



Ministerio
de Ambiente

Monitoreo de Calidad del Agua Cuenca río Tacuarembó

2022



DIRECCIÓN NACIONAL DE CALIDAD Y EVALUACIÓN AMBIENTAL

División Evaluación de la Calidad Ambiental

Departamento Seguimiento de Componentes del Ambiente

Julio 2023



Área de Información Planificación y Calidad Ambiental

Gerente: Marisol Mallo

División Evaluación de Calidad Ambiental – DECA

Director: Luis Reolón

Dpto. Seguimiento Componentes del Ambiente

Jefe de Dpto.: Magdalena Hill

Análisis y Redacción del Informe

Facundo Lepillanca

Responsables del Programa de Monitoreo

Facundo Lepillanca

Técnicos participantes

Carolina Ferrer

Facundo Lepillanca

Javier Martínez

Mario Acosta

Natalie Corrales

Belén Ocampo

Lucia Gómez

Revisión

Magdalena Hill / Luis Reolón

Análisis de Laboratorio:

División Laboratorio Ambiental

DINACEA

Jefe Laboratorio: Natalia Barboza

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Objetivos del plan	8
2. ASPECTOS METODOLÓGICOS	8
2.1. Plan de monitoreo	8
2.2. Índices de calidad de agua	10
2.3. Tratamiento de los datos	12
3. RESULTADOS	13
3.1. Calidad de agua	13
3.1.1. Variables <i>in situ</i>	13
3.1.1.1. Temperatura	13
3.1.1.2. Conductividad	14
3.1.1.3. Oxígeno Disuelto	15
3.1.1.4. pH	16
3.1.2. Resultados analíticos	17
3.1.2.1. Alcalinidad	17
3.1.2.2. Sustancias fenólicas	18
3.1.2.3. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	19
3.1.2.4. Demanda química de oxígeno (DQO)	19
3.1.3. Sólidos	20
3.1.3.1. Sólidos Totales Volátiles (STV)	20
3.1.3.2. Sólidos totales fijos (STF)	21
3.1.3.3. Sólidos suspendidos totales (SST)	22
3.1.3.4. Sólidos Totales (ST)	23
3.1.4 Metales	24
3.1.4.1 Iones mayoritarios	24
3.1.4.1.1. Calcio (Ca)	24
3.1.4.1.2. Magnesio (Mg)	25
3.1.4.1.3. Potasio (K)	26
3.1.4.1.4. Sodio (Na)	27
3.1.4.1.5. Relación de absorción de sodio (RAS)	28
3.1.4.2. Metales pesados	29
3.1.4.2.1. Mercurio (Hg)	29
3.1.5. Cianuro Total (CN total)	29
3.1.6. Arsénico (As)	29
3.1.7. Nutrientes	29
3.1.7.1. Nitrito (NO ₂)	29
3.1.7.2. Nitrato (NO ₃)	30
3.1.7.3. Amonio libre (NH ₃)	31
3.1.7.4. Nitrógeno amoniacal (NH ₄)	32
3.1.7.5. Nitrógeno Total (NT)	33
3.1.7.6. Fosfatos (PO ₄)	34
3.1.7.7. Fósforo total (PT)	35

	4
3.1.8. Variables Biológicas	36
3.1.8.1. Coliformes Termotolerantes (CT)	36
3.1.8.2. Clorofila- <i>a</i>	37
3.1.8.3. Feofitina	37
3.1.9. AOX	38
3.1.10. Fitosanitarios	38
3.1.10.1. Glifosato	38
3.1.10.2. AMPA	38
3.1.11. Índices de calidad	38
3.1.11.1. IET	38
3.1.11.2. IQA	40
4. SÍNTESIS	41
5. Bibliografía	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la Cuenca del río Tacuarembó.....	7
Figura 2. Cuenca del río Tacuarembó y ubicación de estaciones de monitoreo.....	9
Figura 3. Variación espacial y temporal de la Temperatura del agua en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Temperatura para el año 2022, promedio para el año 2021, y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.....	13
Figura 4. Variación espacial y temporal de la Conductividad del agua en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Conductividad para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.....	14
Figura 5. Variación espacial y temporal del Oxígeno disuelto en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Oxígeno disuelto para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.....	15
Figura 6. Variación espacial y temporal del pH en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de pH para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.....	16
Figura 7. Variación espacial y temporal de la Alcalinidad total en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Alcalinidad para el año 2022, promedio para el año 2021, y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.	17
Figura 8. Variación espacial y temporal de la Sustancias fenólicas en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Sustancias fenólicas para el año 2022, promedio para el año 2021, y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.	18
Tabla 12. Estadísticas básicas de Sustancias fenólicas. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o valor guía (STD) de GESTA-Agua 2014, cantidad de valores que no cumplen, % de incumplimiento en relación a ese valor.	18
Figura 9. Variación espacial y temporal de Sólidos totales volátiles en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Sólidos totales volátiles para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.	20
Figura 10. Variación espacial y temporal de Sólidos totales fijos en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Sólidos totales fijos para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.....	21
Figura 11. Variación espacial y temporal de Sólidos suspendidos totales en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Sólidos suspendidos totales para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.	22
Figura 12. Variación espacial y temporal de Sólidos totales en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Sólidos totales para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.	23
Figura 13. Variación espacial y temporal de Calcio en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Calcio para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2020.	24
Figura 14. Variación espacial y temporal de Magnesio en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Magnesio para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.	25
Figura 15. Variación espacial y temporal de Potasio en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Potasio para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.	26
Figura 16. Variación espacial y temporal de Sodio en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Sodio para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.....	27

Figura 17. Variación espacial y temporal de RAS en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de RAS para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.....	28
Figura 18. Variación espacial y temporal de Nitrato en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Nitrato para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.	30
Figura 19. Variación espacial y temporal de Amonio libre en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Amonio libre para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.	31
Figura 20. Variación espacial y temporal de Nitrógeno amoniacal en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Nitrógeno amoniacal para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.	32
Figura 21. Variación espacial y temporal de Nitrógeno total en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Nitrógeno total para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.	33
Figura 22. Variación espacial y temporal de Fosfatos en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Fosfatos para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.	34
Figura 23. Variación espacial y temporal de Fósforo total en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Fósforo total para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.	35
Figura 24. Variación espacial y temporal de Coliformes termotolerantes en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Coliformes termotolerantes para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.	36
Figura 25. Variación espacial y temporal de Clorofila-a en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Clorofila-a para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.	37
Figura 26. Representación gráfica del IET en las subcuencas del río Tacuarembó en el 2022 considerando la escala cromática.....	39
Figura 27. Representación gráfica del IQA en las subcuencas del río Tacuarembó en el 2022 considerando la escala cromática.	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación en coordenadas y su correspondiente descripción para los 12 puntos de monitoreo de esta campaña.....	8
Tabla 2. Variables analizadas en cada campaña para la cuenca del río Tacuarembó clasificadas según categorías. También incluye abreviatura, unidades, así como los estándares utilizados (Decreto 253/79 y valores guía sugeridos por el grupo GESTA-Agua en 2014 y la Mesa Técnica del Agua). Estándar internacional establecido en la República Federal de Alemania para los Compuestos Halogenados Absorbibles (AOX).....	10
Tabla 3. Valoración del estado trófico de ríos a partir del IET, elaborado según los valores de fósforo total.	11
Tabla 4. Parámetros de calidad de agua del IQA y peso respectivo	11
Tabla 5. Escala cromática asociada a las categorías de calidad del agua del IQA.	12
Tabla 6. Cálculos utilizados para representar los valores numéricos de los resultados yuxtapuestos a los límites de la técnica.....	12
Tabla 7. Estadísticas básicas de la Temperatura. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.	13
Tabla 8. Estadísticas básicas de la Conductividad. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.	14
Tabla 9. Estadísticas básicas del Oxígeno disuelto. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o valor guía (STD) del Decreto 253 y modificativos, cantidad de valores que no cumplen, % de incumplimiento en relación a ese valor.....	15
Tabla 10. Estadísticas básicas del pH. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o valor guía (STD) del Decreto 253 y modificativos, cantidad de valores que no cumplen, % de incumplimiento en relación a ese valor.	16
Tabla 11. Estadísticas básicas de alcalinidad. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.....	17
Tabla 12. Estadísticas básicas de Sustancias fenólicas. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o valor guía (STD) de GESTA-Agua 2014, cantidad de valores que no cumplen, % de incumplimiento en relación a ese valor.	18
Tabla 13. Estadísticas básicas de Sólidos totales volátiles. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.	20
Tabla 14. Estadísticas básicas de Sólidos totales fijos. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.	21
Tabla 15. Estadísticas básicas de Sólidos suspendidos totales. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.	22

Tabla 16. Estadísticas básicas de Sólidos totales. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.	23
Tabla 17. Estadísticas básicas de Calcio. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.	24
Tabla 18. Estadísticas básicas de Magnesio. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.	25
Tabla 19. Estadísticas básicas de Potasio. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.	26
Tabla 20. Estadísticas básicas de Sodio. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.	27
Tabla 21. Estadísticas básicas de RAS. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.	28
Tabla 22. Estadísticas básicas del Nitrato. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o valor guía (STD) del Decreto 253 y modificativos* y valor GESTA 2014**, cantidad de valores que no cumplen, % de cumplimiento e incumplimiento en relación a ese valor.	30
Tabla 23. Estadísticas básicas del Amonio libre. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o valor guía (STD) del Decreto 253 y modificativos, cantidad de valores que no cumplen, % de cumplimiento e incumplimiento en relación a ese valor.	31
Tabla 24. Estadísticas básicas del Nitrógeno amoniacal. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o guía (STD) del GESTA 2014, cantidad de valores que no cumplen, % de incumplimiento en relación a ese valor.	32
Tabla 25. Estadísticas básicas del Nitrógeno total. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o valor guía (STD) de la MTA, cantidad de valores que no cumplen, % de incumplimiento en relación a ese valor.	33
Tabla 26. Estadísticas básicas del Fosfato. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o valor guía (STD) de la MTA, cantidad de valores que no cumplen, % de incumplimiento en relación a ese valor.	34
Tabla 27. Estadísticas básicas del Fósforo Total. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o valor guía (STD) del Decreto 253 y modificativos* y valor GESTA 2014**, cantidad de valores que no cumplen, % de incumplimiento en relación a ese valor.	35
Tabla 28. Estadísticas básicas del Coliformes termotolerantes. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o valor guía (STD) del Decreto 253 y modificativos, cantidad de valores que no cumplen, % de incumplimiento en relación a ese valor.	36
Tabla 29. Estadísticas básicas de Clorofila- <i>a</i> . Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o valor guía (STD) de la Mesa Técnica del Agua (2017), cantidad de valores que no cumplen, % de incumplimiento en relación a ese valor.	37

1. INTRODUCCIÓN

El agua representa un insumo fundamental para la vida, constituyendo un elemento insustituible en diversas actividades humanas, además de mantener el equilibrio en el medio ambiente. En el escenario mundial, la inminente escasez y deterioro de los recursos hídricos y la diseminación de los factores condicionantes para una gestión integrada, constituyen un requisito fundamental para el desarrollo equilibrado y en consonancia con la preservación del medio ambiente.

La cuenca del río Tacuarembó se sitúa al noreste del territorio uruguayo, e integra la región hidrográfica del Río Uruguay y la Cuenca del río Negro. El río Tacuarembó nace en el Departamento de Rivera, atraviesa el Departamento de Tacuarembó y desemboca en el río Negro. Su cuenca tiene una superficie de 16273 Km² compartida entre los dos departamentos mencionados y recoge aportes de los siguientes arroyos principales: Cuñapirú, Zapucay, Lunarejo, Las Cañas, Tres Cruces, Tranqueras, Batoví, del Sauce, Caraguatá y Yaguarí (Figura 1). Asimismo, en esta cuenca se encuentra una de las principales zonas de recarga del Acuífero Guaraní.

El Departamento Seguimiento de Componentes del Ambiente (DSCA) tiene el cometido de formular, ejecutar y evaluar los planes nacionales de monitoreo de calidad de los diferentes cuerpos de agua del país. En este contexto, el DSCA lleva a cabo el monitoreo de calidad de agua en la cuenca del río Tacuarembó.

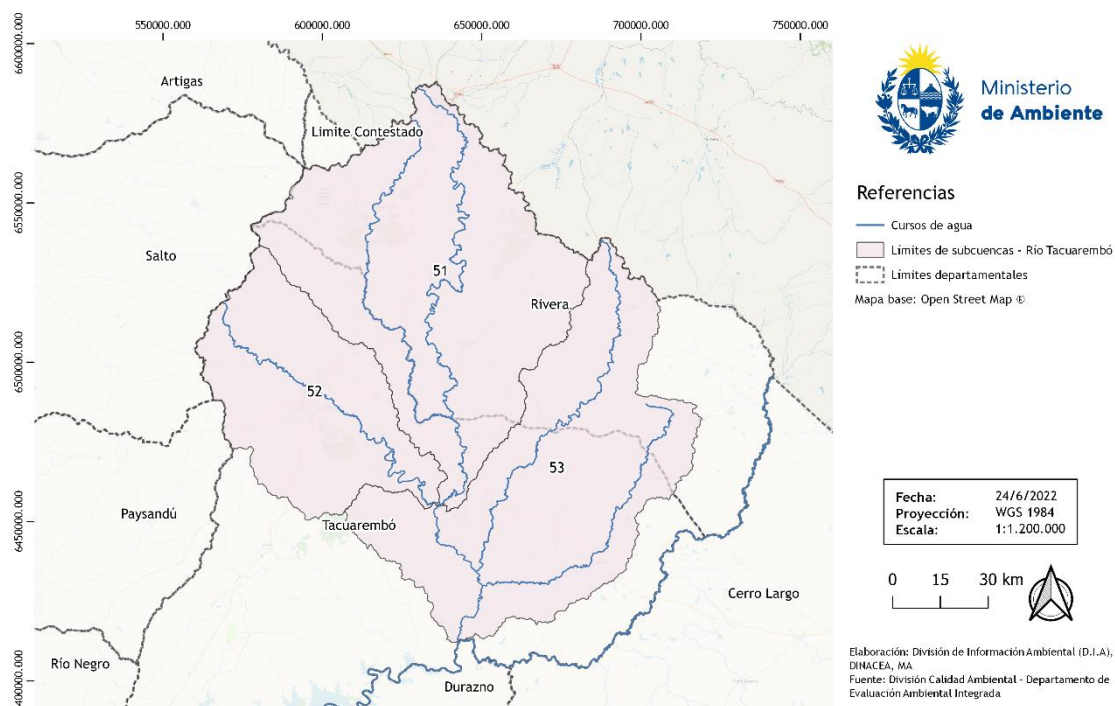


Figura 1. Mapa de la Cuenca del río Tacuarembó.

1.1. Objetivos del plan

El plan de monitoreo de la cuenca del río Tacuarembó tiene como objetivo principal, conocer la calidad del agua en los cursos principales de la cuenca del río Tacuarembó, y evaluar a corto y mediano plazo los cambios en el sistema frente a los posibles impactos producidos en la cuenca, con el fin de poder gestionarla. Este plan se inscribe en los Planes Nacionales de Protección del Medio Ambiente, que tienen como propósito garantizar el desarrollo sostenible y poner a disposición de los ciudadanos la información generada, así como los aspectos técnicos vinculados a la obtención de la misma.

2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

2.1. Plan de monitoreo

El monitoreo de la cuenca del río Tacuarembó se realiza en 12 estaciones (Figura 2, Tabla 1), y su distribución se diseñó en función del recorrido del cauce principal, teniendo en cuenta sus principales tributarios y características geográficas de la cuenca. Las estaciones que evalúan tributarios se establecieron a suficiente distancia aguas abajo de su desembocadura (i.e. XTAC030.S, XTAC040.S), considerando la zona de mezcla, para obtener muestras representativas. La selección de los sitios de muestreo fue el resultado de una conciliación entre lograr un muestreo representativo de la cuenca y contar con un fácil acceso (puentes y sitios frecuentemente utilizados como estaciones de aforo hidrológicos) (Ministerio de Ambiente, 2020).

Durante el año 2022 fueron realizadas 3 campañas de las 4 planificadas, debido a problemas logísticos.

Tabla 1. Ubicación en coordenadas y su correspondiente descripción para los 12 puntos de monitoreo de esta campaña.

Estación	Latitud	Longitud	Descripción
XTAC010.S	-31,177506	-55,762436	Río Tacuarembó, aguas arriba de Tranqueras.
XTAC020.S	-31,52985	-55,686678	Río Tacuarembó, por ruta 5 a aproximadamente 1 Km de la intersección con la ruta 29.
XTAC030.S	-31,879482	-55,472443	Río Tacuarembó, Villa Ansina.
XTAC040.S	-32,321903	-55,416429	Río Tacuarembó, 3 Km del Frigorífico Modelo en Estancia Caraguatá.
XTAH004.S	-31,630071	-56,14485	Arroyo Tacuarembó chico, 21 Km aguas arriba de la ciudad de Tacuarembó.
XTAH013.S	-31,723072	-55,943337	Arroyo Tacuarembó chico. En parque Batlle
XTAH020.S	-31,965648	-55,675629	Arroyo Tacuarembó Chico, cerca de Los novillos, a aprox. 18Km de la ruta 26
XCPU010.S	-30,917365	-55,541327	Arroyo Cuñapirú, dentro de la ciudad de Rivera.
XCPU020.S	-31,340686	-55,475883	Arroyo Cuñapirú, 10 Km aguas arriba de Cuchilla Manguera.
XCUPO30.S	-31,737324	-55,543746	Arroyo Cuñapirú, sobre el puente en Paso Cunha.
XCAR010.S	-32,158081	-55,023937	Arroyo Caraguatá, 3 Km aguas arriba de Las Toscas.
XYAI010.S	-32,033503	-55,366831	Arroyo Yaguarí, 20 Km de Villa Ansina aguas abajo.

