST, el PT y la clorofila son esperables. El hecho de que el amonio y los coliformes termotolerantes presenten una leve tendencia a disminuir a lo largo del curso -aunque igualmente sus valores son bajos en relación a otros cursos- denota que estos parámetros en los tramos superiores o presentan valores relativamente elevados. En este mismo sentido, los valores relativamente elevados de DBO₅ y en menor medida de NT en la estación XTAC020 estarían indicando la posibilidad de la existencia de alguna fuente puntual de vertido con elevada carga orgánica, aunque se deberá aumentar la cantidad de datos de DBO₅ para confirmar esta suposición. El único centro poblado que se ubica aguas arriba de la estación XTAC020 es la ciudad de Tranqueras (7.250 hab.), a unos 57 Km. Entre las estaciones XTAC020 y XTAC030 se detectaron valores de incremento de SST, nitrato y fosfato en proporciones superiores a las registradas en el tramo previo, así como también -exceptuando el fosfato- en el tramo siguiente. Entre esas estaciones desemboca el A° Cuñapirú, el cual trae a su vez las aguas del A° Corrales, sobre el cual se asienta Minas de Corrales (3.800 hab). Los parámetros de calidad de agua del A° Cuñapirú indicaron ciertas afecciones que se entiende son provocadas en primer lugar por la ciudad de Rivera y luego por Minas de Corrales. La descarga del Cuñapirú en el río Tacuarembó probablemente explique los incrementos notables para el PT y el fosfato hacia la estación XTAC030. Finalmente, en el tramo comprendido entre las últimas dos estaciones del río Tacuarembó (XTAC030 y XTAC040) desemboca el A° Tacuarembó Chico, el cual presenta una calidad de agua inferior al río Tacuarembó. En la estación XTAC040 se observa un aumento discreto del PT y el NT, algo mayor en el caso del NO₃ y más notable en el caso del PO₄.

El **arroyo Tacuarembó Chico** presenta, en términos generales, peor calidad que el río Tacuarembó. Si bien proporcionalmente los principales usos del suelo en su cuenca son similares a los de la cuenca total del río Tacuarembó (en este caso es 70 % campo o praderas, 16 % forestal, 9 % bosques nativos y solamente un 2 % agricultura), presenta importantes diferencias espaciales a lo largo del curso.

Teniendo en cuenta que la estación XTAH004 se ubica en la zona más alta del arroyo Tacuarembó Chico, los valores de los distintos parámetros de calidad de agua deberían ser los mejores en relación a los de las restantes estaciones de monitoreo. Sin embargo, esta estación presentó valores relativamente elevados de conductividad, PT, y fundamentalmente en los

coliformes termotolerantes. Esta situación puede ser explicada por la presencia de ganado en el sitio de colecta, ya que el mismo supone un paso y se ha registrado la presencia del mismo en el lugar. Hacia la ciudad, la estación que se ubicó bajo el puente de la ruta 5 (XTAH010) mientras estuvo operativa registró los mayores valores de NT, nitrógeno amoniacal, DBO₅ y fundamentalmente coliformes termotolerantes, evidenciando que el origen de la contaminación en ese sitio se relaciona con vertidos irregulares de efluentes en la ciudad. En 2019 esta estación fue sustituida por la estación XTAH013, que se encuentra a aprox. 3,5 Km aguas abajo del puente de la ruta 5 y a 700 m de una cañada que recibe las aguas de una industria frigorífica. Esta nueva estación presenta los peores valores de varios parámetros de calidad de agua, entre los que destacan los sólidos suspendidos totales, la DBO₅, los nutrientes - muy especialmente el N amoniacal- y la clorofila, la cual es particularmente elevada en relación a las restantes estaciones de muestreo, siendo la mayor de este curso y también de toda la cuenca. En dicha estación fueron frecuentes los incumplimientos de la normativa vigente para varios parámetros aplicados a un curso de agua de clase 3. Asimismo el nitrógeno amoniacal superó en dos órdenes de magnitud el valor guía propuesto por GESTA-Agua (2014). Cabe señalar que la estación XTAH013 se ubica aguas arriba del vertido de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad, por lo que dicho vertido no es causante de las afectaciones observadas en este sitio.

La última estación del curso (XTAH020, ubicada en P° de los novillos, a aprox. 57 Km de la estación XTAH013) muestra una importante recuperación respecto a la anterior, aunque los valores de PT, NT y NO₃ permanecen relativamente elevados. Asimismo en esta estación se estudió la relación entre el caudal del curso y algunos parámetros de calidad de agua, habiéndose observado que durante los caudales más altos la conductividad, el pH muestran valores mínimos y en caudales bajos estos parámetros junto con el nitrato muestran los valores más altos. Esta situación puede estar indicando que existen zonas de aporte de agua subterránea con alta concentración de nitrato, en particular para los períodos de baja esorrentía en la cuenca (Deltares, 2023).

La cuenca del **Arroyo Cuñapirú** es la que presenta la mayor proporción de actividad forestal (28%), aunque la mayor proporción de uso de suelo se encuentra destinado a la actividad ganadera (60%) en tanto que la actividad agrícola está limitada a un 5%. Pero este curso de agua tiene la particularidad de que en su tramo superior se encuentra la ciudad de Rivera. Aguas arriba de la misma y a tan sólo 2 Km de sus nacientes el arroyo está embalsado y de allí se toma agua para proveer a la ciudad. Si bien no se cuenta con una estación de monitoreo aguas arriba de la ciudad, se infiere que la misma es mejor que la que se registra en la primera estación de monitoreo de este curso (XCPU010). El impacto de la ciudad se evidencia en esta estación, la cual presenta elevados valores de coliformes termotolerantes y mayores valores de DBO₅ y de nutrientes (en particular PT y amonio) que en las siguientes estaciones, valores que asimismo son elevados en comparación con las otras estaciones de cabecera de los otros cursos monitoreados de la cuenca. Cabe señalar que el vertido de la planta de tratamiento de aguas

residuales de la ciudad se encuentra ubicado aguas abajo de esta estación, razón por la cual las afectaciones presentes en este sitio no responden a eventuales afectaciones de dicha planta.

La situación descrita en la estación de cabecera del A° Cuñapirú se asemeja a la ubicada aguas abajo de la ciudad de Tacuarembó en el A° Tacuarembó Chico en tanto que en ambos sitios los cursos reciben aportes de aguas urbanas (aunque en el caso del Tacuarembó la situación es más notoria debido a la existencia de vertidos con muy altas cargas orgánicas). Al igual que en el Tacuarembó Chico, la calidad del agua del A° Cuñapirú presenta mejoras en la siguiente estación (XCPU020), ubicada a aprox. 75 Km aguas abajo. La última estación de monitoreo de este curso (XCPU030) se encuentra también a aprox. 75 Km de la anterior. Por otra parte, el A° Corrales bordea Minas de Corrales y recorre unos 20 Km antes de desembocar en el Cuñapirú, unos 16 Km aguas arriba de esta última estación. En este lugar se observa cierto empeoramiento de la calidad del agua, el cual queda evidenciado principalmente por el incremento de la conductividad, los SST y los coliformes termotolerantes. También se observan pequeños incrementos en el fosfato y el NT. Dado que tanto en la cuenca de las dos últimas estaciones del A° Cuñapirú como en la cuenca del A° Minas de Corrales no hay otro centro urbano más que Minas de Corrales, así como tampoco se tienen registros de actividades industriales, se infiere que esta desmejora en la calidad de agua del Cuñapirú hacia el final del curso es ocasionada por los pluviales y eventualmente aguas residuales domésticas provenientes de esa localidad, sin un correcto tratamiento y disposición final.