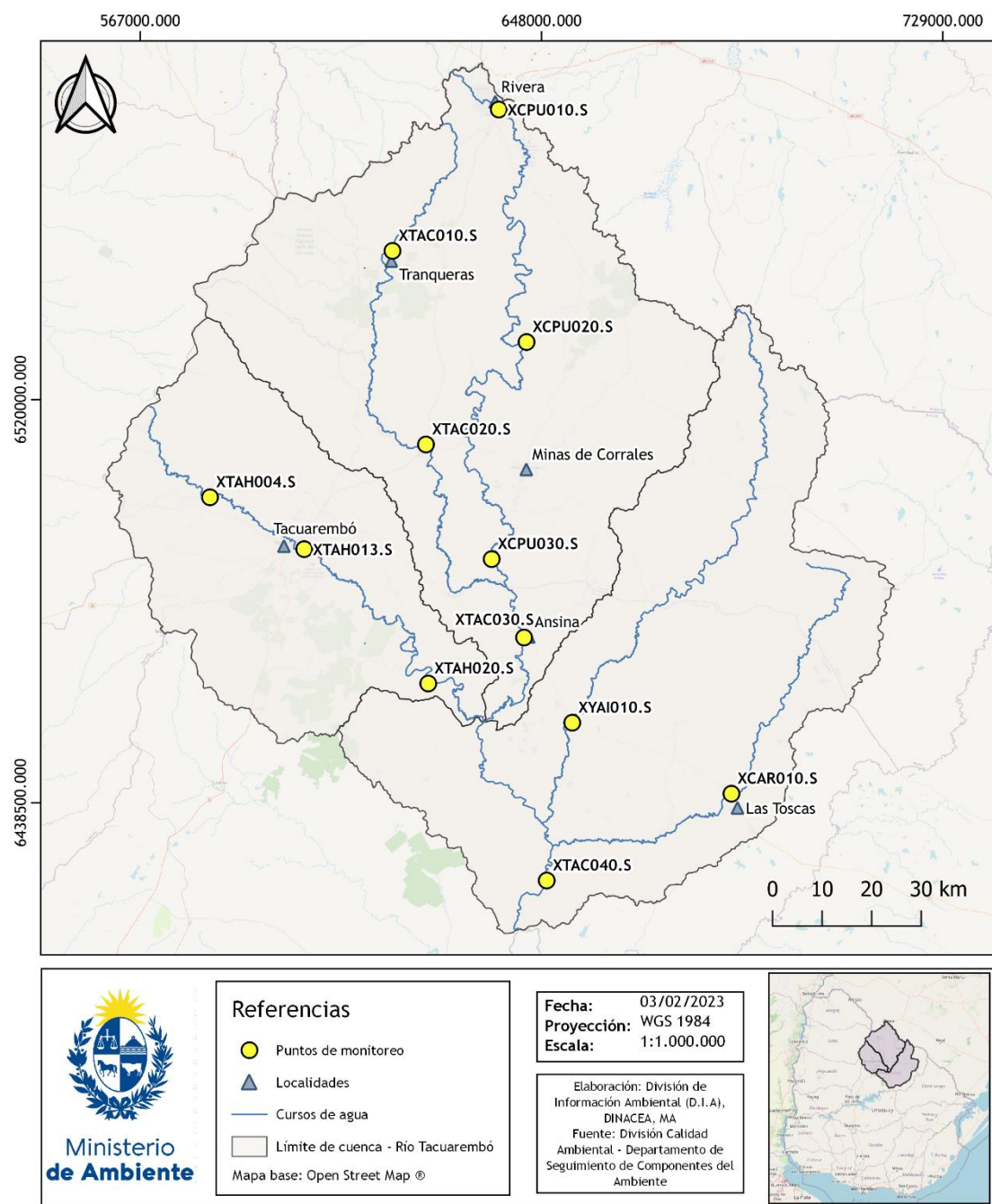


Figura 2. Cuenca del río Tacuarembó y ubicación de estaciones de monitoreo.

Los planes de monitoreo de calidad de agua deben proporcionar datos confiables y científicamente verificables. Por lo tanto, todas sus etapas deben ser debidamente planificadas y basarse en metodologías internacionalmente aprobadas. La metodología de trabajo para el monitoreo de la matriz agua se basó en el Programa Internacional del Sistema Global de Monitoreo Ambiental (guía operativa GEMS/Agua, 3^{ra} Ed, 94.1). Este es el mecanismo del sistema de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para coordinar las actividades de monitoreo y evaluación ambiental, realizadas tanto por las agencias especializadas de la ONU como por instituciones nacionales e internacionales. Constituye un esfuerzo conjunto de la comunidad internacional destinado a adquirir, a través del monitoreo permanente y su

evaluación, los datos y la información necesaria para el manejo ambiental a nivel global. No obstante, se adaptó a las capacidades nacionales disponibles (recursos humanos, equipos, materiales, técnicas, etc.). Esto lleva a que se monitoreen 33 variables (in situ y de laboratorio) (Tabla 2).

Tabla 2. Variables analizadas en cada campaña para la cuenca del río Tacuarembó clasificadas según categorías. También incluye abreviatura, unidades, así como los estándares utilizados (Decreto 253/79 y valores guía sugeridos por el grupo GESTA-Agua en 2014 y la Mesa Técnica del Agua). Estándar internacional establecido en la República Federal de Alemania para los Compuestos Halogenados Adsorbibles (AOX).

	Parámetro	Abreviatura	Unidad	Dec. 253/79	GESTA 2014	MTA	Otros
Características Físicoquímicas	Temperatura	Tem	°C				
	Conductividad	Cond	µS/cm				
	Potencial de hidrógeno	pH	--	6,5 - 8,5			
	Oxígeno disuelto	OD	mg/l	> 5			
	Turbidez	Turb	NTU	50			
	Demanda bioquímica de oxígeno	DBO ₅	mg/l	< 10			
	Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l				
	Alcalinidad		mg/l				
	Sustancias fenólicas		µg/l		< 5		
	Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l				
	Sólidos totales	ST	mg/l				
	Sólidos totales fijos	STF	mg/l				
	Sólidos totales volátiles	STV	mg/l				
	Compuestos halogenados adsorbibles	AOX	µg/l				< 25
Metálicos	Iones mayoritarios	Ca	mgO ₂ /l				
		Mg	mgO ₂ /l				
		Na	mgCaCO ₃ /l				
		K	µg/l				
	Arsénico	As	mg/l	< 0,005			
	Metales pesados	Hg	µg/l	< 0,2	< 0,1		
Nutrientes	Cianuro total	CN-total	mg/l		< 20		
	Fósforo reactivo soluble	PO ₄ ³⁻	µg/l			< 35	
	Fósforo total	PT	µg/l	≤ 25	≤ 70		
	Nitratos	NO ₃ ⁻	mg/l	≤ 10	< 5		
	Nitritos	NO ₂ ⁻	mg/l	≤ 0,1	< 0,1		
	Nitrógeno amoniacal	NH ₄ ⁺	mg/l		< 0,5		
	Amonio libre	NH ₃ ⁺	mg/l	≤ 0,02			
Biológicas	Nitrógeno total	NT	mg/l			< 1	
	Clorofila <i>a</i>	Clo <i>a</i>	µg/l			< 30	
	Feofitina <i>a</i>	Feo <i>a</i>	µg/l				
Fitosanitarios	Coliformes termotolerantes	CT	UFC/100 ml	≤ 2000			
	Glifosato	Glifosato	µg/l		< 65		
	Ácido amino-metil-fosfónico	AMPA	µg/l				

2.2. Índices de calidad de agua

Los Índices de Calidad de Agua son una herramienta que estandariza niveles de calidad en función de un conjunto de parámetros seleccionados como indicadores, lo que permite comparar el estado trófico de distintos cuerpos de agua (lénticos y lóticos) ubicados en diferentes lugares geográficos. Además, pueden ser utilizados para determinar cambios en la calidad del agua entre distintos tramos de una red hidrográfica y entre el mismo tramo a través del tiempo.

El cálculo del Índice de Estado Trófico (IET) permite clasificar los cuerpos de agua según una escala de calidad definida en función del fósforo total (PT, expresado en $\mu\text{g/L}$). El IET permite clasificar los cursos/tramos en 6 categorías de estado trófico (Tabla 4).

Para el cálculo del IET en cuerpos de agua lóticos se utiliza la fórmula de Lamparelli (2004):

$$IET = 10 \left(6 - \left((0.42 - 0.36(\ln(PT))) \div \ln(2) \right) \right) - 20$$

Tabla 3. Valoración del estado trófico de ríos a partir del IET, elaborado según los valores de fósforo total.

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

El Índice de Calidad de Agua (IQA) fue adaptado por CETESB (Brasil), a partir del Water Quality Index (WQI) desarrollado por la NSF (EEUU). Las variables utilizadas para el cálculo del IQA son 8: pH, % saturación de oxígeno, DBO₅, turbidez, fósforo total, nitrógeno total, sólidos totales y Coliformes Termotolerantes. La fórmula del IQA adaptada por CETESB (Brasil) es la siguiente:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Dónde:

IQA: Índice de Calidad de Agua (valor entre 0 y 100).

q_i : calidad de cada parámetro, número entre 0 y 100, obtenido de la curva media de variación de calidad, en función de su concentración.





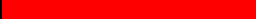
w_i : peso correspondiente a cada parámetro, número entre 0 y 1 atribuido en función de la importancia de cada parámetro en la conformación global de calidad (Tabla 5).

Tabla 4. Parámetros de calidad de agua del IQA y peso respectivo

Parámetro	Peso (W)
Oxígeno Disuelto	0,17
Coliformes Termotolerante	0,15
pH	0,12
DBO ₅	0,1
Δ Temperatura	0,1
NT	0,1
PT	0,1
Turbidez	0,08

El IQA presenta la escala de calidad del agua con cinco categorías (Tabla 6).

Tabla 5. Escala cromática asociada a las categorías de calidad del agua del IQA.

Rangos de IQA utilizados	Valoración	Representación cromática
91-100	Excelente	
71-90	Buena	
51-70	Media	
26-50	Mala	
0-25	Muy Mala	

2.3. Tratamiento de los datos

En el caso de algunas variables, buena parte de los resultados están comprendidos en el entorno de los límites de la técnica. Para facilitar el tratamiento de estos datos se toman por convención las analogías que se observan en la Tabla 3.

Tabla 6. Cálculos utilizados para representar los valores numéricos de los resultados yuxtapuestos a los límites de la técnica.

< LD	=	LD
< LC	=	LC/2
LD < X < LC	=	(LC+LD)/2

La concentración de amoníaco libre se obtuvo a través de la fórmula (CCME, 2010):

$$NH_3 = \frac{NH_4}{1 + 10^{(-0.467 + \frac{2887.9}{T(^{\circ}C) + 273.15} - pH)}}$$

La Tasa de absorción de sodio (RAS) fue calculada mediante la fórmula:

$$RAS = \frac{Na * 0.04348}{\sqrt{\frac{Ca * 0.0499 + Mg * 0.08224}{2}}}$$

El agua que tiene un índice de RAS por debajo de 3 es considerada como segura para el riego.

3. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados correspondientes a la calidad del agua superficial. Se dispone de 3 muestreos de agua para el período estudiado.

3.1. Calidad de agua

3.1.1. Variables *in situ*

3.1.1.1. Temperatura

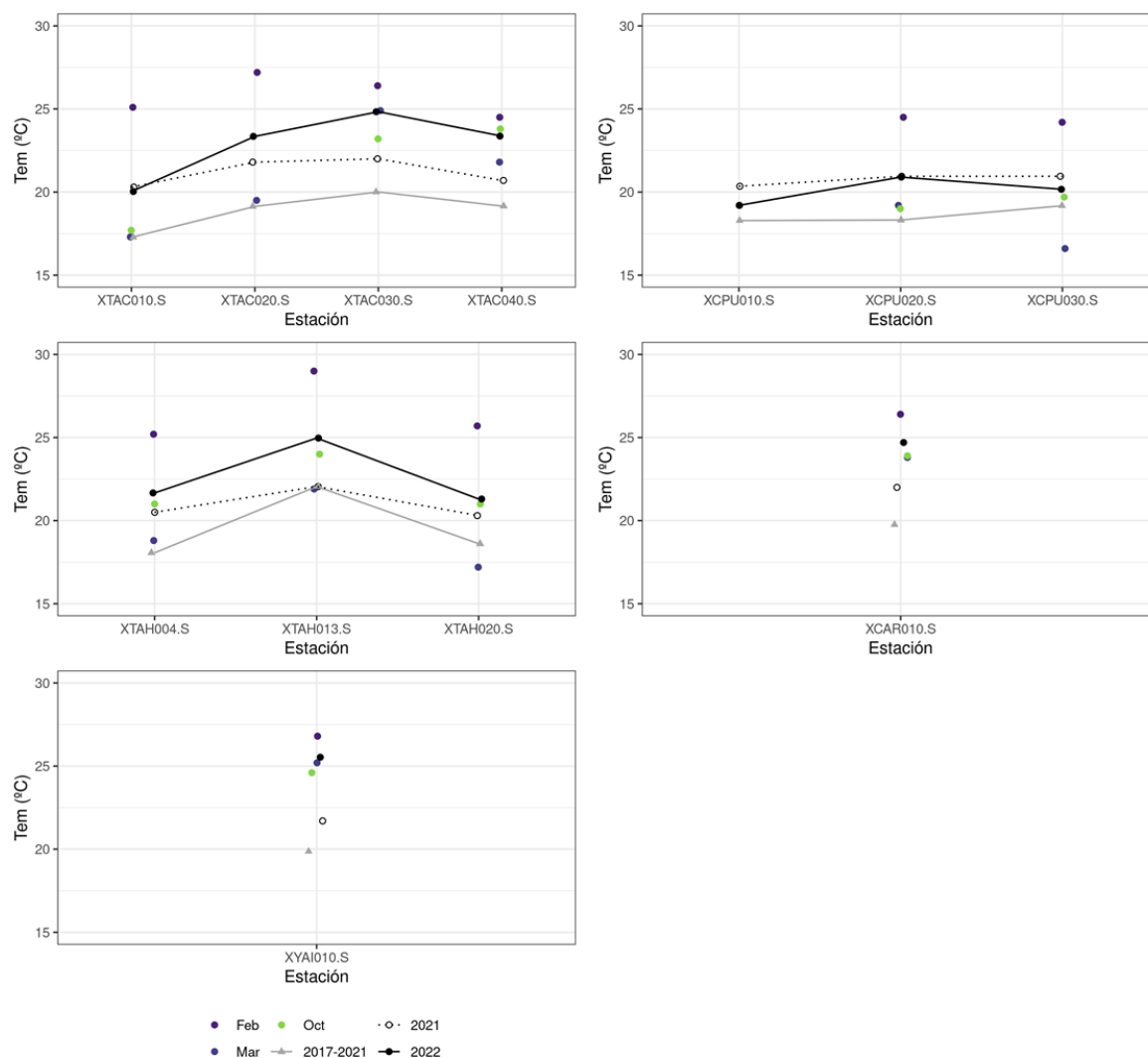


Figura 3. Variación espacial y temporal de la Temperatura del agua en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Temperatura para el año 2022, promedio para el año 2021, y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.