Los arroyos **Caraguatá y Yaguarí** son los únicos dos cursos de agua monitoreados dentro de la cuenca del río Tacuarembó que no cuentan con algún centro poblado sobre sus márgenes. Tampoco se tiene registro de algún vertido sobre los mismos, por lo que se entiende que los mismo no son afectados por aportes urbanos o industriales. Por otra parte, por ser cursos de agua de similar escala, correr en forma paralela por la misma región (al Este del río Tacuarembó) y presentar usos de suelo semejantes, las características fisicoquímicas del agua en ambos son similares y en la mayor parte de los parámetros incluso se observan los mismos patrones de variación temporal.

En cuanto al uso del suelo de ambas cuencas, el 77% del mismo está destinado a la ganadería, el 10% a la agricultura, siendo menor la actividad forestal. Los valores de los parámetros de calidad de agua analizados indican que estos cursos se encuentran entre los de mejor calidad de la cuenca. Los valores de conductividad, DBO₅ y concentración de los diferentes compuestos nitrogenados y fosforados así como los totales son similares a los encontrados en la última estación del río Tacuarembó.

En cuanto a las variaciones temporales de los parámetros analizados en toda la cuenca, solamente se pudieron detectar las variaciones naturales que se relacionan con la estacionalidad y la temperatura, así como de ésta con la concentración del oxígeno en el agua. El resto de los parámetros no mostró ningún patrón o tendencia alguna en ningún sector de la

cuenca. Asimismo tampoco los valores máximos o mínimos registrados en diferentes estaciones de monitoreo mostraron asociación con situaciones particulares de los caudales en dichos sitios, por lo que no pudieron ser vinculados con factores hidrológicos.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La estación XTAC040 del río Tacuarembó Grande (a orillas de un establecimiento agropecuario del Frigorífico Modelo) es el punto del cierre de toda la cuenca, ya que la misma se ubica en un sitio donde todos los cursos importantes de la cuenca ya vertieron sus aguas en el curso principal, pocos kilómetros antes de desembocar sobre el Río Negro. Los parámetros de calidad de agua en esta estación indican que la misma tiene buena calidad, si bien los nutrientes, en particular el fósforo total y el fosfato, presentan valores algo mayores a los deseables. La calidad de agua general en este sitio muestra que los usos del suelo no suponen afectaciones significativas, o al menos por el momento son tolerables. No obstante, se han detectado afectaciones puntuales -a nivel de tramos- que alteran sensiblemente la calidad del agua de los cursos dentro de la cuenca. Estas afectaciones están relacionadas con el vertido de efluentes domésticos e industriales.

El sitio más afectado de toda la cuenca se encuentra aguas abajo de la ciudad de Tacuarembó (detectado en la estación XTAH013), que recibe en primer lugar la descarga del efluente de un importante frigorífico y en segundo lugar pluviales y probablemente aguas grises y negras vertidas de forma irregular. Las aguas de origen doméstico presentan elevada contaminación microbiológica, comprometiendo la calidad del agua para el uso por contacto directo, como baños de inmersión. Por otra parte, los efluentes de frigoríficos sin tratamiento terciario presentan elevadas cargas orgánicas y de nutrientes, provocando la disminución del oxígeno del medio receptor, así como el aumento de materia orgánica y nutrientes. La elevada concentración de nitrógeno amoniacal registrada en ese sitio del río puede llegar a afectar a los peces, fundamentalmente cuando el curso presenta bajos caudales.

El tramo superior del arroyo Cuñapirú, el cual recibe los pluviales y probablemente aguas residuales sin tratamiento adecuado de la ciudad de Rivera, también destaca por presentar deterioro de la calidad del agua. Aguas abajo del sitio de muestreo se encuentra la descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales de la OSE. Esta planta realiza tratamiento en piletas, el cual no es un tratamiento tan efectivo como las plantas de lodos activados con decantación secundaria como ocurre en otras ciudades. Probablemente el efluente de dicha planta también suponga un impacto negativo en el cuerpo receptor, más allá que el mismo presenta una importante recuperación en el sitio de muestreo ubicado varios kilómetros aguas abajo.

Finalmente, la primera estación del río Tacuarembó así como también la del arroyo Tacuarembó Chico presentan señales de cierta afectación del agua. En el primer caso no se ha podido precisar su origen, aunque la misma posiblemente pueda estar relacionada con el

vertido irregular y no permanente de aguas residuales o con la presencia de animales confinados. En el segundo caso se ha comprobado que en el mismo ocurre el paso de ganado. Los pasos de ganado son sitios que sufren de deterioro de la calidad del agua fundamentalmente debido a las deyecciones de los animales en el agua.

Las afectaciones a la calidad del agua en los cursos de la cuenca del río Tacuarembó pueden ser minimizadas si en primer lugar se mejora el nivel de tratamiento de los efluentes de las industrias frigoríficas. En segundo lugar, el aumento de cobertura de la red de saneamiento en las capitales departamentales y la mejora del sistema de tratamiento de la PTAR de Rivera contribuiría a la disminución de la contaminación microbiológica del curso de agua. Finalmente, existen alternativas para evitar el contacto del ganado con los cursos de agua que deben ser cruzados mediante la construcción de puentes especialmente diseñados para tales fines.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Arocena R. (editor). 2016. Principios y métodos de limnología: ejemplos de Uruguay. DIRAC, 328p. ISBN:978-9974-0-1351-3.
- Canadian Council of Ministers of the Environment, 2012. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Glyphosate [En línea]. Winnipeg: Canadian Council of Ministers of the Environment. Disponible en: <https://ccme.ca/en/res/glyphosate-en-canadian-water-quality-guidelines-for-the-protection-of-aquatic-life.pdf> Consultado el 25 de abril de 2024.
- CARU – Comisión Administradora del Río Uruguay (2019). Digesto sobre el uso y aprovechamiento del Río Uruguay. Disponible en: https://www.caru.org.uy/web/pdfs_publicaciones/DIGESTO/DIGESTO%20SOBRE%20EL%20USO%20Y%20APROVECHAMIENTO%20DEL%20RIO%20URUGUAY%20APROBADO%20POR%20RESOLUCION%20CARU%20NRO%2028-19%20DE%205-12-2019.pdf Consultado el 29 de abril de 2024.
- Centro Suizo de Ecotoxicología Aplicada, 2013. EQS – Vorschlag des Oekotoxenzentrums für: Aminomethylphosphonsäure (AMPA). https://www.ecotoxcentre.ch/media/vm0en25q/ampa_finale-version_2015.pdf
- Deltares (2023). Capacity building water quality modelling Río Negro, Evaluation report. Iniciativa para el Río Negro, Ministerio de Ambiente.
- Evia G. y E. Gudynas. 2000. Ecología del paisaje del Uruguay. Aportes para la conservación de la diversidad biológica. MVOTMA, AEI. 173 pp.
- Grupo de Estandarización Técnica de estándares de agua (GESTA) de la COTAMA. 2008. Propuesta de modificación del Decreto 253/79. Normas reglamentarias para prevenir la contaminación ambiental mediante el control de las aguas. Montevideo: Ministerio de Ambiente.
- Ministerio de Ambiente. División Laboratorio Ambiental. Compendio de Metodologías Analíticas de Referencia y Preservación de Parámetros Ambientales. Versión VIII. Enero 2023. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/Compendio%20versi%C3%B3n%20VIII%20consolidado%20pdf.pdf>.
- Ministerio de Ambiente. Observatorio Ambiental Nacional, 2021. Plaguicidas prioritarios para la gestión ambiental. Montevideo, Ministerio de Ambiente. Disponible en: <https://ambiente.gub.uy/oan/datos-abiertos/> Consultado el 25 de abril de 2024.
- Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. (Actual Ministerio de Ambiente). Manual de Procedimientos Analíticos Para Muestras Ambientales. 3ª edición. Agosto 2017. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-vivienda-ordenamiento-territorial/sites/ministerio-vivienda-ordenamiento-territorial-medio-ambiente/files/documentos/publicaciones/MANUAL%20PROCEDIMENTOS%20LABORATORIO%202017.pdf>
- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, 2020. Importaciones de fitosanitarios. Montevideo, MGAP. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/datos/importaciones-productos-fitosanitarios>. Consultado el 25 de abril de 2024.
- OMS. 2024. Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–135. Disponible en: <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications>. Consultado el 25-4-2024.
- Panario D. 1988. Geomorfología del Uruguay. Departamento de Publicaciones, Facultad de Humanidades y Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, 32 pp.

7 Anexos

7.1 Resumen de otros datos por parámetro y estación

Se presentan los principales estadísticos que describen la distribución de los parámetros registrados en el programa de monitoreo de la cuenca del río Tacuarembó y que no fueron contemplados en el informe. N es el número de muestras; Max es el valor máximo; Mín es el mínimo; Media el promedio (media aritmética); Mediana el valor central del conjunto de datos (separa la mitad de los valores mayores de la mitad de los valores menores); 1er Qu es el primer cuartil, o el valor al que el 25% de los datos son inferiores a éste; 3er Qu es el tercer cuartil, o el valor al que el 75% de los datos son inferiores a éste.

7.1.1 Turbidez

Variación de los valores de Turbidez (NTU) en cada sitio de monitoreo								
Subcuenca	Pto de muestreo	N muestras	Max	3er Qu	Mediana	Media	1er Qu	Mín
Tacuarembó	XTAC010.S	8	37,2	26,7	20,85	21,855	16,1	6,64
Tacuarembó	XTAC020.S	9	52,2	27,9	24,1	24,642	18,4	8,38
Tacuarembó	XTAC030.S	12	45,6	29,8	24,3	24,933	18,9	4,8
Tacuarembó	XTAC040.S	11	43,2	32,6	23,9	24,365	16,8	6,11
T. Chico	XTAH004.S	3	7,95	7,45	6,95	6,113	5,19	3,44
T. Chico	XTAH005.S	4	16	15,475	12,14	11,568	8,23	5,99
T. Chico	XTAH010.S	5	52,2	34,7	23,2	25,612	9,76	8,2
T. Chico	XTAH013.S	3	34,1	23,4	12,7	19,033	11,5	10,3
T. Chico	XTAH020.S	12	34,6	27,275	15,65	18,228	11,9	4,89
A. Cuñapirú	XCPU010.S	9	78,8	34,8	18,2	25,81	9,89	8,9
A. Cuñapirú	XCPU020.S	9	33,8	32,6	21,2	22,367	13,9	11,7
A. Cuñapirú	XCPU030.S	12	47,9	30,6	24,15	25,392	17,5	11
A. Yaguarí	XYAI010.S	12	48,3	41,9	32,75	32,942	26,9	14
A. Caraguatá	XCAR010.S	12	33,5	32,6	24,8	25,35	21,7	11

7.1.2 Demanda Química de Oxígeno

Variación de las concentraciones de DQO (mg O ₂ /L) en cada sitio de monitoreo								
Subcuenca	Pto de muestreo	N muestras	Max	3er Qu	Mediana	Media	1er Qu	Mín
Tacuarembó	XTAC010.S	1	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
Tacuarembó	XTAC020.S	1	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
Tacuarembó	XTAC030.S	21	57	36	23	26,7	19	14
Tacuarembó	XTAC040.S	2	20	19,7	19,5	19,5	19,2	19
T.Chico	XTAH004.S	9	28	25	19	20,4	19	6,4
T. Chico	XTAH005.S	4	34	22,7	19	19,6	15,8	6,4
T.Chico	XTAH010.S	8	43	28,5	23	24,6	17,5	14
T. Chico	XTAH013.S	8	54	42,5	31,5	34,1	25,7	21
T. Chico	XTAH020.S	2	22	18,1	14,2	14,2	10,3	6,4

A. Cuñapirú	XCPU010.S	16	41	31,25	22,5	24,7	18,7	14
A. Cuñapirú	XCPU030.S	2	24	22,7	21,5	21,5	20,2	19
A. Yaguarí	XYAI010.S	2	28	22,6	17,2	17,2	11,8	6,4
A. Caraguatá	XCAR010.S	2	32	31,2	30,5	30,5	29,7	29

7.1.3 Nitrito

Variación de las concentraciones de Nitrito (mg NO ₂ -N/L) en cada sitio de monitoreo								
Subcuenca	Pto de muestreo	N muestras	Max	3er Qu	Mediana	Media	1er Qu	Min
Tacuarembó	XTAC010.S	15	0,015	0,0046	0,002	0,0035	0,0015	0,001
Tacuarembó	XTAC020.S	15	0,005	0,0046	0,0046	0,0033	0,0015	0,001
Tacuarembó	XTAC030.S	22	0,013	0,005	0,0046	0,0046	0,0026	0,001
Tacuarembó	XTAC040.S	20	0,007	0,005	0,0048	0,0042	0,0046	0,001
T. Chico	XTAH004.S	9	0,008	0,0046	0,0046	0,0036	0,0015	0,001
T.Chico	XTAH005.S	5	0,005	0,002	0,002	0,0024	0,0015	0,001
T. Chico	XTAH010.S	8	0,045	0,0115	0,0085	0,0122	0,0049	0,002
T.Chico	XTAH013.S	7	0,26	0,0915	0,014	0,0684	0,0089	0,004
T. Chico	XTAH020.S	16	0,055	0,0078	0,0061	0,0093	0,0046	0,001
A. Cuñapirú	XCPU010.S	17	0,13	0,042	0,019	0,0325	0,005	0,001
A. Cuñapirú	XCPU020.S	16	0,053	0,005	0,0046	0,0076	0,002	0,001
A. Cuñapirú	XCPU030.S	21	0,026	0,005	0,0046	0,0052	0,002	0,001
A. Yaguarí	XYAI010.S	22	0,048	0,005	0,0046	0,0058	0,002	0,001
A. Caraguatá	XCAR010.S	22	0,007	0,005	0,0046	0,0035	0,0015	0,001

7.1.4 Sustancias fenólicas

Variación de las concentraciones de sust. Fenólicas (µg/L) en cada sitio de monitoreo								
Subcuenca	Pto de muestreo	N muestras	Max	3er Qu	Mediana	Media	1er Qu	Min
Tacuarembó	XTAC010.S	15	6	2,4	1,7	2,08	0,9	0,5
Tacuarembó	XTAC020.S	15	7,2	3,05	2	2,327	1,3	0,5
Tacuarembó	XTAC030.S	22	11,3	3,8	2,2	2,923	1,325	0,5
Tacuarembó	XTAC040.S	20	10,5	4,15	2,65	3,175	1,375	0,5
Tacuarembó Chico	XTAH004.S	9	8,3	5,7	3,6	4,344	3,1	2,1
Tacuarembó Chico	XTAH005.S	5	3,3	1,9	1,7	1,74	1,3	0,5
Tacuarembó Chico	XTAH010.S	8	2,4	2,15	1,65	1,675	1,45	0,5
Tacuarembó Chico	XTAH013.S	8	7	4,85	2,65	3,4	2,35	0,5
Tacuarembó Chico	XTAH020.S	22	11,4	3,675	2,85	3,373	1,525	1,3
A. Cuñapirú	XCPU010.S	17	9,8	2,7	1,6	2,365	1,3	0,5
A. Cuñapirú	XCPU020.S	16	9,7	3,4	1,3	2,663	0,5	0,5
A. Cuñapirú	XCPU030.S	21	9,4	4,3	3,4	3,319	1,8	0,5
A. Yaguarí	XYAI010.S	22	8,8	2,55	1,75	2,523	1,3	0,5
A. Caraguatá	XCAR010.S	22	13,5	4,525	2,5	3,509	1,325	0,5

7.1.5 Cianuro

El cianuro siempre se mantuvo por debajo del límite de detección, siendo el LD de la técnica de 0.004 mg/L.