Tabla 7. Estadísticas básicas de la Temperatura. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó chico	Arroyo Caragatá	Arroyo Yaguarí
n	11	7	9	3	3
Cuantificados	11	7	9	3	3
Unidad: °C					
MIN	17,3	16,6	17,2	23,8	24,6
MAX	27,2	24,5	29,0	26,4	26,8
PROM	22,9	20,3	22,6	24,7	25,5
MEDIANA	23,8	19,2	21,9	23,9	25,2
MIN > Estación - Mes	XTAC010.S - 3	XCPU030.S - 3	XTAH020.S - 3	XCAR010.S - 3	XYAI010.S - 10
MAX > Estación - Mes	XTAC020.S - 2	XCPU020.S - 2	XTAH013.S - 2	XCAR010.S - 2	XYAI010.S - 2

3.1.1.2. Conductividad

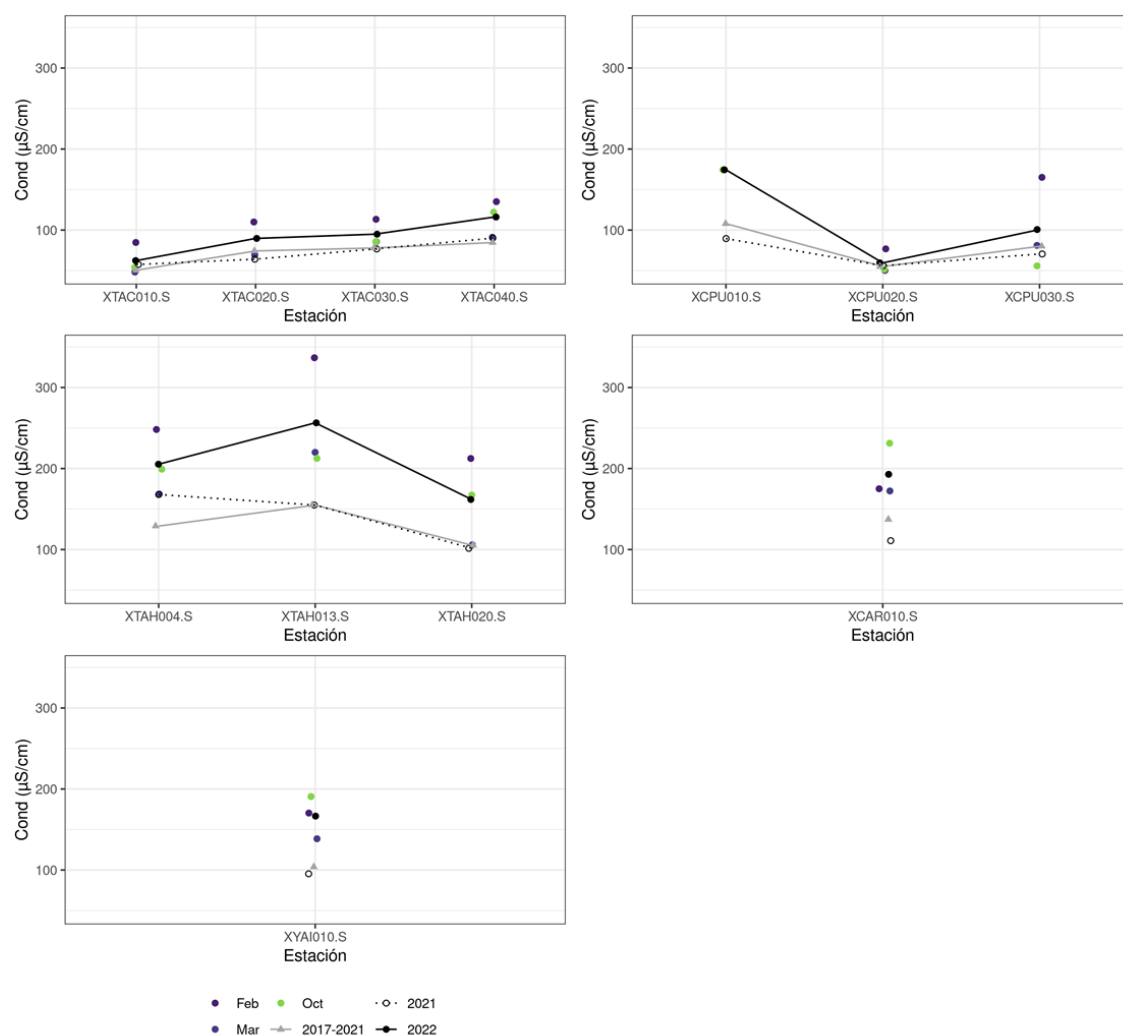


Figura 4. Variación espacial y temporal de la Conductividad del agua en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Conductividad para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.

Tabla 8. Estadísticas básicas de la Conductividad. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó chico	Arroyo Caraguatá	Arroyo Yaguarí
n	11	7	9	3	3
Cuantificados	11	7	9	3	3
Unidad: $\mu\text{S/cm}$					
MIN	48,2	50,2	105,8	172,3	138,6
MAX	135,1	174,4	336,7	231,2	190,7
PROM	90,9	93,6	207,8	192,8	166,5
MEDIANA	85,8	76,8	212,4	175,0	170,3
MIN > Estación - Mes	XTAC010.S - 3	XCPU020.S - 3	XTAH020.S - 3	XCAR010.S - 3	XYAI010.S - 3
MAX > Estación - Mes	XTAC040.S - 2	XCPU010.S - 10	XTAH013.S - 2	XCAR010.S - 10	XYAI010.S - 10

3.1.1.3. Oxígeno Disuelto

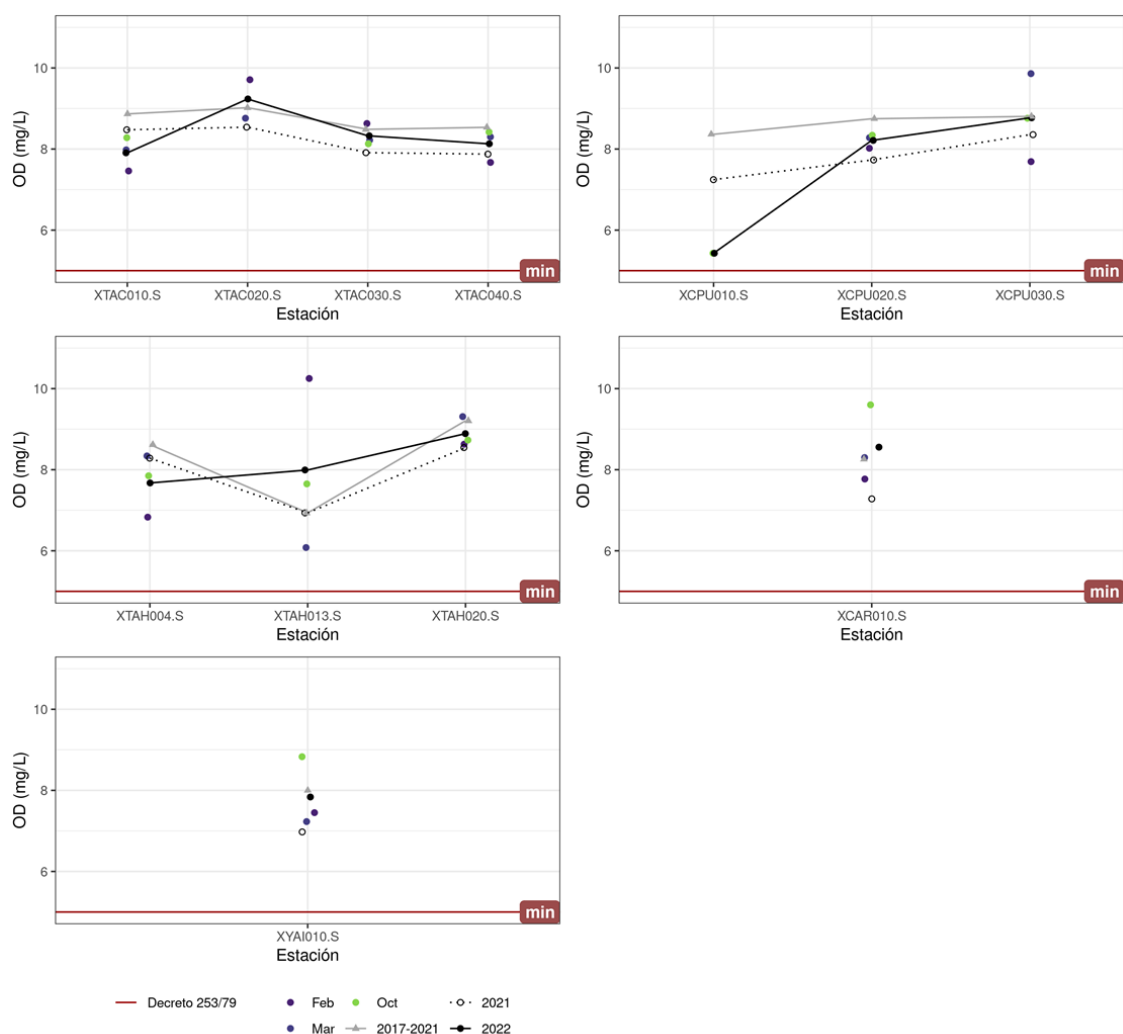


Figura 5. Variación espacial y temporal del Oxígeno disuelto en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Oxígeno disuelto para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.

Tabla 9. Estadísticas básicas del Oxígeno disuelto. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o valor guía (STD) del Decreto 253 y modificativos, cantidad de valores que no cumplen, % de incumplimiento en relación a ese valor.

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó chico	Arroyo Caragatá	Arroyo Yaguarí
n	11	7	9	3	3
Cuantificados	11	7	9	3	3
Unidad: mg/L					
MIN	7,5	6,4	6,1	7,8	7,2
MAX	9,7	8,2	10,3	9,6	8,8
PROM	8,3	7,4	8,2	8,6	7,8
MEDIANA	8,3	7,7	8,3	8,3	7,5
MIN > Estación - Mes	XTAC010.S - 2	XCPU020.S - 3	XTAH013.S - 3	XCAR010.S - 2	XYAI010.S - 3
MAX > Estación - Mes	XTAC020.S - 2	XCPU030.S - 2	XTAH013.S - 2	XCAR010.S - 10	XYAI010.S - 10
STD	<5	<5	<5	<5	<5
No cumplen STD (n)	0	0	0	0	0
No Cumple (%)	0	0	0	0	0

3.1.1.4. pH

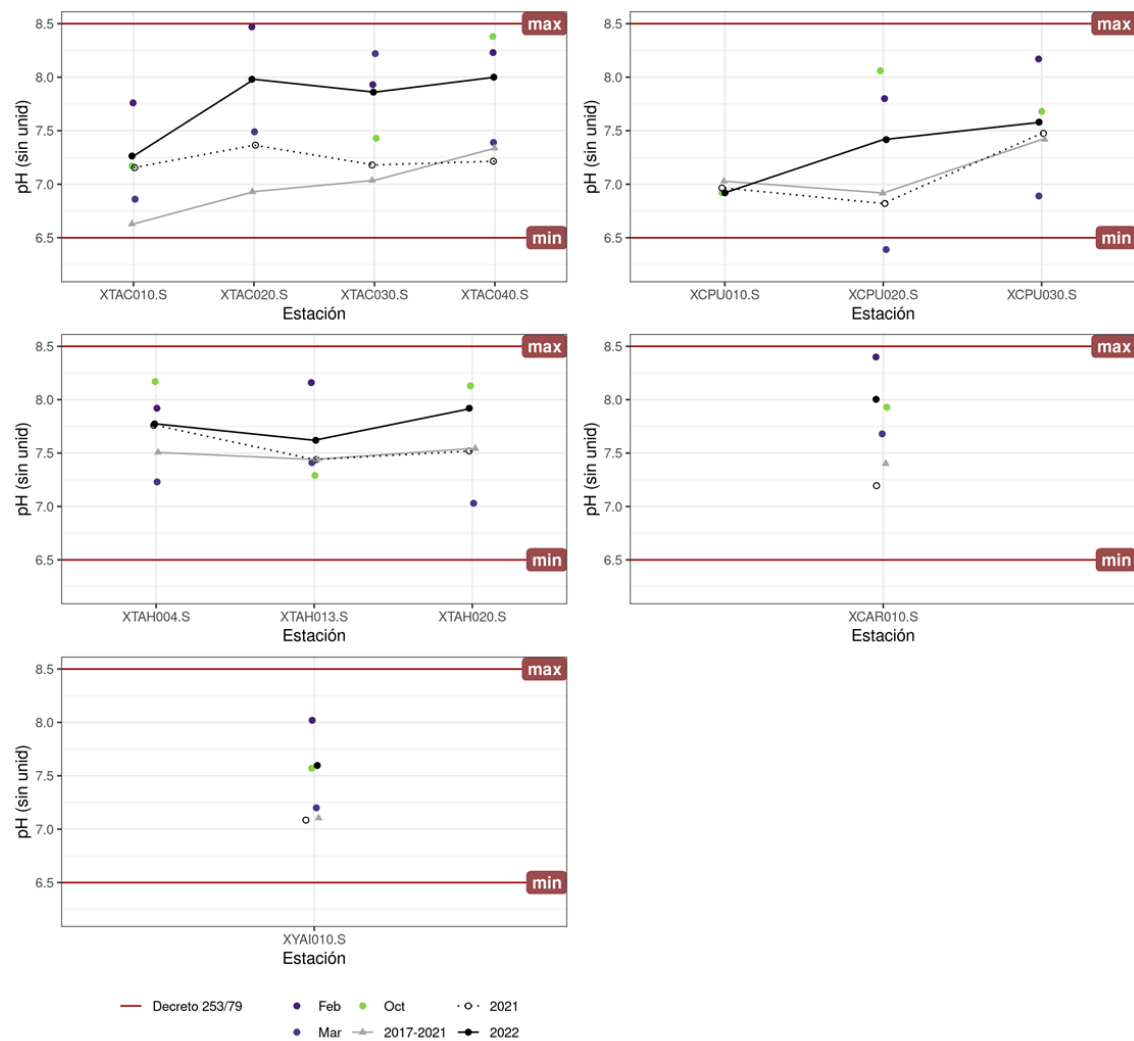


Figura 6. Variación espacial y temporal del pH en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de pH para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.

Tabla 10. Estadísticas básicas del pH. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o valor guía (STD) del Decreto 253 y modificativos, cantidad de valores que no cumplen, % de incumplimiento en relación a ese valor.

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó chico	Arroyo Caraguatá	Arroyo Yaguarí
n	11	7	9	3	3
Cuantificados	11	7	9	3	3
Unidad:					
MIN	6,9	6,4	7,0	7,7	7,2
MAX	8,5	8,2	8,6	8,4	8,0
PROM	7,8	7,4	7,8	8,0	7,6
MEDIANA	7,8	7,7	7,9	7,9	7,6
MIN > Estación - Mes	XTAC010.S - 3	XCPU020.S - 3	XTAH020.S - 3	XCAR010.S - 3	XYAI010.S - 3
MAX > Estación - Mes	XTAC020.S - 2	XCPU030.S - 2	XTAH020.S - 2	XCAR010.S - 2	XYAI010.S - 2
STD	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
No cumplen STD (n)	0	1	0	0	0
No Cumple (%)	0	14,3	0	0	0

3.1.2. Resultados analíticos

3.1.2.1. Alcalinidad

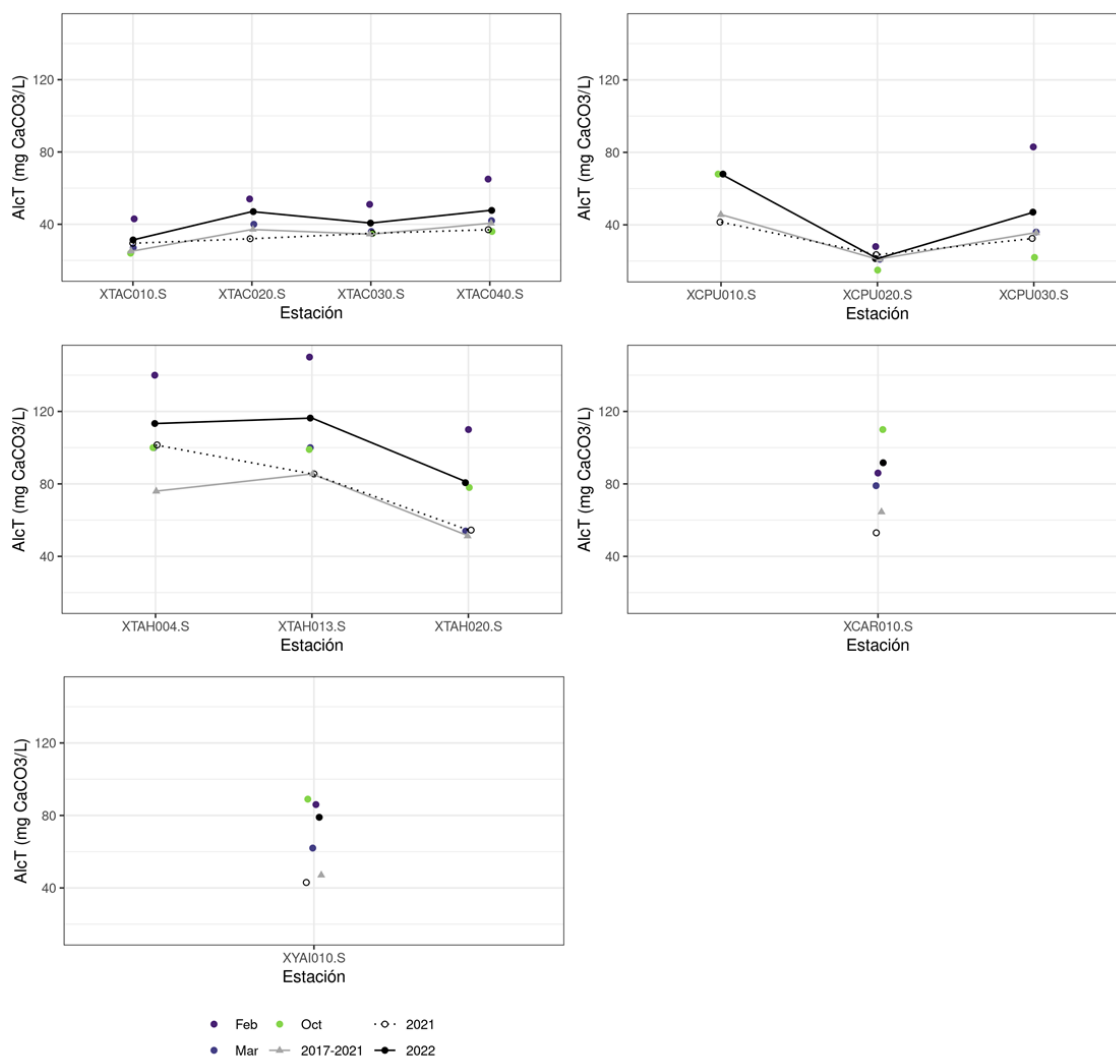


Figura 7. Variación espacial y temporal de la Alcalinidad total en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Alcalinidad para el año 2022, promedio para el año 2021, y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.