7.1.6 Mercurio

Variación de las concentraciones de mercurio (mg/L) en cada sitio de monitoreo								
Subcuenca	Pto de muestreo	N mues tras	Max	3er Qu	Mediana	Media	1er Qu	Min
Tacuarembó	XTAC010.S	14	0,0011	0,00008	0,00008	0,00013	0,0000065	0
Tacuarembó	XTAC020.S	14	0,0002	0,00017	0,00008	0,00009	0,000026	0
Tacuarembó	XTAC030.S	21	0,0002	0,00008	0,000026	0,00005	0	0
Tacuarembó	XTAC040.S	20	0,0002	0,00008	0,000026	0,00005	0	0
T. Chico	XTAH004.S	8	0,00013	0,00008	0,00008	0,00007	0,0000665	0,000026
T. Chico	XTAH005.S	5	0,0002	0,00008	0,00008	0,00007	0	0
T.Chico	XTAH010.S	8	0	0	0	0	0	0
T. Chico	XTAH013.S	7	0,0002	0,000165	0,00008	0,00011	0,000053	0,000026
T.Chico	XTAH020.S	21	0,0002	0,00008	0,000026	0,00006	0	0
A. Cuñapirú	XCPU010.S	16	0,0002	0,0000925	0	0,00005	0	0
A. Cuñapirú	XCPU020.S	15	0,00025	0,0002	0,00008	0,00011	0,000013	0
A. Cuñapirú	XCPU030.S	19	0,0002	0,00008	0,000026	0,00006	0	0
A. Yaguarí	XYAI010.S	21	0,0002	0,00008	0,000026	0,00006	0	0
A. Caraguatá	XCAR010.S	21	0,0002	0,00008	0,000026	0,00006	0	0

7.1.7 Compuestos halogenados adsorbibles

Variación de las concentraciones de AOX (µg/L) en cada sitio de monitoreo								
Subcuenca	Pto de muestreo	N muestras	Max	3er Qu	Mediana	Media	1er Qu	Min
Tacuarembó	XTAC010.S	14	19,8	15,25	10	12,2	10	10
Tacuarembó	XTAC020.S	14	17	10	10	10,5	10	10
Tacuarembó	XTAC030.S	21	31,7	17	10	13,84	10	10
Tacuarembó	XTAC040.S	20	26	11,75	10	12,2	10	10
Tacuarembó Chico	XTAH004.S	8	31	18,25	17	15,5	10	0,002
Tacuarembó Chico	XTAH005.S	5	10	10	10	10	10	10
Tacuarembó Chico	XTAH010.S	8	18	10	10	11	10	10
Tacuarembó Chico	XTAH013.S	7	22,7	19	17	14,95	13,5	0,005
Tacuarembó Chico	XTAH020.S	21	26	17	10	12,85	10	0,005
A. Cuñapirú	XCPU010.S	16	17	17	10	12,18	10	10
A. Cuñapirú	XCPU020.S	15	17	17	10	12,33	10	10
A. Cuñapirú	XCPU030.S	20	56	17	10	15,35	10	10
A. Yaguarí	XYAI010.S	21	24	17	17	14,66	10	10
A. Caraguatá	XCAR010.S	21	23,9	17	17	15,09	10	10

7.1.8 Sólidos Totales

Variación de las concentraciones de ST (mg/L) en cada sitio de monitoreo								
Subcuenca	Pto de muestreo	N muestras	Max	3er Qu	Mediana	Media	1er Qu	Min
Tacuarembó	XTAC010.S	15	180	130	120	121	110	95
Tacuarembó	XTAC020.S	15	210	140	130	138	125	120
Tacuarembó	XTAC030.S	22	240	170	155	146	112,5	50
Tacuarembó	XTAC040.S	20	220	162,5	150	151	140	110
Tacuarembó Chico	XTAH004.S	9	250	220	170	181	140	130
Tacuarembó Chico	XTAH005.S	5	200	180	170	172	160	150
Tacuarembó Chico	XTAH010.S	8	270	180	165	167	137,5	110
Tacuarembó Chico	XTAH013.S	8	480	262,5	215	246	187,5	140
Tacuarembó Chico	XTAH020.S	22	220	177,5	150	157	140	100
A. Cuñapirú	XCPU010.S	17	190	170	150	150	140	80
A. Cuñapirú	XCPU020.S	16	190	140	120	130	110	100
A. Cuñapirú	XCPU030.S	21	170	160	150	143	140	100
A. Yaguarí	XYAI010.S	22	230	187,5	160	165	142,5	90
A. Caraguatá	XCAR010.S	22	290	215	170	181	152,5	70

7.1.9 Sólidos totales fijos

Variación de las concentraciones de STF (mg/L) en cada sitio de monitoreo								
Subcuenca	Pto de muestreo	N muestras	Max	3er Qu	Mediana	Media	1er Qu	Min
Tacuarembó	XTAC010.S	15	100	75	68	69,67	61	48
Tacuarembó	XTAC020.S	15	110	93	84	85,47	78	54
Tacuarembó	XTAC030.S	22	140	99	77	82	70	30
Tacuarembó	XTAC040.S	20	120	98,5	86,5	86,55	74,5	50
Tacuarembó Chico	XTAH004.S	9	170	130	120	120	97	82
Tacuarembó Chico	XTAH005.S	5	160	140	130	134	120	120
Tacuarembó Chico	XTAH010.S	8	140	120	87	93	75	50
Tacuarembó Chico	XTAH013.S	8	270	187,5	155	161,5	125,5	80
Tacuarembó Chico	XTAH020.S	22	600	117,5	93,5	111,91	75,5	36
A. Cuñapirú	XCPU010.S	17	130	110	94	94,647	84	60
A. Cuñapirú	XCPU020.S	16	110	78	70	67,375	57	24
A. Cuñapirú	XCPU030.S	21	110	96	82	80,81	72	32
A. Yaguarí	XYAI010.S	22	900	120	115	139,6	82,5	60
A. Caraguatá	XCAR010.S	22	800	130	105	140,18	80,5	60

7.1.10 Sólidos totales volátiles

Variación de las concentraciones de STV (mg/L) en cada sitio de monitoreo								
Subcuenca	Pto de muestreo	N muestras	Max	3er Qu	Mediana	Media	1er Qu	Min
Tacuarembó	XTAC010.S	15	80	58	50	51	40	34
Tacuarembó	XTAC020.S	15	100	57	50	52	39	32
Tacuarembó	XTAC030.S	22	170	72	58,5	65	43	10
Tacuarembó	XTAC040.S	20	150	70,5	60	64	48	32
Tacuarembó Chico	XTAH004.S	9	110	87	53	63	50	24

Tacuarembó Chico	XTAH005.S	5	44	42	40	39	38	30
Tacuarembó Chico	XTAH010.S	8	150	115	53	75	40	20
Tacuarembó Chico	XTAH013.S	8	210	84	67	85	59,5	48
Tacuarembó Chico	XTAH020.S	22	160	77,2	64	71	58,5	26
A. Cuñapirú	XCPU010.S	17	110	68	55	56	44	10
A. Cuñapirú	XCPU020.S	16	150	68,5	55	63	49,5	32
A. Cuñapirú	XCPU030.S	21	120	76	54	64	49	30
A. Yaguarí	XYAI010.S	22	100	76	60	62	48,5	30
A. Caraguatá	XCAR010.S	22	160	83	70	74	55,5	10

7.1.11 Calcio

Variación de las concentraciones de calcio (mg/L) en cada sitio de monitoreo								
Subcuenca	Pto de muestreo	N muestras	Max	3er Qu	Mediana	Media	1er Qu	Min
Tacuarembó	XTAC010.S	14	10	8,4	5,7	6,1	4,2	2,5
Tacuarembó	XTAC020.S	14	14	9,9	8,8	8,4	6,6	3,2
Tacuarembó	XTAC030.S	20	12	10,0	8,6	8,1	6,6	2,8
Tacuarembó	XTAC040.S	19	16	11,5	10,0	10,0	8,8	3,5
Tacuarembó Chico	XTAH004.S	8	33	25,3	22,5	22,5	20,3	12
Tacuarembó Chico	XTAH005.S	5	29	27,0	25,0	26,0	25,0	24
Tacuarembó Chico	XTAH010.S	7	28	18,5	13,0	15,5	11,2	8,2
Tacuarembó Chico	XTAH013.S	7	29	24,5	20,0	20,7	18,5	10
Tacuarembó Chico	XTAH020.S	20	24	16,0	13,0	12,7	7,6	2,3
A. Cuñapirú	XCPU010.S	15	47	21,0	13,0	16,5	10,0	3,8
A. Cuñapirú	XCPU020.S	15	18	8,0	6,0	6,7	4,5	1,9
A. Cuñapirú	XCPU030.S	18	17	10,8	9,1	9,4	7,2	4,5
A. Yaguarí	XYAI010.S	20	23	12,5	11,0	11,1	7,9	3,1
A. Caraguatá	XCAR010.S	20	27	20,0	13,5	15,5	11,0	5,9

7.1.12 Magnesio

Variación de las concentraciones de magnesio (mg/L) en cada sitio de monitoreo								
Subcuenca	Pto de muestreo	N muestras	Max	3er Qu	Mediana	Media	1er Qu	Min
Tacuarembó	XTAC010.S	14	3,5	2,6	2,0	2,1	1,8	1
Tacuarembó	XTAC020.S	14	5,7	3,7	2,8	3,1	2,4	1,9
Tacuarembó	XTAC030.S	20	4,3	3,1	2,5	2,5	1,9	1
Tacuarembó	XTAC040.S	19	6,3	3,9	3,2	3,3	2,6	1,6
Tacuarembó Chico	XTAH004.S	8	12	9,9	8,8	8,5	7,4	3,1
Tacuarembó Chico	XTAH005.S	5	11	10,0	9,6	9,3	8,3	7,7
Tacuarembó Chico	XTAH010.S	7	9,2	6,4	5,0	5,3	3,7	2,6
Tacuarembó Chico	XTAH013.S	7	12	9,2	7,9	7,9	6,4	4,4
Tacuarembó Chico	XTAH020.S	20	12	6,2	4,4	5,0	2,9	1,3
A. Cuñapirú	XCPU010.S	15	6,6	4,6	4,3	4,0	3,1	1,4
A. Cuñapirú	XCPU020.S	15	3,2	2,0	1,7	1,7	1,2	0,5
A. Cuñapirú	XCPU030.S	18	5,3	2,7	2,3	2,4	1,7	1
A. Yaguarí	XYAI010.S	20	9	4,8	3,6	3,9	2,7	1,3
A. Caraguatá	XCAR010.S	20	8,7	5,4	4,2	4,5	3,3	1,5

7.1.13 Sodio

Variación de las concentraciones de sodio (mg/L) en cada sitio de monitoreo								
Subcuenca	Pto de muestreo	N muestras	Max	3er Qu	Mediana	Media	1er Qu	Min
Tacuarembó	XTAC010.S	14	5	3,0	2,5	2,8	2,3	1,8
Tacuarembó	XTAC020.S	14	6,6	3,8	3,6	3,6	2,7	1,8
Tacuarembó	XTAC030.S	20	9,4	5,4	4,3	4,9	3,8	2
Tacuarembó	XTAC040.S	19	14	6,2	5,7	6,2	4,0	2,8
Tacuarembó Chico	XTAH004.S	8	11	7,4	6,0	6,4	5,1	2,1
Tacuarembó Chico	XTAH005.S	5	7,8	7,2	6,4	6,4	6,3	4,5
Tacuarembó Chico	XTAH010.S	7	9,6	6,1	4,4	5,3	3,9	3,4
Tacuarembó Chico	XTAH013.S	7	18	15,0	11,0	11,0	6,6	4,5
Tacuarembó Chico	XTAH020.S	20	20	7,5	4,5	6,7	3,5	2
A. Cuñapirú	XCPU010.S	15	13	7,4	5,8	6,6	4,4	3,8
A. Cuñapirú	XCPU020.S	15	9,7	4,6	3,9	4,5	3,4	2,6
A. Cuñapirú	XCPU030.S	18	15	7,2	5,4	6,4	4,0	3,1
A. Yaguarí	XYAI010.S	20	18	10,3	6,9	8,2	5,7	3
A. Caraguatá	XCAR010.S	20	30	14,3	8,9	11,5	6,6	4

7.1.14 Potasio

Variación de las concentraciones de potasio (mg/L) en cada sitio de monitoreo								
Subcuenca	Pto de muestreo	N muestras	Max	3er Qu	Mediana	Media	1er Qu	Min
Tacuarembó	XTAC010.S	14	2,1	1,4	1,3	1,3	1,1	0,9
Tacuarembó	XTAC020.S	14	1,8	1,3	1,1	1,2	1,0	0,8
Tacuarembó	XTAC030.S	20	3,1	1,9	1,6	1,6	1,4	1,2
Tacuarembó	XTAC040.S	19	3,5	2,0	1,6	1,8	1,5	1,2
Tacuarembó Chico	XTAH004.S	8	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	0,6
Tacuarembó Chico	XTAH005.S	5	1,3	1,2	1,0	1,0	0,9	0,8
Tacuarembó Chico	XTAH010.S	7	2,5	2,0	1,6	1,7	1,2	1,1
Tacuarembó Chico	XTAH013.S	7	4,4	3,4	2,8	2,5	1,2	1,1
Tacuarembó Chico	XTAH020.S	20	3,4	2,0	1,5	1,7	1,2	0,9
A. Cuñapirú	XCPU010.S	15	3,6	2,8	2,2	2,3	1,9	1,1
A. Cuñapirú	XCPU020.S	15	3,3	2,0	1,8	1,8	1,5	1,2
A. Cuñapirú	XCPU030.S	18	3	2,5	2,1	2,1	1,7	1,3
A. Yaguarí	XYAI010.S	20	3,9	2,4	2,1	2,1	1,8	1,4
A. Caraguatá	XCAR010.S	20	3,8	2,5	2,4	2,3	1,9	1,4