Tabla 11. Estadísticas básicas de alcalinidad. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó chico	Arroyo Caraguatá	Arroyo Yaguari
n	11	7	9	3	
Cuantificados	11	7	9	3	
Unidad: mg/L					
MIN	24,0	15,0	54,0	79,0	62,0
MAX	65,0	83,0	150,0	110,0	89,0
PROM	41,2	39,0	103,4	91,7	79,0
MEDIANA	40,0	28,0	100,0	86,0	86,0
MIN > Estación - Mes	XTAC010.S - 10	XCPU020.S - 10	XTAH020.S - 3	XCAR010.S - 3	XYAI010.S - 3
MAX > Estación - Mes	XTAC040.S - 2	XCPU030.S - 2	XTAH013.S - 2	XCAR010.S - 10	XYAI010.S - 10

3.1.2.2. Sustancias fenólicas

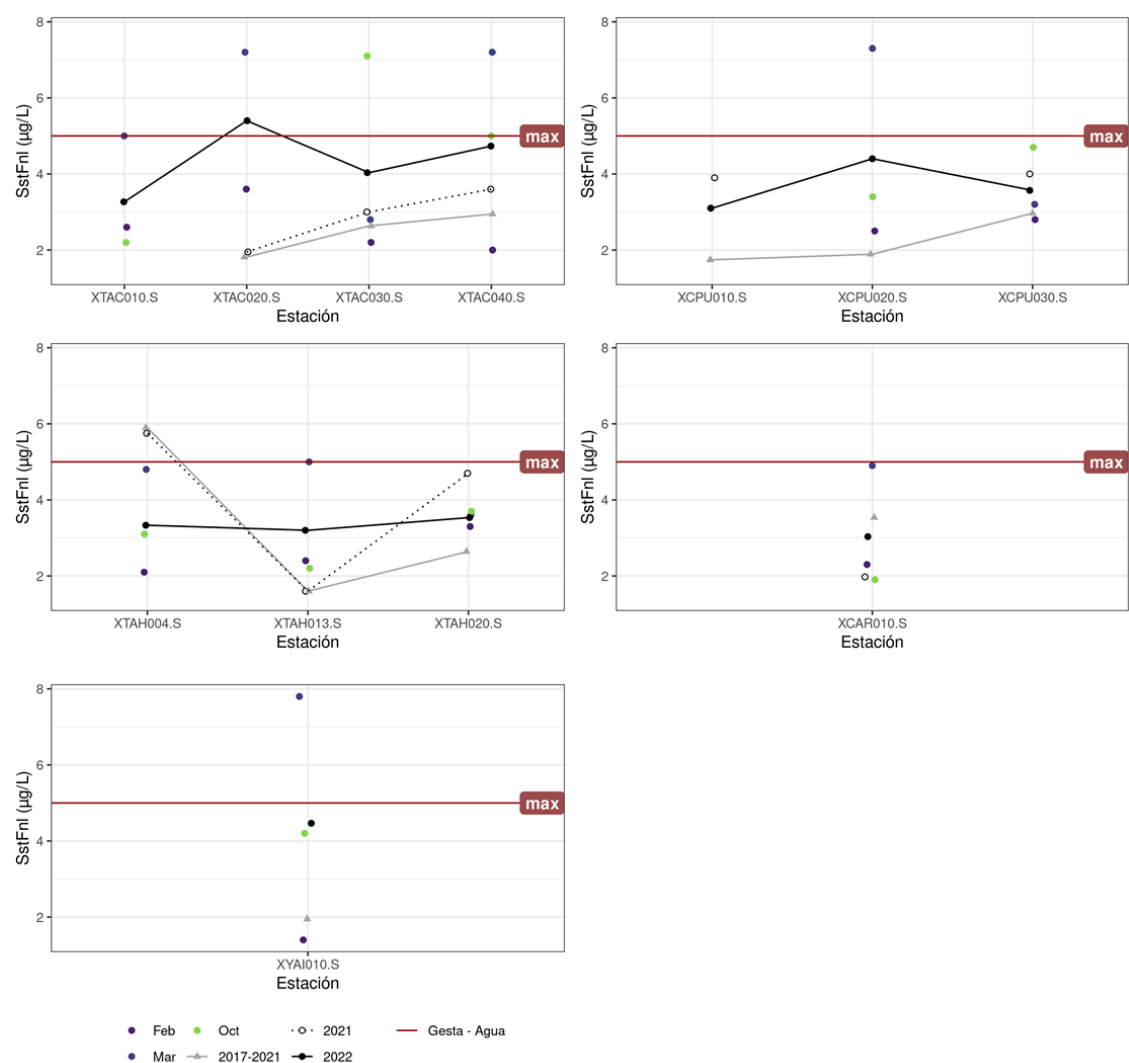


Figura 8. Variación espacial y temporal de la Sustancias fenólicas en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Sustancias fenólicas para el año 2022, promedio para el año 2021, y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.

Tabla 12. Estadísticas básicas de Sustancias fenólicas. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o valor guía (STD) de GESTA-Agua 2014, cantidad de valores que no cumplen, % de incumplimiento en relación a ese valor.

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó chico	Arroyo Caraguatá	Arroyo Yaguarí
n	11	7	9	3	
Cuantificados	11	7	9	3	
Unidad: µg/L					
MIN	2,0	2,5	2,1	1,9	1,4
MAX	7,2	7,3	5,0	4,9	7,8
PROM	4,3	3,9	3,4	3,0	4,5
MEDIANA	3,6	3,2	3,3	2,3	4,2
MIN > Estación - Mes	XTAC040.S - 2	XCPU020.S - 2	XTAH004.S - 2	XCAR010.S - 10	XYAI010.S - 2
MAX > Estación - Mes	XTAC020.S / XTAC040.S - 3	XCPU020.S - 3	XTAH013.S - 3	XCAR010.S - 2	XYAI010.S - 3
STD	<5	<5	<5	<5	<5
No cumplen STD (n)	6	6	8	3	2
NO Cumple (%)	54.5	85.7	88.8	100	33.3

3.1.2.3. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Con respecto a la DBO₅ en la cuenca del río Tacuarembó Grande, se obtuvieron tres datos, y uno estuvo por encima del límite de detección y cuantificación de la técnica, registrando un valor 2,1 mg/L en la estación XTAC030.S en el mes de octubre. Para el arroyo Cuñapirú únicamente se registró un valor de 8,9 mg/L en el mes de octubre. Para el arroyo Tacuarembó Chico, de seis datos obtenidos, cuatro estuvieron por encima de los límites de cuantificación y detección, presentando un máximo de 11,0 mg/L y un mínimo de 3,7 mg/L en la estación XTAH013.S en febrero y marzo, respectivamente. Por último, para los arroyos Caraguatá y Yaguarí no se contó con datos.

En una sola oportunidad en la estación XTAH013.S en el mes de febrero, se superó el valor referencia establecido por el Decreto 253/79 y modificativos (10,0 mg/L).

3.1.2.4. Demanda química de oxígeno (DQO)

La DQO para el caso de la cuenca del río Tacuarembó Grande se registraron 3 valores con un máximo de 42,0 mg/L y un mínimo de 21,0 mg/L, ambas en la estación XTAC030.S en el mes de octubre y febrero respectivamente. Para el caso del arroyo Cuñapirú se registró un único valor de 39,0 mg/L en el mes de octubre. Por otro lado, para el arroyo Tacuarembó chico de los seis valores obtenidos, dos estuvieron por debajo de los límites de cuantificación y detección de la técnica (XTAH004.S, febrero y marzo), el máximo se registró en la estación XTAH013.S en el mes de marzo (44,0 mg/L) y el mínimo en la estación XTAH004.S en el mes de octubre (21,0 mg/L). Por último, para los arroyos Caraguatá y Yaguarí no se contó con datos.

3.1.3. Sólidos

3.1.3.1. Sólidos Totales Volátiles (STV)

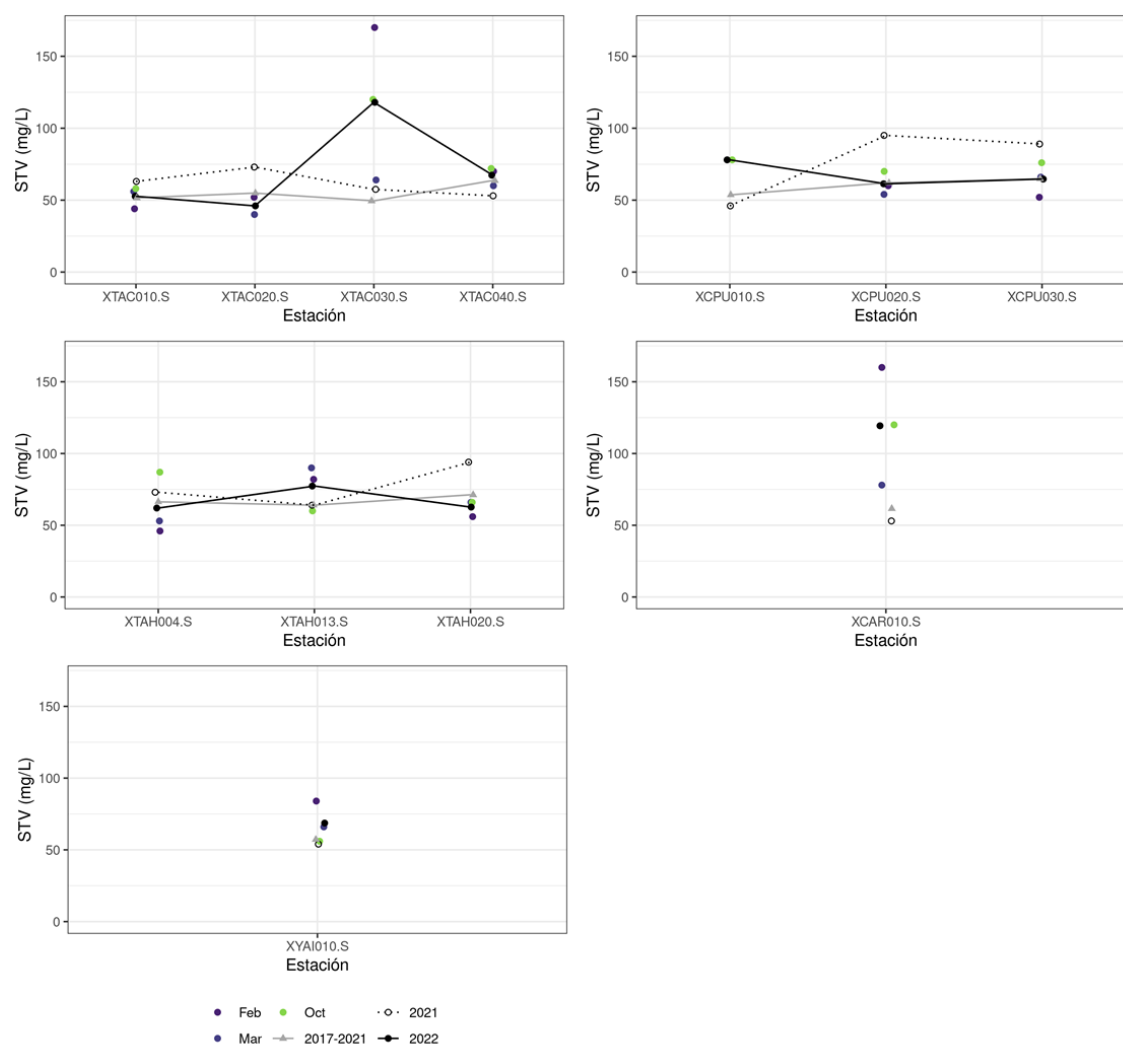


Figura 9. Variación espacial y temporal de Sólidos totales volátiles en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Sólidos totales volátiles para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.

Tabla 13. Estadísticas básicas de Sólidos totales volátiles. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó chico	Arroyo Caragatá	Arroyo Yaguari
n	11	7	9	3	3
Cuantificados	11	7	9	3	3
Unidad: mg/L					
MIN	40,0	52,0	46,0	78,0	56,0
MAX	170,0	78,0	90,0	90,0	84,0
PROM	73,3	65,1	67,3	67,3	68,7
MEDIANA	60,0	66,0	66,0	66,0	66,0
MIN > Estación - Mes	XTAC020.S - 3	XCUP030.S - 2	XTAH004.S - 2	XCAR010.S - 3	XYA010.S - 10
MAX > Estación - Mes	XTAC030 - 2	XCUP010.S - 10	XTAH013.S - 3	XCAR010.S - 2	XYA010.S - 2

3.1.3.2. Sólidos totales fijos (STF)

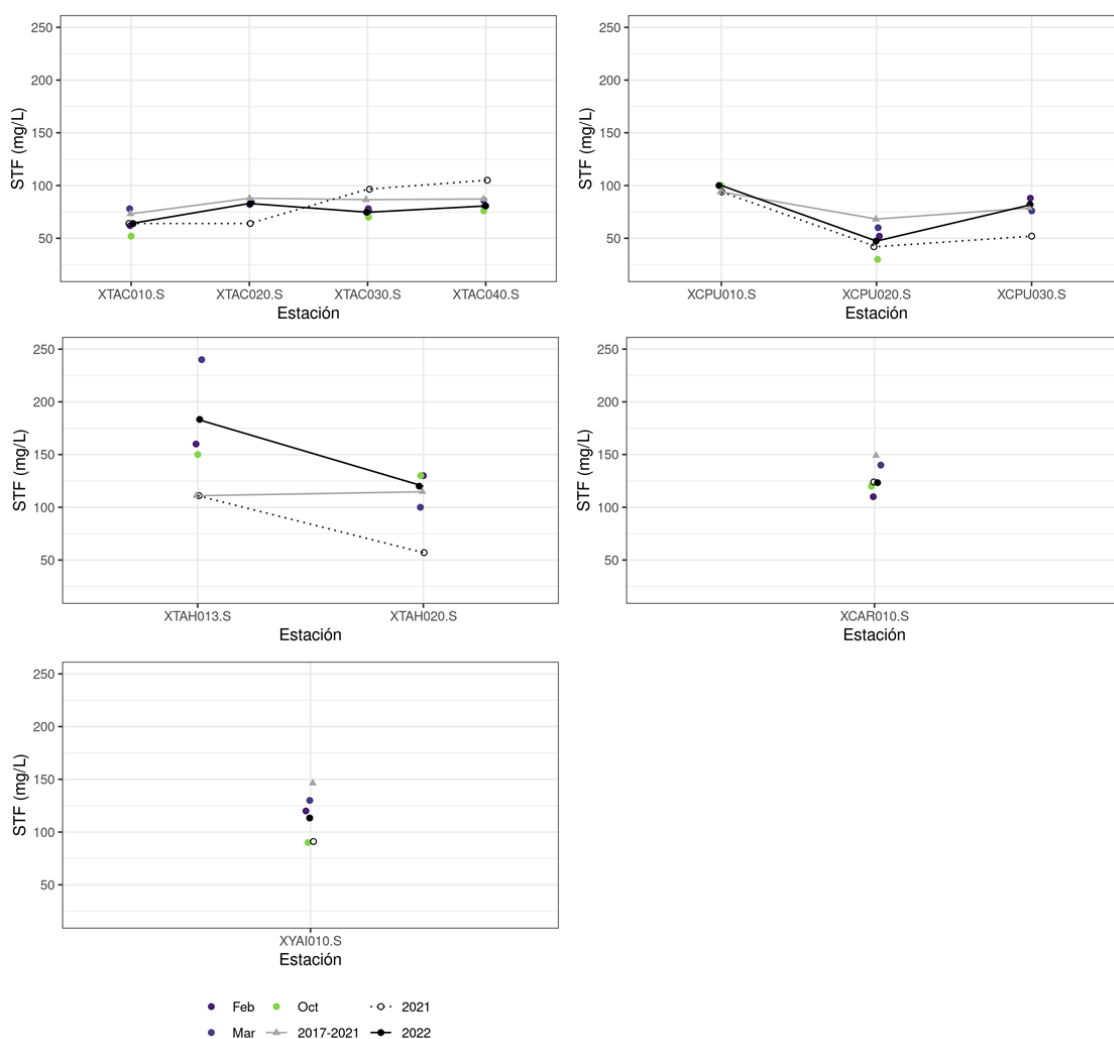


Figura 10. Variación espacial y temporal de Sólidos totales fijos en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Sólidos totales fijos para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.