7.2 Incumplimientos

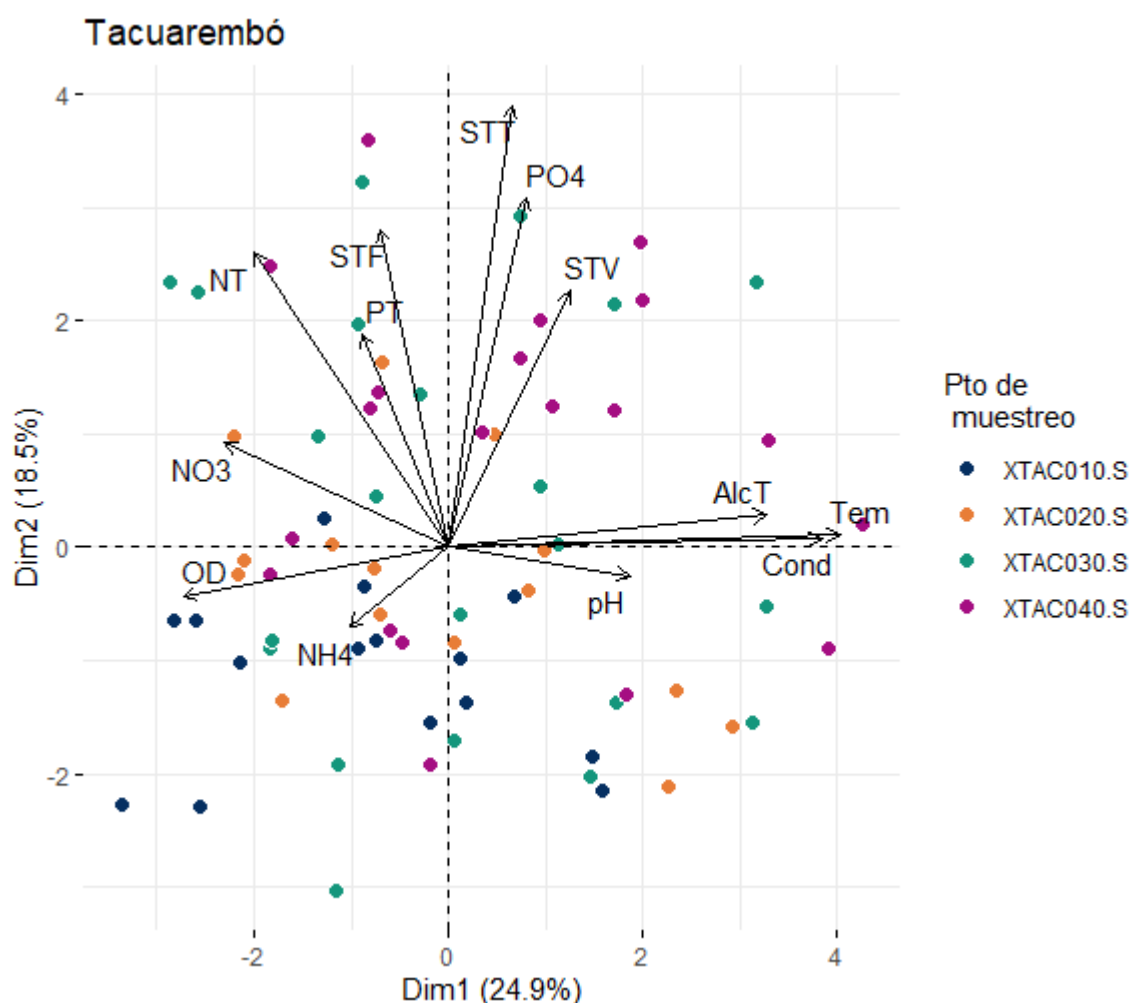
Resumen de incumplimientos de la normativa y niveles guía por sitio de muestreo. En el caso de las concentraciones de coliformes termotolerantes ("termot."), el incumplimiento del decreto 253/79 se calculó como la superación de las 2000 UFC/100 ml y no se tuvo en cuenta la media geométrica de las muestras.

Subcuenca	Punto de muestreo	Parámetro	Límite	Unidad	Fuente	N incumplimientos	% Incumplimiento
Tacuarembó	XTAC010.S	Mercurio total	0,0002	mg/L	Decreto 253/79	1	7
		Nitrógeno Amoniacal	0,5	mg NH4-N/L	GESTA/2014	1	7
		pH	6,5	sin unid	Decreto 253/79	2	13
	XTAC020.S	Coliformes termot	2000	ufc/100ml	Decreto 253/79	1	7
		pH	6,5	sin unid	Decreto 253/79	3	20
		Turbidez	50	NTU	Decreto 253/79	1	11
	XTAC030.S	Coliformes termot	2000	ufc/100ml	Decreto 253/79	1	5
		AOX	25	µg/L	CARU/2019	2	10
		pH	6,5	sin unid	Decreto 253/79	3	14
		AOX	25	µg/L	CARU/2019	1	5
		Nitrógeno Amoniacal	0,5	mg NH4-N/L	GESTA/2014	1	5
	XTAC040.S	pH	6,5	sin unid	Decreto 253/79	1	5
Tacuarembó Chico	XTAH004.S	Coliformes termot	2000	ufc/100ml	Decreto 253/79	2	25
		AOX	25	µg/L	CARU/2019	1	12
	XTAH010.S	Coliformes termot	2000	ufc/100ml	Decreto 253/79	5	62
		Nitrógeno Amoniacal	0,5	mg NH4-N/L	GESTA/2014	2	25
		Oxígeno disuelto	5	mg/L	Decreto 253/79	1	12
		pH	6,5	sin unid	Decreto 253/79	2	25
		Turbidez	50	NTU	Decreto 253/79	1	20
	XTAH013.S	Coliformes termot	2000	ufc/100ml	Decreto 253/79	2	29
		DBO5	10	mg O2/L	Decreto 253/79	1	12
		Nitrógeno Amoniacal	0,5	mg NH4-N/L	GESTA/2014	5	62
		Amoníaco libre	0,02	mg/L	Decreto 253/79	4	50
	XTAH020.S	Coliformes termot	2000	ufc/100ml	Decreto 253/79	1	7
		AOX	25	µg/L	CARU/2019	1	5
		pH	6,5	sin unid	Decreto 253/79	1	5
		pH	8,5	sin unid	Decreto 253/79	3	14
A. Cuñapirú	XCPU010.S	Coliformes termot	2000	ufc/100ml	Decreto 253/79	8	47
		Nitrógeno Amoniacal	0,5	mg NH4-N/L	GESTA/2014	4	24
		Oxígeno disuelto	5	mg/L	Decreto 253/79	2	12
		pH	6,5	sin unid	Decreto 253/79	2	12
		Turbidez	50	NTU	Decreto 253/79	1	11

A.	Yaguari	XCPU020.S	Coliformes termot	2000	ufc/100ml	Decreto 253/79	2	12
			Mercurio total	0,0002	mg/L	Decreto 253/79	1	7
			Nitrógeno Amoniacal	0,5	mg NH4-N/L	GESTA/2014	1	6
			pH	6,5	sin unid	Decreto 253/79	3	19
	XCPU030.S	Coliformes termot	2000	ufc/100ml	Decreto 253/79	1	5	
		AOX	25	µg/L	CARU/2019	2	10	
	XYAI010.S	Arsénico	0,005	mg/L	Decreto 253/79	1	7	
		Coliformes termot	2000	ufc/100ml	Decreto 253/79	1	5	
		pH	6,5	sin unid	Decreto 253/79.	2	9	
	XCAR010.S	Arsénico	0,005	mg/L	Decreto 253/79	1	7	
		Coliformes termot	2000	ufc/100ml	Decreto 253/79	1	5	
		pH	8,5	sin unid	Decreto 253/79	1	5	

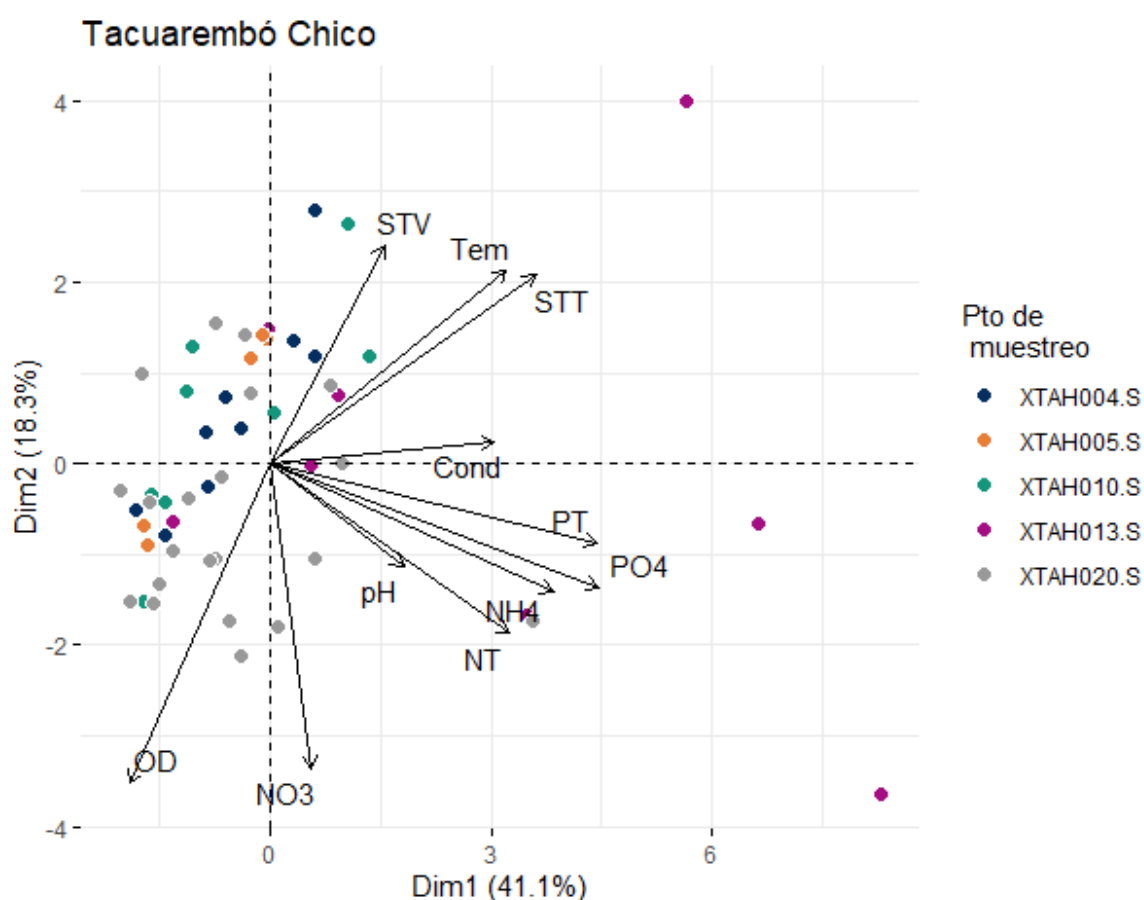
7.3 Análisis de componentes principales

Los análisis estadísticos multivariados son modelos de técnicas exploratorias de datos que simplifican la información y permiten observar diferencias, semejanzas y/o relaciones que puedan existir entre cada una de las variables estudiadas y entre los casos donde se miden esas variables. El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una técnica estadística utilizada en el análisis exploratorio de datos en la que las variables originales son transformadas a un pequeño número de nuevas variables (llamadas componentes principales) que captan la mayor parte de la variabilidad presente en las muestras. El resultado de este análisis puede graficarse en un *biplot*, el cual representa en un mismo espacio las muestras (que se encuentran simbolizadas como puntos) y las variables (que son representadas como vectores). Mediante los ACP se pueden visualizar las similitudes del conjunto de variables estudiadas. A continuación se presentan los ACP elaborados para cada una de las subcuencas de estudio que permiten observar la variabilidad conjunta de las variables de calidad de agua que fueron descritas en el cuerpo del informe.

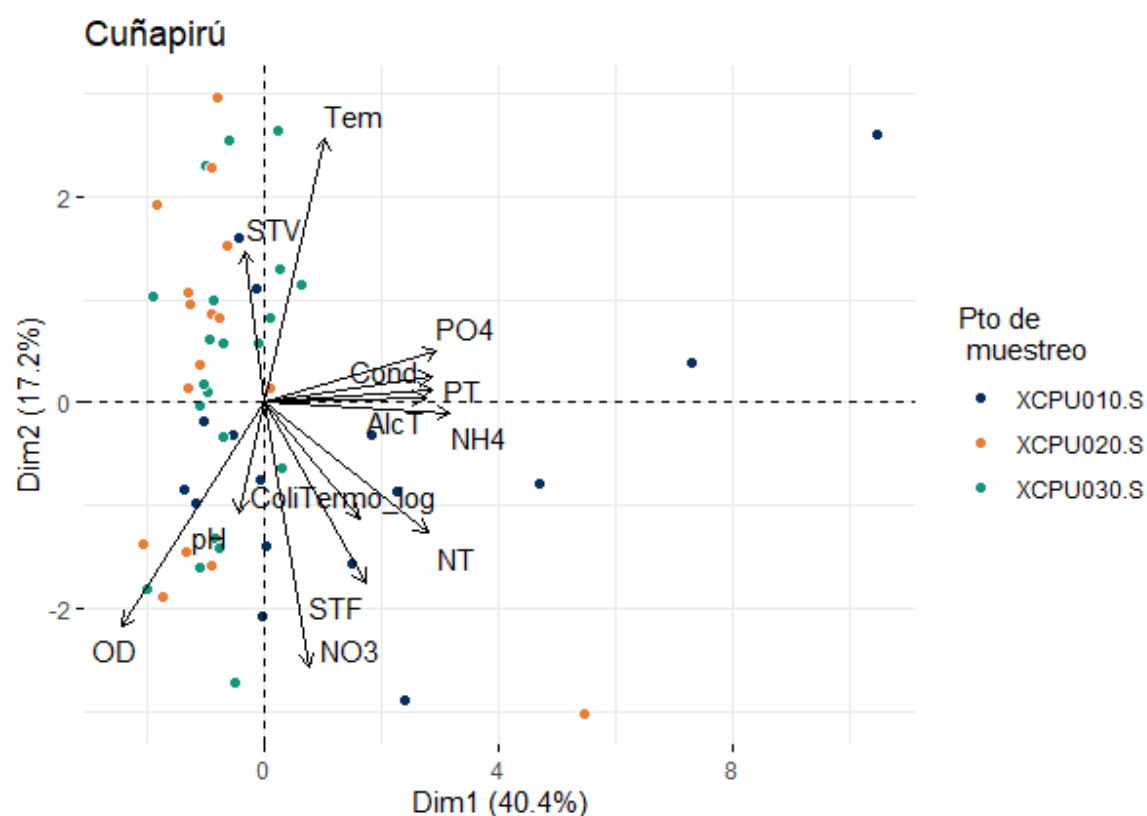


En el ACP elaborado para los sitios ubicados sobre el río Tacuarembó, la dimensión 1 capturó el 24.9 % de la variabilidad de los datos y se encuentra asociada a la temperatura, conductividad,