Tabla 14. Estadísticas básicas de Sólidos totales fijos. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó chico	Arroyo Caragatá	Arroyo Yaguarí
n	11	7	9	3	3
Cuantificados	11	7	9	3	3
Unidad: mg/L					
MIN	52,0	30,0	100,0	110,0	90,0
MAX	86,0	100,0	240,0	140,0	130,0
PROM	74,9	69,7	150,0	123,3	113,3
MEDIANA	78,0	76,0	150,0	120,0	120,0
MIN > Estación - Mes	XTAC010.S - 10	XCPU020.S - 10	XTAH020.S - 3	XCAR010.S - 2	YAI010.S - 10
MAX > Estación - Mes	XTAC040.S - 2	XCPU010.S - 10	XTAH013.S - 3	XCAR010 - 3	YAI010.S - 3

3.1.3.3. Sólidos suspendidos totales (SST)

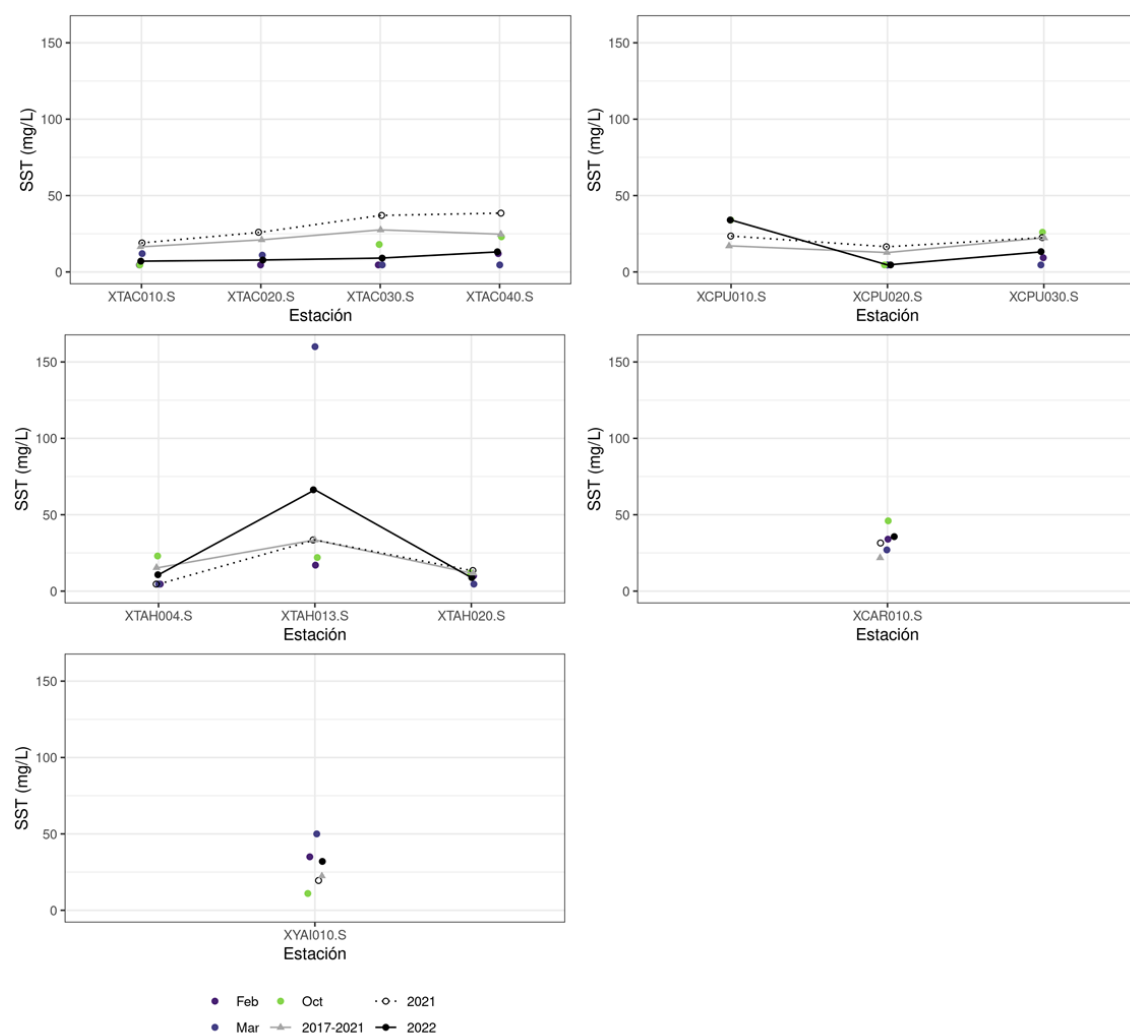


Figura 11. Variación espacial y temporal de Sólidos suspendidos totales en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Solidos suspendidos totales para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.

Tabla 15. Estadísticas básicas de Sólidos suspendidos totales. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó chico	Arroyo Caragatá	Arroyo Yaguarí
n	11	7	9	3	3
Cuantificados	5	3	6	3	3
Unidad: mg/L					
MIN	11,0	9,3	10,0	27,0	11,0
MAX	23,0	34,0	160,0	46,0	50,0
PROM	15,2	23,1	40,7	35,7	32,0
MEDIANA	12,0	26,0	19,5	34,0	35,0
MIN > Estación - Mes	XTAC020.S - 3	XCPU030.S - 2	XTAH020.S - 2	XCAR010.S - 3	XYAI010.S - 10
MAX > Estación - Mes	XTAC040.S - 10	XCPU010.S - 10	XTAH013.S - 3	XCAR010.S - 10	XYAI010.S - 3

3.1.3.4. Sólidos Totales (ST)

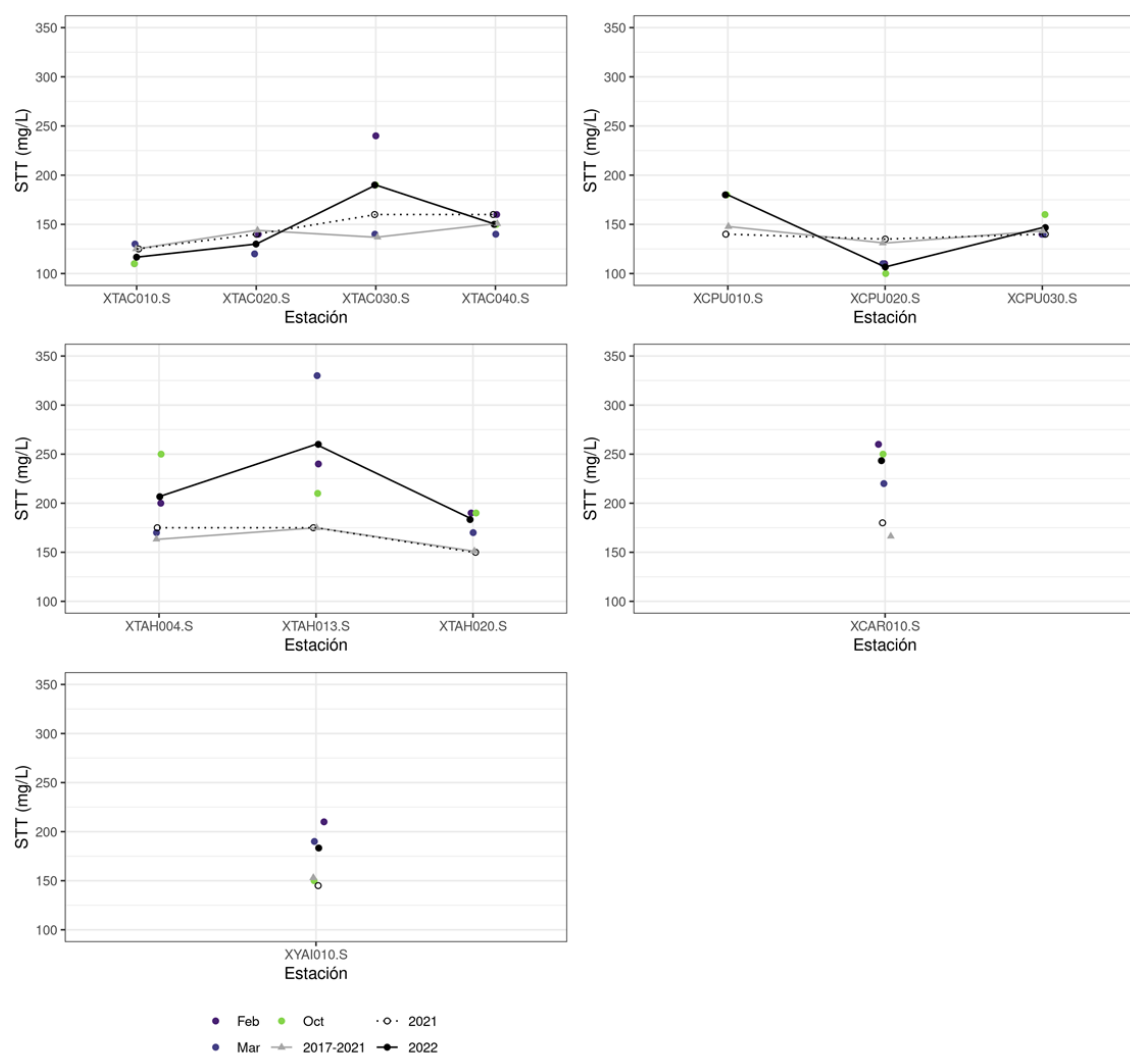


Figura 12. Variación espacial y temporal de Sólidos totales en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Sólidos totales para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.

Tabla 16. Estadísticas básicas de Sólidos totales. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó chico	Arroyo Caragatá	Arroyo Yaguarí
n	11	7	9	3	3
Cuantificados	11	7	9	3	3
Unidad: mg/L					
MIN	110,0	100,0	170,0	220,0	150,0
MAX	240,0	180,0	330,0	260,0	210,0
PROM	148,2	134,3	216,7	243,3	183,3
MEDIANA	140,0	140,0	200,0	250,0	190,0
MIN > Estación - Mes	XTAC010.S - 2;10	XCPU020.S - 10	XTAH004.S; XTAH020.S - 3	XCAR010.S - 3	XYA010.S - 10
MAX > Estación - Mes	XTAC030.S - 2	XCPU010.S - 10	XTAH0130.S - 3	XCAR010.S - 2	XYA010.S - 2

3.1.4 Metales

3.1.4.1 Iones mayoritarios

3.1.4.1.1. Calcio (Ca)

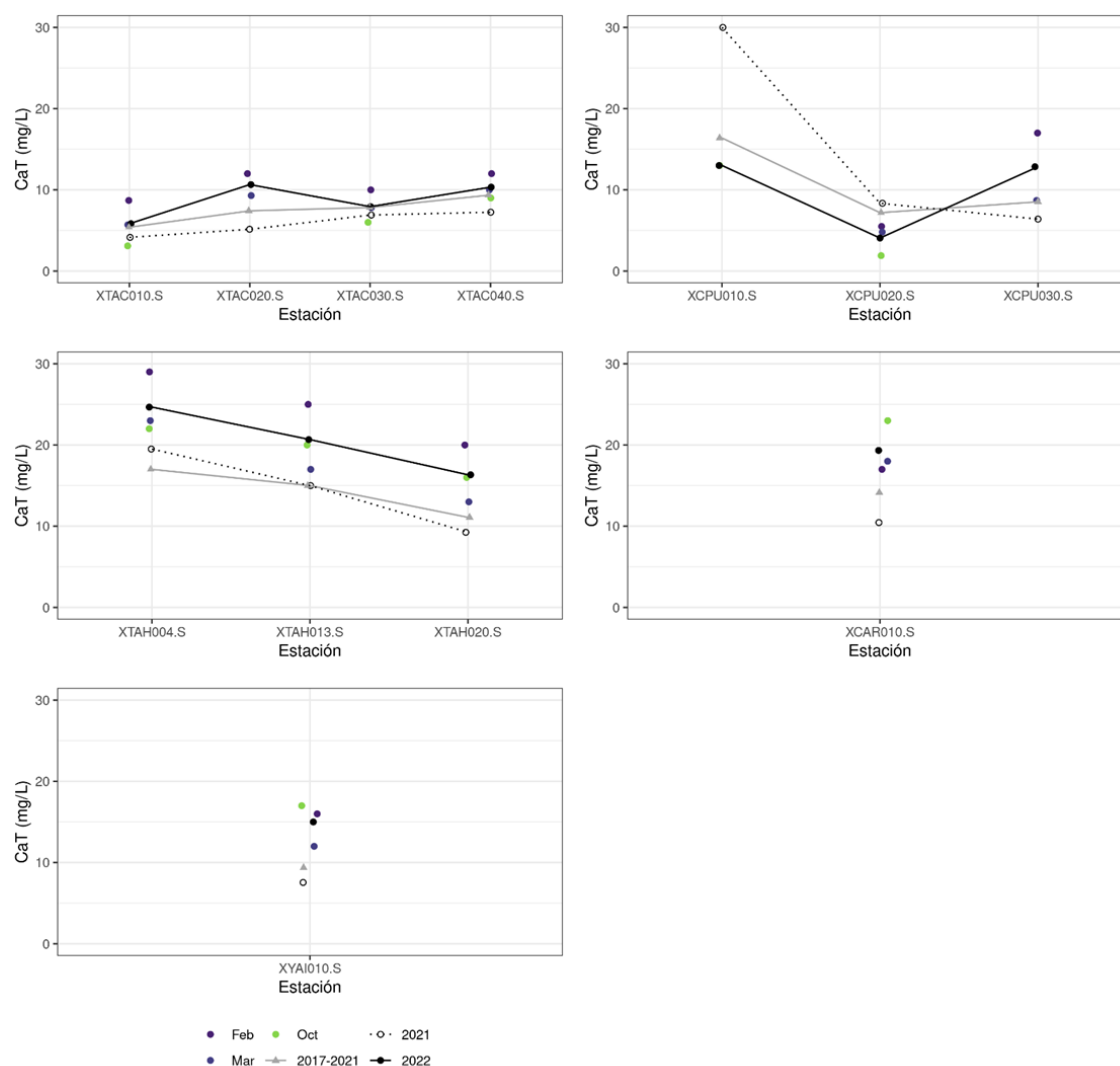


Figura 13. Variación espacial y temporal de Calcio en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Calcio para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2020.

Tabla 17. Estadísticas básicas de Calcio. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó Chico	Arroyo Caragatá	Arroyo Yaguarí
n	11	7	9	3	3
Cuantificados	11	7	9	3	3
Unidad: mg/L					
MIN	3,1	1,9	13,0	17,0	12,0
MAX	12,0	17,0	29,0	23,0	17,0
PROM	8,5	8,5	20,6	19,3	15,0
MEDIANA	9,0	7,1	20,0	18,0	16,0
MIN > Estación - Mes	XTAC010.S - 10	XCPU030.S - 10	XTAH020.S - 3	XCAR010.S - 2	XYAI010.S - 3
MAX > Estación - Mes	XTAC040.S - 2	XCPU030.S - 2	XTAH004.S - 2	XCAR010.S - 10	XYAI010.S - 2

3.1.4.1.2. Magnesio (Mg)

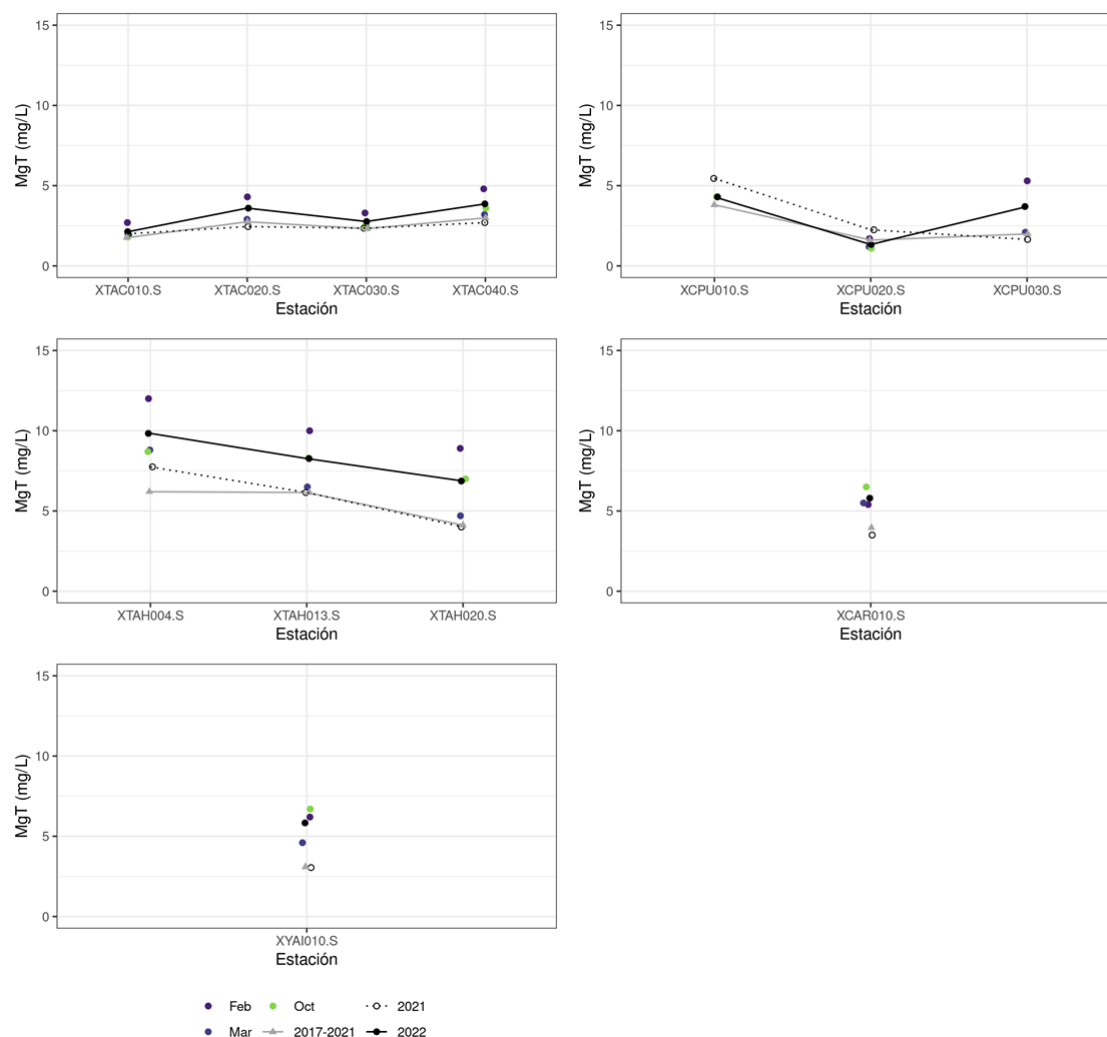


Figura 14. Variación espacial y temporal de Magnesio en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Magnesio para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.

Tabla 18. Estadísticas básicas de Magnesio. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó Chico	Arroyo Caraguatá	Arroyo Yaguarí
n	11	7	9	3	3
Cuantificados	11	7	9	3	3
Unidad: mg/L					
MIN	1,8	1,1	4,7	5,4	4,6
MAX	4,8	5,3	12,0	6,5	6,7
PROM	3,0	2,6	8,3	5,8	5,8
MEDIANA	2,9	1,9	8,7	5,5	6,2
MIN > Estación - Mes	XTAC010.S - 10	XCPU020.S - 10	XTAH020.S - 3	XCAR010.S - 2	XYAI010.S - 3
MAX > Estación - Mes	XTAC040.S - 2	XCPU030.S - 2	XTAH004.S - 2	XCAR010.S - 10	XYAI010.S - 2

3.1.4.1.3. Potasio (K)

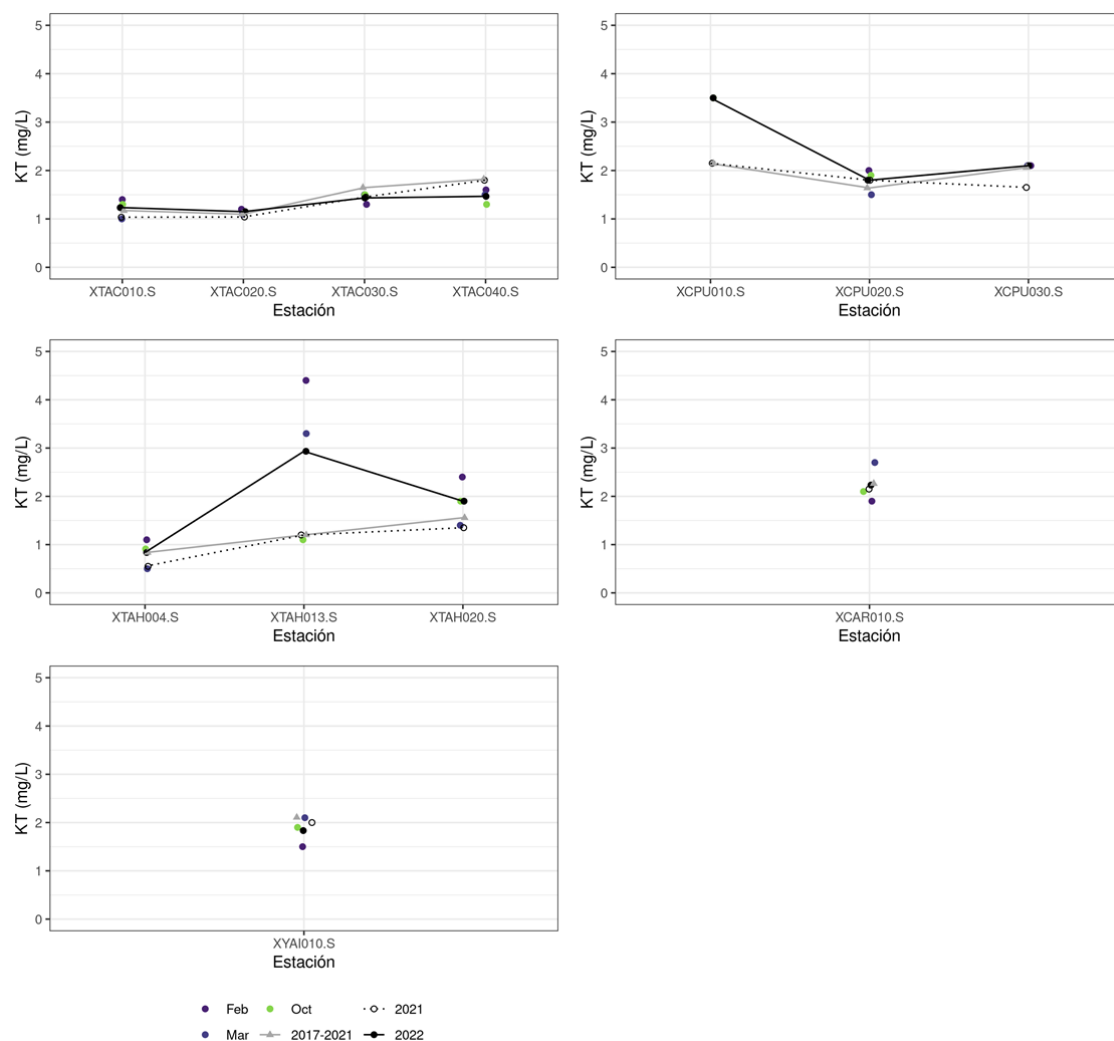


Figura 15. Variación espacial y temporal de Potasio en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Potasio para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.

Tabla 19. Estadísticas básicas de Potasio. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó Chico	Arroyo Caraguatá	Arroyo Yaguarí
n	11	7	9	3	3
Cuantificados	11	7	8	3	3
Unidad: mg/L					
MIN	1,0	1,5	0,9	1,9	1,5
MAX	1,6	3,5	4,4	2,7	2,1
PROM	1,3	2,2	2,1	2,2	1,8
MEDIANA	1,3	2,1	5,8	2,1	1,9
MIN > Estación - Mes	XTAC010.S - 3	XCPU020.S - 3	XTAH004.S - 10	XCAR010.S - 2	XYAI010.S - 2
MAX > Estación - Mes	XTAC040.S - 3	XCPU010.S - 10	XTAH013.S - 2	XCAR010.S - 3	XYAI010.S - 3

3.1.4.1.4. Sodio (Na)

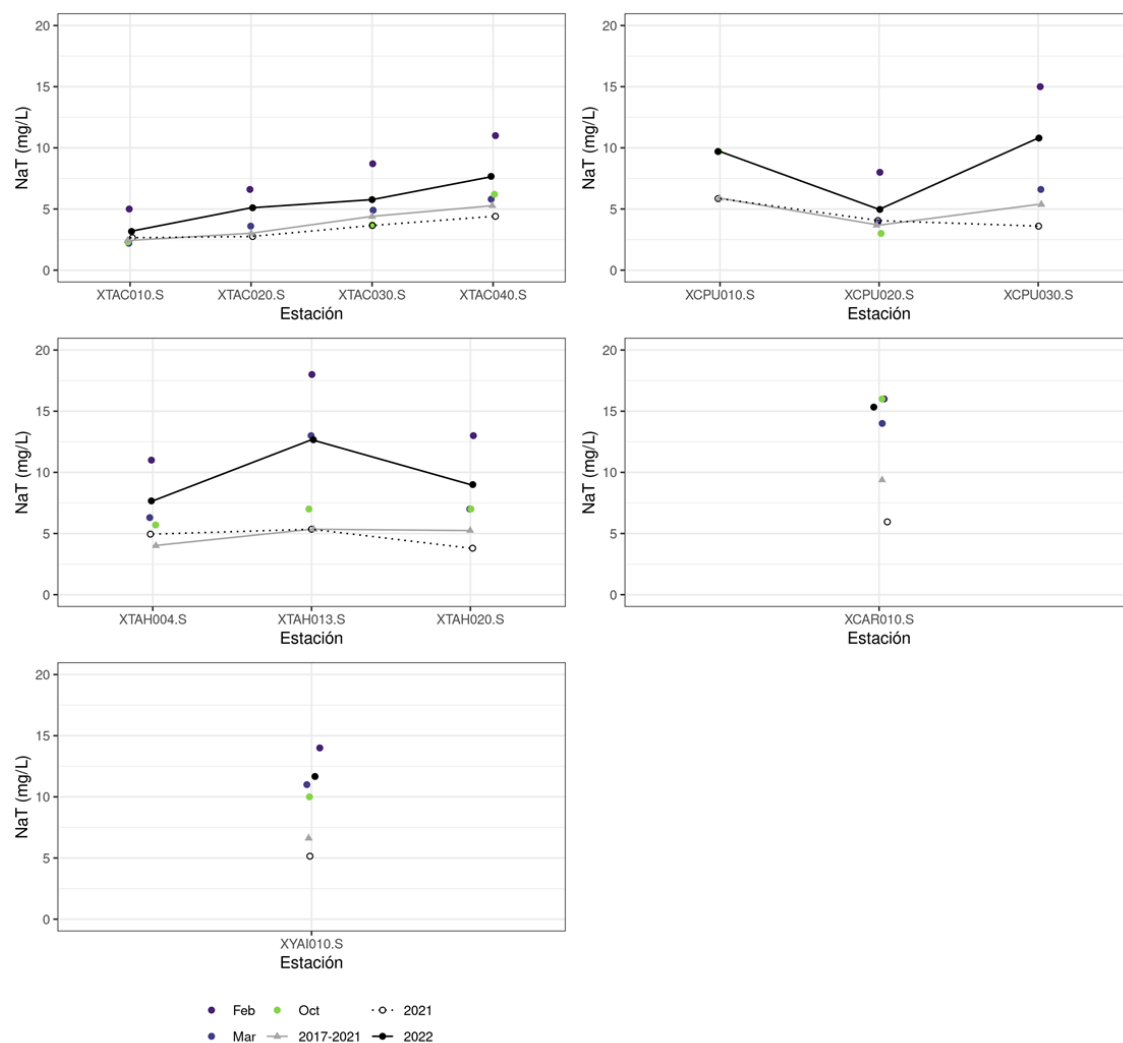


Figura 16. Variación espacial y temporal de Sodio en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Sodio para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.

Tabla 20. Estadísticas básicas de Sodio. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó Chico	Arroyo Caragatá	Arroyo Yaguarí
n	11	7	9	3	3
Cuantificados	11	7	8	3	3
Unidad: mg/L					
MIN	2,2	3,0	5,7	14,0	10,0
MAX	11,0	15,0	18,0	16,0	14,0
PROM	5,5	7,7	9,8	15,3	11,7
MEDIANA	5,0	7,3	7,0	16,0	11,0
MIN > Estación - Mes	XTAC010.S - 3	XCPU020.S - 10	XTAH004.S - 10	XCAR010.S - 3	XYAI010.S - 10
MAX > Estación - Mes	XTAC040.S - 3	XCPU030.S - 2	XTAH013.S - 2	XCAR010.S - 2 y 10	XYAI010.S - 2

3.1.4.1.5. Relación de absorción de sodio (RAS)

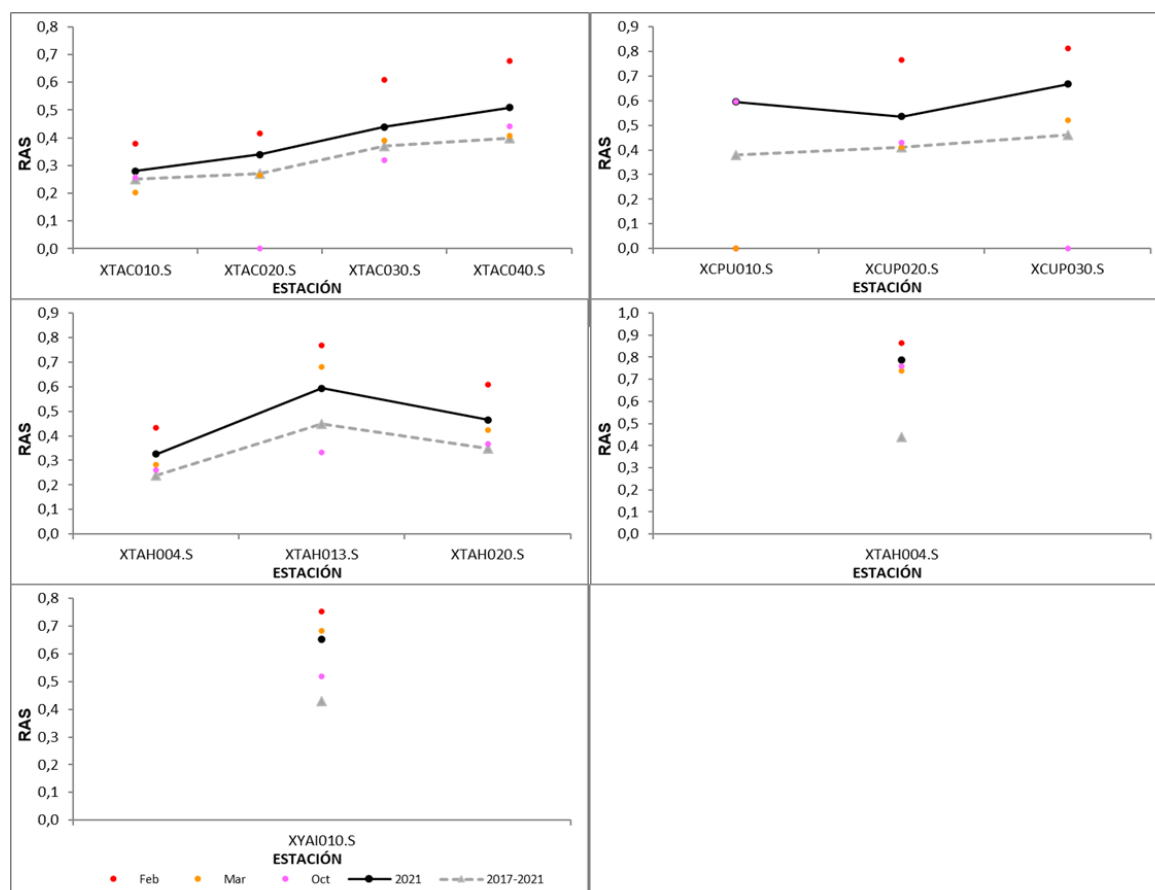


Figura 17. Variación espacial y temporal de RAS en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de RAS para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.

Tabla 21. Estadísticas básicas de RAS. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual.

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó Chico	Arroyo Caraguatá	Arroyo Yaguarí
n	11	7	9	3	3
Cuantificados	11	6	9	3	3
Unidad:					
MIN	0,20	0,41	0,26	0,74	0,52
MAX	0,68	0,81	0,77	0,87	0,75
PROM	0,40	0,59	0,46	0,79	0,65
MEDIANA	0,39	0,56	0,42	0,76	0,68
MIN > Estación - Mes	XTAC010.S - 3	XCPU020.S - 3	XTAH004.S - 10	XCAR010.S - 3	YAI010.S - 10
MAX > Estación - Mes	XTAC040.S - 2	XCPU030.S - 2	XTAH013.S - 2	XCAR010.S - 2	YAI010.S - 2

3.1.4.2. Metales pesados

3.1.4.2.1. Mercurio (Hg)

Todos los valores registrados de mercurio en todas las cuencas estuvieron por debajo de los límites de detección y cuantificación de la técnica. En su totalidad las concentraciones se encuentran por debajo del límite estándar fijado en el Decreto 253/79 y modificativos (<0,0002 mg/L). Asimismo, todas las contracciones se encuentran muy por debajo del límite estándar de 0,0001 mg/L sugerido por GESTA-Agua en 2014.

3.1.5. Cianuro Total (CN total)

Todos los valores obtenidos para esta variable estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica, y se encuentran por debajo del estándar mínimo de 20 mg/L sugerido por GESTA-Agua en 2014.

3.1.6. Arsénico (As)

Todos los valores obtenidos para esta variable estuvieron por debajo de los límites de detección y cuantificación de la técnica y se encuentran por debajo del estándar de 0,005 mg/L establecido por el Decreto 253/76 y modificativos.

3.1.7. Nutrientes

3.1.7.1. Nitrito (NO₂)

Las concentraciones de Nitritos en las cuencas del río Tacuarembó Grande, arroyo Caraguatá y Yaguarí estuvieron por debajo de los límites de cuantificación y detección de la técnica. Para el caso del arroyo Cuñapirú, de los siete datos obtenidos, únicamente en una oportunidad se registró una concentración cuantificable de 0,1 mg/L (XCPU010.Soctubre). Por último, en el arroyo Tacuarembó Chico, de los nueve datos obtenidos, cuatro registros estuvieron por debajo del límite de detección y cuantificación de la técnica. El arroyo Tacuarembó Chico presentó un máximo de 0,26 mg/L (XTAH013.S, febrero), un mínimo de 0.0066 mg/L (XTAH020.S, marzo), un promedio de 0,080 mg/L y una mediana de 0,055 mg/L. En este sentido, en dos oportunidades se superó el valor límite sugerido por el Decreto 253/79 y modificativos y el GESTA-Agua 2014 (0,1 mg/L).