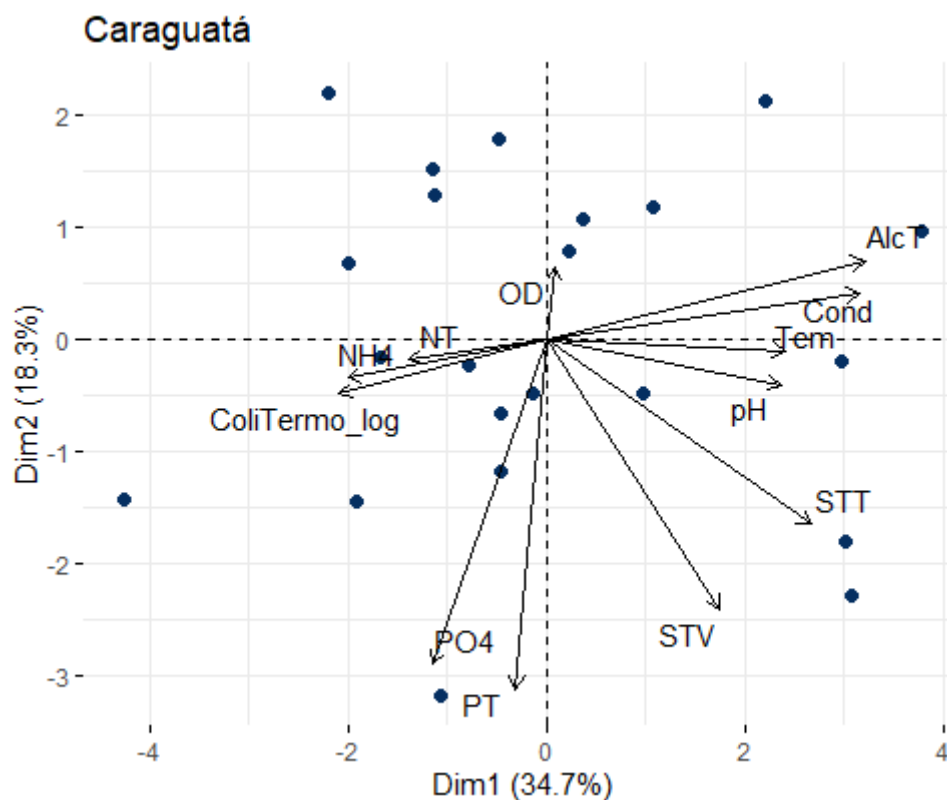
alcalinidad y oxígeno disuelto, lo cual se correspondería con la variabilidad estacional del sistema. El componente 2 representa el 18,5% de los datos y se asocia a los sólidos totales, filtrables y al fosfato. Este grupo de variables se agrupa ortogonalmente a la temperatura y conductividad, indicando una ausencia de relación entre ambos grupos de variables. A partir del ACP se observa una diferenciación de los sitios de muestreo, en cuanto el sitio XTAC010.S ubicado río arriba está separado por la dimensión 2 mientras que los restantes sitios presentan una ubicación similar, en especial XTAC030.S y XTAC040.S.



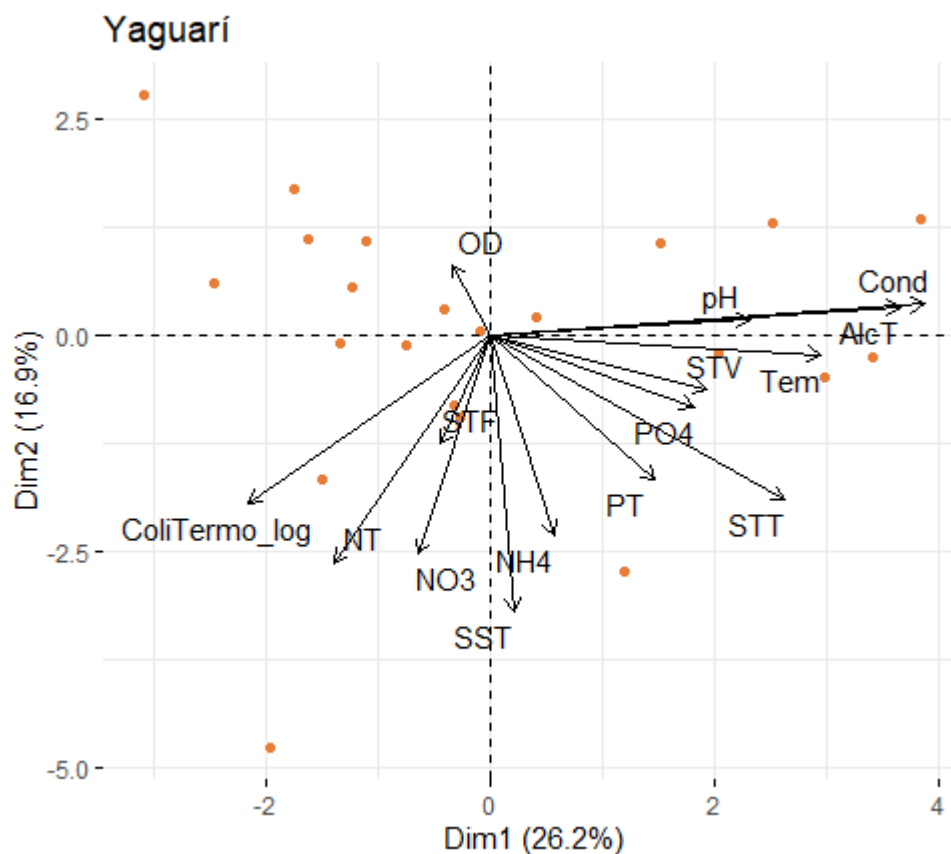
El PCA construido para la subcuenca del río Tacuarembó Chico, muestra que el primer componente captura un 41% de la variabilidad del sistema y se asocia a distintos nutrientes como fósforo total, fosfato y nitrógeno total, siendo XTAC013.S el punto de monitoreo que mayor variabilidad presenta en este componente, lo cual se corresponde con las altas concentraciones de nutrientes observadas en este lugar. Por otra parte, el segundo componente se encuentra representada por el oxígeno disuelto y el nitrato. El primero muestra una relación negativa con los STV (indicador de materia orgánica), mientras que de los nitratos se destaca la baja relación con los restantes nutrientes. Por otra parte, se observa el agrupamiento de los tres primeros sitios de monitoreo (XTAC004.S, XTAC005.S y XTAC010.S) indicando un comportamiento similar del curso de agua en esta zona.



En la subcuenca del río Cuñapirú, el primer componente del ACP captura el 40.4 % de la variabilidad del sistema y se asocia mayormente al amonio, fosfato, fósforo total y conductividad. Se observa que el punto ubicado río arriba (XPU010.S) presenta la mayor variabilidad en esta dimensión, de manera similar a lo observado en la subcuenca del Tacuarembó Chico en el sitio XTAH013.S. Por otra parte, la segunda dimensión estuvo conformada en mayor medida por la temperatura, los nitratos y el oxígeno disuelto, los cuales en conjunto podrían estar representando la variabilidad estacional del sistema. A lo largo de esta dimensión se ubicaron los puntos de monitoreos del tramo medio (XCPU020.S) y principalmente los del tramo bajo (XCPU030.S).



El ACP construido para la subcuenca del río Caraguatá captura en su primera dimensión el 34.7% de la variabilidad de los datos, la cual está asociada mayormente a la conductividad, alcalinidad y los sólidos totales. Por otra parte, la segunda dimensión captura el 18.3% de la variabilidad y estuvo conformada por el fósforo total y el fosfato. En este caso y a diferencia de lo observado en los otros cursos de agua, estas últimas variables no estarían relacionadas con el amonio, que en este caso se asoció con los coliformes termotolerantes y el nitrógeno total.



Por último, el ACP construido a partir de los datos de monitoreo del río Yaguarí posee una primera dimensión que captura solo el 26.2% de la variabilidad de los datos y que se encuentra representada por la conductividad, alcalinidad, temperatura y en menor medida por los sólidos totales. La segunda dimensión captura el 16.9% de la variabilidad de los datos y está representada por los sólidos suspendidos totales y en menor medida por el nitrato y amonio. En este caso la variabilidad capturada por el ACP es baja y se observan relaciones entre las variables diferentes a las observadas anteriormente, como la falta de relación entre el nitrato y la temperatura.