3.1.7.2. Nitrato (NO₃)

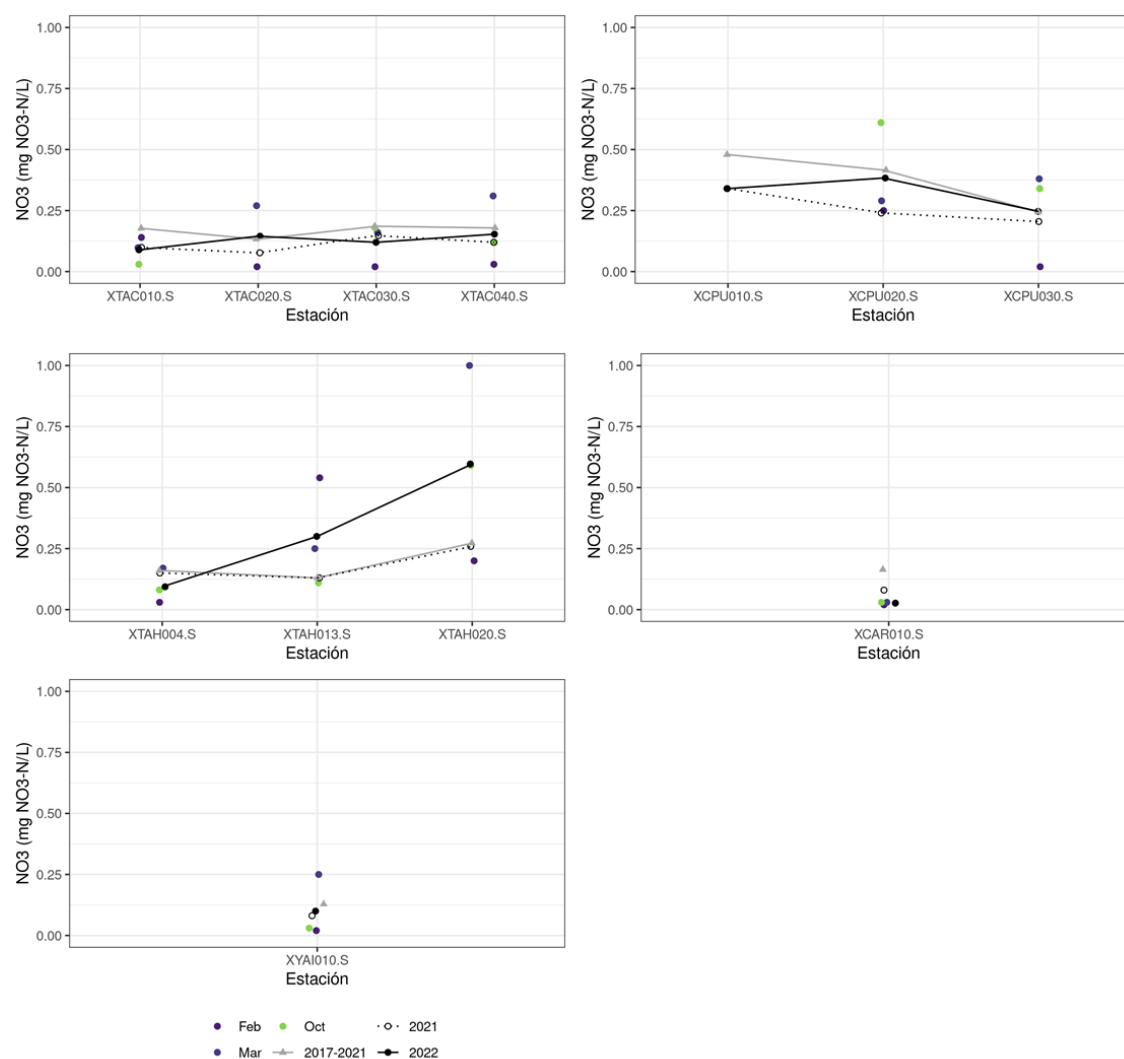


Figura 18. Variación espacial y temporal de Nitrato en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Nitrato para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.

Tabla 22. Estadísticas básicas del Nitrato. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o valor guía (STD) del Decreto 253 y modificativos* y valor GESTA 2014**, cantidad de valores que no cumplen, % de cumplimiento e incumplimiento en relación a ese valor.

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó chico	Arroyo Caraguatá	Arroyo Yaguarí
n	11	7	9	3	3
Cuantificados	7	6	8	0	1
Unidad: mg NO ₃ -N/L					
MIN	0,10	0,25	0,08	-	-
MAX	0,31	0,61	1,00	-	0,250
PROM	0,18	0,37	0,37	-	-
MEDIANA	0,16	0,34	0,23	-	-
MIN > Estación - Mes	XTAC010.S - 3	XCPU020.S - 2	XTAH004.S - 10	-	-
MAX > Estación - Mes	XTAC040.S - 3	XCPU020.S - 10	XTAH020.S - 3	-	-
STD	< 10*	< 10*	< 10*	< 10*	< 10*
	< 5**	< 5**	< 5**	< 5**	< 5**
No cumplen STD (n)	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
No Cumple (%)	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0

Todas las concentraciones de Nitratos para el arroyo Caraguatá estuvieron por debajo de los límites de cuantificación y detección de la técnica. Para el caso del arroyo Yaguarí se registró un valor cuantificable.

3.1.7.3. Amonio libre (NH₃)

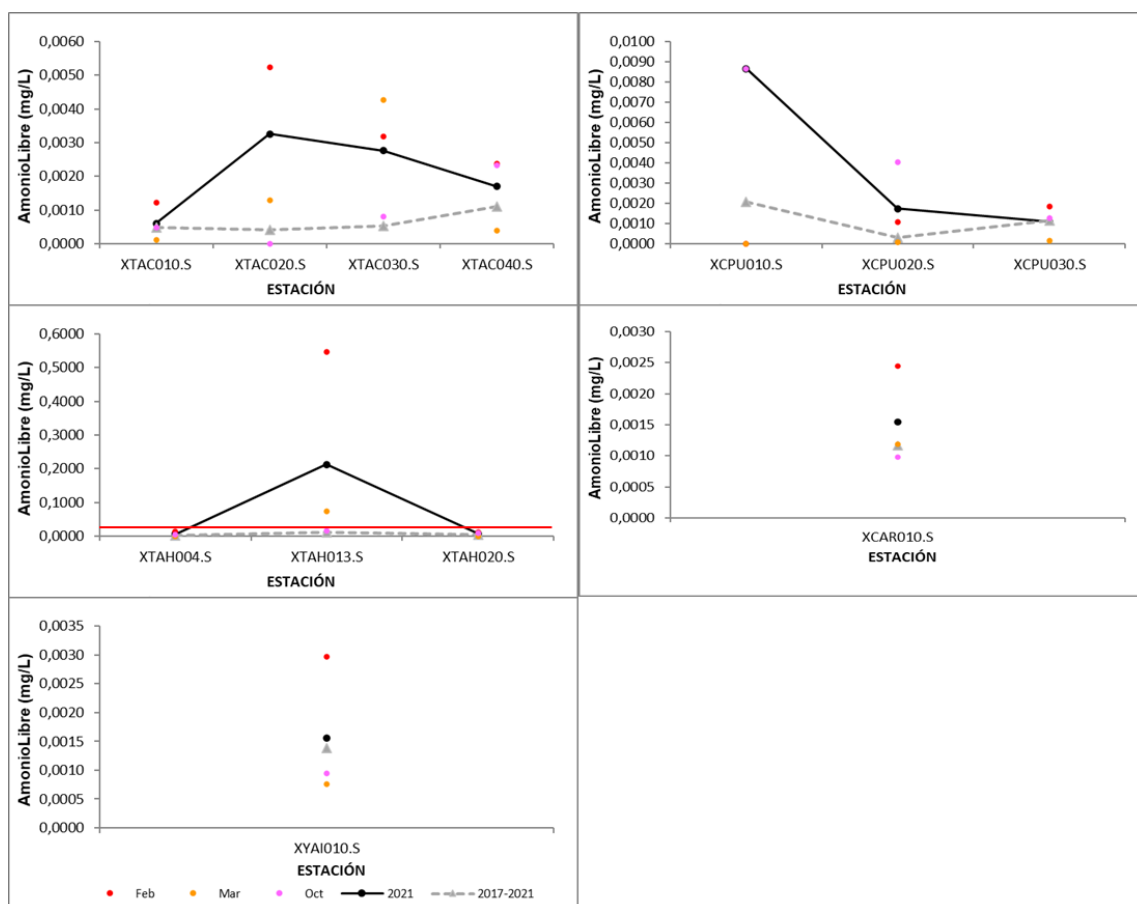


Figura 19. Variación espacial y temporal de Amonio libre en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Amonio libre para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.

Tabla 23. Estadísticas básicas del Amonio libre. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o valor guía (STD) del Decreto 253 y modificativos, cantidad de valores que no cumplen, % de cumplimiento e incumplimiento en relación a ese valor.

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó Chico	Arroyo Caraguatá	Arroyo Yaguarí
n	11	7	9	3	3
Cuantificados	11	7	9	3	3
Unidad: mg/L					
MIN	0,0001	0,0001	0,0001	0,0010	0,0010
MAX	0,0052	0,0087	0,5475	0,0024	0,0024
PROM	0,0020	0,0024	0,0751	0,0015	0,0015
MEDIANA	0,0013	0,0013	0,0123	0,0012	0,0012
MIN > Estación - Mes	XTAC010.S - 3	XCPU020.S - 3	XTAH020.S - 3	XCAR010.S - 10	XCAR010.S - 10
MAX > Estación - Mes	XTAC020.S - 2	XCPU010.S - 10	XTAH013.S - 2	XCAR010.S - 2	XCAR010.S - 2
STD	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
No cumplen STD (n)	0	0	2	0	0
No Cumple (%)	0	0	22	0	0

3.1.7.4. Nitrógeno amoniacal (NH₄)

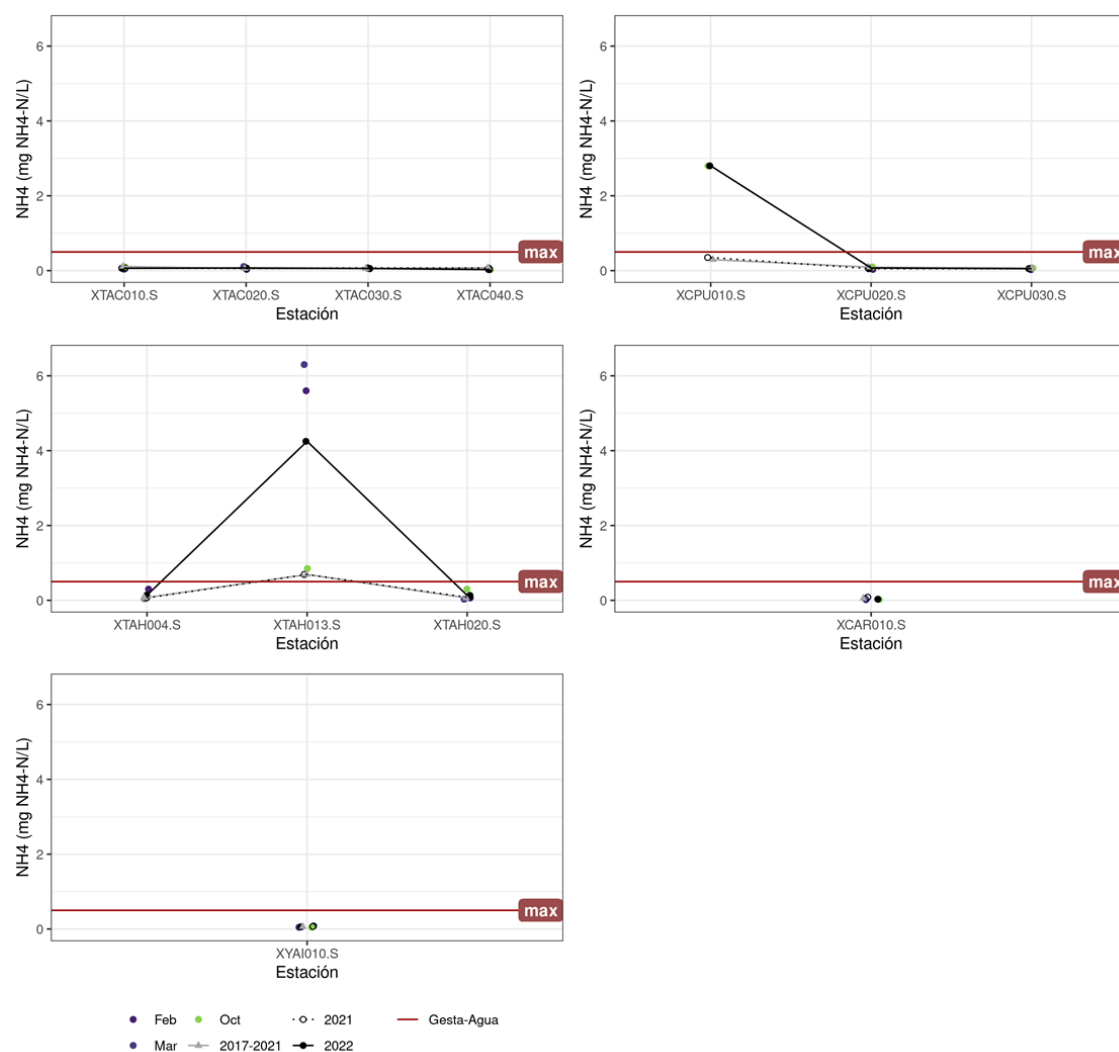


Figura 20. Variación espacial y temporal de Nitrógeno amoniacal en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Nitrógeno amoniacal para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.

Tabla 24. Estadísticas básicas del Nitrógeno amoniacal. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o guía (STD) del GESTA 2014, cantidad de valores que no cumplen, % de incumplimiento en relación a ese valor.

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó chico	Arroyo Caraguatá	Arroyo Yaguari
n	11	7	9	3	3
Cuantificados	11	7	9	3	3
Unidad: mg/L					
MIN	0,021	0,025	0,030	0,018	0,047
MAX	0,110	2,800	6,300	0,049	0,084
PROM	0,054	0,452	1,506	0,030	0,059
MEDIANA	0,050	0,069	0,300	0,023	0,047
MIN > Estación - Mes	XTAC040.S - 10	XCPU030.S - 2	XTAH020.S - 2	XCAR010.S - 3	XYAI010.S - 2 y 10
MAX > Estación - Mes	XTAC020.S - 3	XCPU010.S - 10	XTAH013.S - 3	XCAR010.S - 10	XYAI010.S - 3
STD	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5
No cumplen STD (n)	0	2	3	0	0
NO Cumple (%)	0	29	33	0	0

3.1.7.5. Nitrógeno Total (NT)

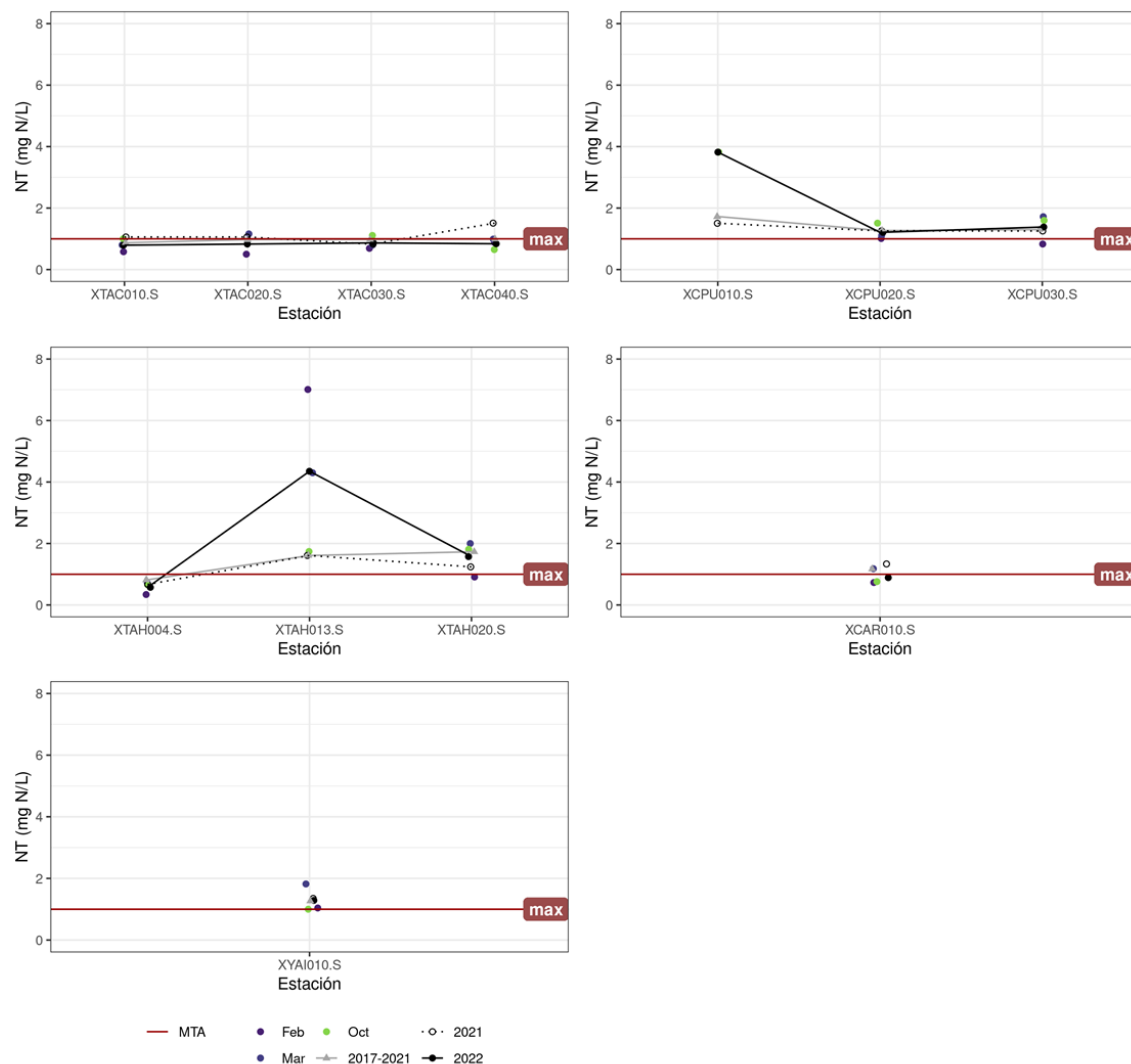


Figura 21. Variación espacial y temporal de Nitrógeno total en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Nitrógeno total para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.

Tabla 25. Estadísticas básicas del Nitrógeno total. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o valor guía (STD) de la MTA, cantidad de valores que no cumplen, % de incumplimiento en relación a ese valor.

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó chico	Arroyo Caraguatá	Arroyo Yaguarí
n	11	7	9	3	3
Cuantificados	11	7	9	3	3
Unidad: mg N/L					
MIN	0,500	0,830	0,340	0,730	1,000
MAX	1,160	3,820	7,010	1,180	1,820
PROM	0,833	1,657	2,166	0,890	1,287
MEDIANA	0,800	1,510	1,740	0,760	1,040
MIN > Estación - Mes	XTAC020.S - 2	XCPU030.S - 2	XTAH004.S - 2	XCAR010.S - 2	XYAI010.S - 10
MAX > Estación - Mes	XTAC020.S - 3	XCPU010.S - 10	XTAH013.S - 2	XCAR010.S - 3	XYAI010.S - 3
STD	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
No cumplen STD (n)	2	6	5	1	2
NO Cumple (%)	18	86	56	33	67

3.1.7.6. Fosfatos (PO₄)

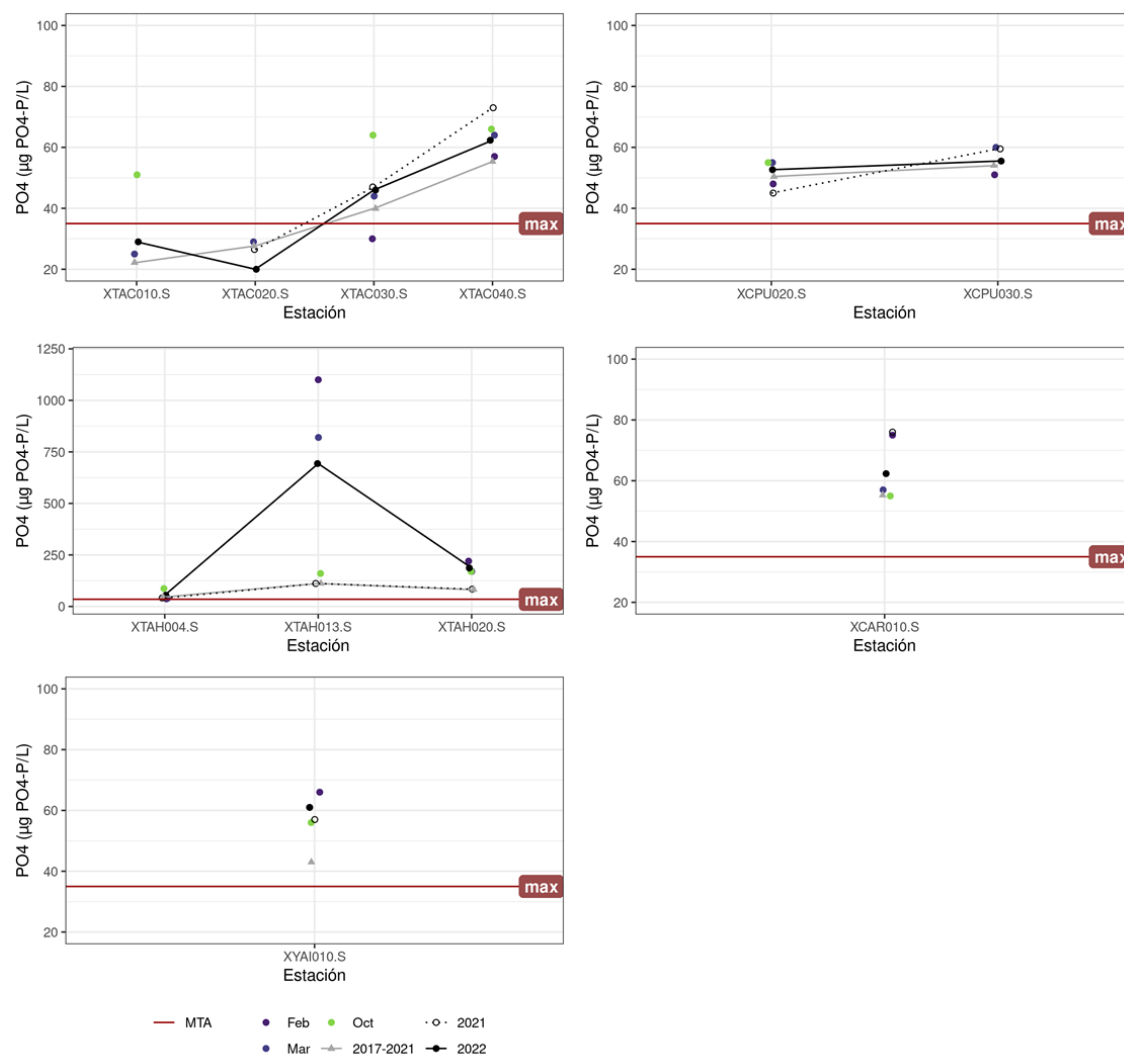


Figura 22. Variación espacial y temporal de Fosfatos en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Fosfatos para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.

Tabla 26. Estadísticas básicas del Fosfato. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o valor guía (STD) de la MTA, cantidad de valores que no cumplen, % de incumplimiento en relación a ese valor.

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó chico	Arroyo Caraguatá	Arroyo Yaguari
n	11	5	9	3	3
Cuantificados	9	5	9	3	3
Unidad: µg PO ₄ -P/L					
MIN	25,0	48,0	37,0	55,0	56,0
MAX	66,0	60,0	1100,0	75,0	66,0
PROM	47,8	53,8	311,6	62,3	61,0
MEDIANA	51,0	55,0	170,0	57,0	61,0
MIN > Estación - Mes	XTAC010.S - 3	XCPU020.S - 2	XTAH004.S - 2	XCAR010.S - 10	XYAI010.S - 10
MAX > Estación - Mes	XTAC040.S - 10	XCPU030.S - 3	XTAH013.S - 2	XCAR010.S - 2	XYAI010.S - 2
STD	< 35	< 35	< 35	< 35	< 35
No cumplen STD (n)	6	5	9	3	3
No Cumple (%)	67	100	100	100	100

3.1.7.7. Fósforo total (PT)

Para el caso del fósforo total se utilizan dos valores de referencia uno correspondientes al decreto 253/79 y modificativos (25 µg/L), y el otro es el Gesta Agua 2014 (70 µg/L).

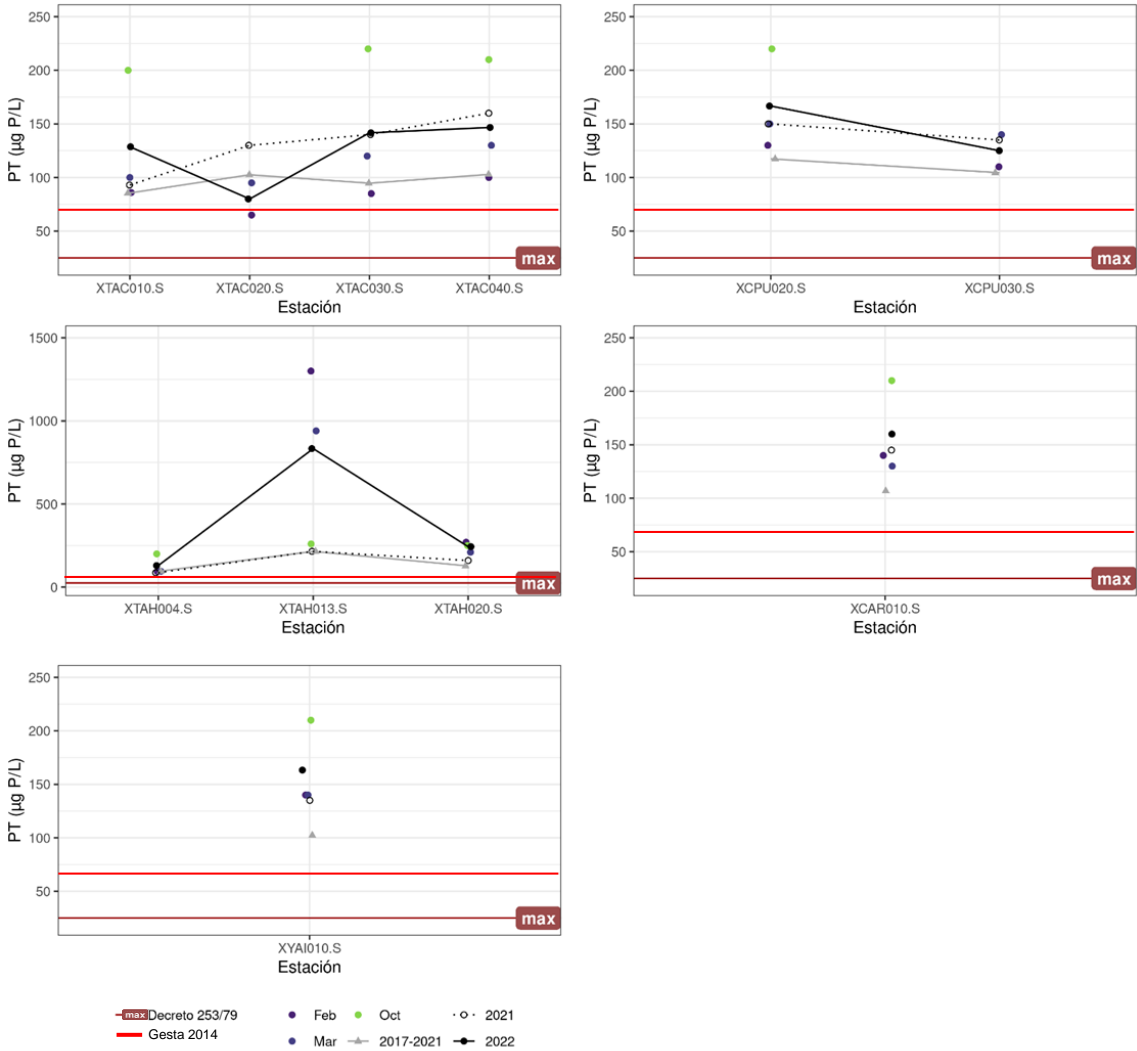


Figura 23. Variación espacial y temporal de Fósforo total en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Fósforo total para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.

Tabla 27. Estadísticas básicas del Fósforo Total. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o valor guía (STD) del Decreto 253 y modificativos* (25 µg/L) y valor GESTA 2014** (70 µg/L), cantidad de valores que no cumplen, % de incumplimiento en relación a ese valor.

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó chico	Arroyo Caraguatá	Arroyo Yaguarí
n	11	5	9	3	3
Cuantificados	11	5	9	3	3
Unidad: µg/L					
MIN	65,0	110,0	94,0	130,0	140,0
MAX	220,0	220,0	1300,0	210,0	210,0
PROM	128,3	150,0	402,1	160,0	163,3
MEDIANA	100,0	140,0	250,0	140,0	140,0
MIN > Estación - Mes	XTAC020.S - 2	XCPU030.S - 2	XTAH004.S - 2	XCAR010.S - 3	XYAI010.S - 2 y 3
MAX > Estación - Mes	XTAC030.S - 10	XCPU020.S - 10	XTAH013.S - 2	XCAR010.S - 10	XYAI010.S - 10
STD	≤ 25*	≤ 25*	≤ 25*	≤ 25*	≤ 25*
	≤ 70**	≤ 70**	≤ 70**	≤ 70**	≤ 70**
No cumplen STD (n)	11*	5*	9*	3*	3*
	10**	5**	9**	3**	3**
No Cumple (%)	100*	100*	100*	100*	100*
	91**	100**	100**	100**	100**

3.1.8. Variables Biológicas

3.1.8.1. Coliformes Termotolerantes (CT)

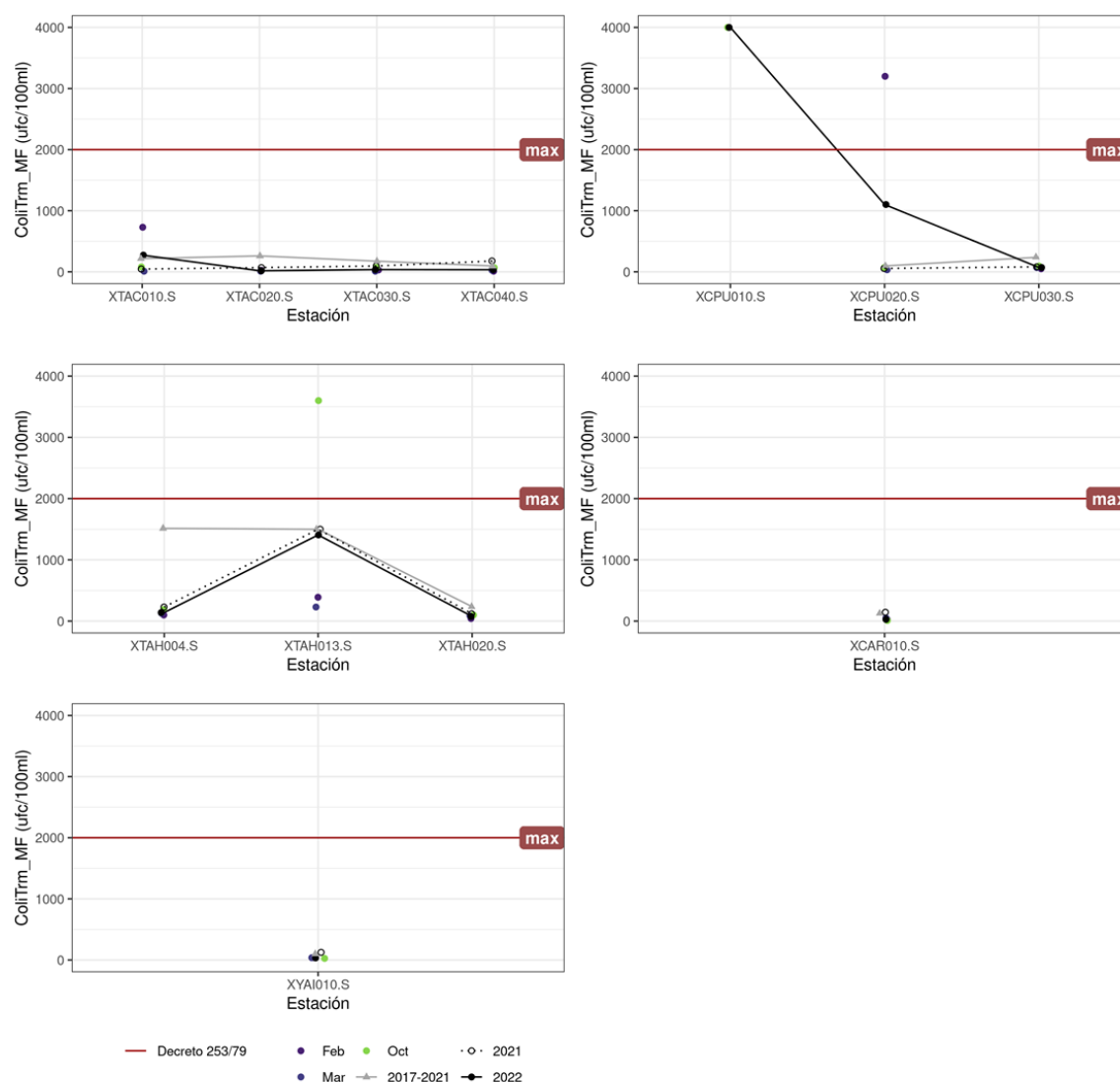


Figura 24. Variación espacial y temporal de Coliformes termotolerantes en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Coliformes termotolerantes para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.

Tabla 28. Estadísticas básicas del Coliformes termotolerantes. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o valor guía (STD) del Decreto 253 y modificativos, cantidad de valores que no cumplen, % de incumplimiento en relación a ese valor

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó Chico	Arroyo Caraguatá	Arroyo Yaguari
n	11	7	9	3	3
Cuantificados	7	7	9	2	3
Unidad: UFC/100ml					
MIN	25	33	42	23	26
MAX	730	4000	3600	52	38
PROM	147	1074	541	38	34
MEDIANA	68	72	130	38	37
MIN > Estación - Mes	XTAC020.S - 2	XCPU020.S - 3	XTAH020.S - 2	XCAR010.S - 2	XYAI010.S - 10
MAX > Estación - Mes	XTAC010.S - 2	XCPU010.S - 10	XTAH013.S - 10	XCAR010.S - 3	XYAI010.S - 2
STD	≤2000	≤2000	≤2000	≤2000	≤2000
No cumplen STD (n)	0	2	1	0	0
No Cumple (%)	0	28,6	11	0	0

3.1.8.2. Clorofila-*a*

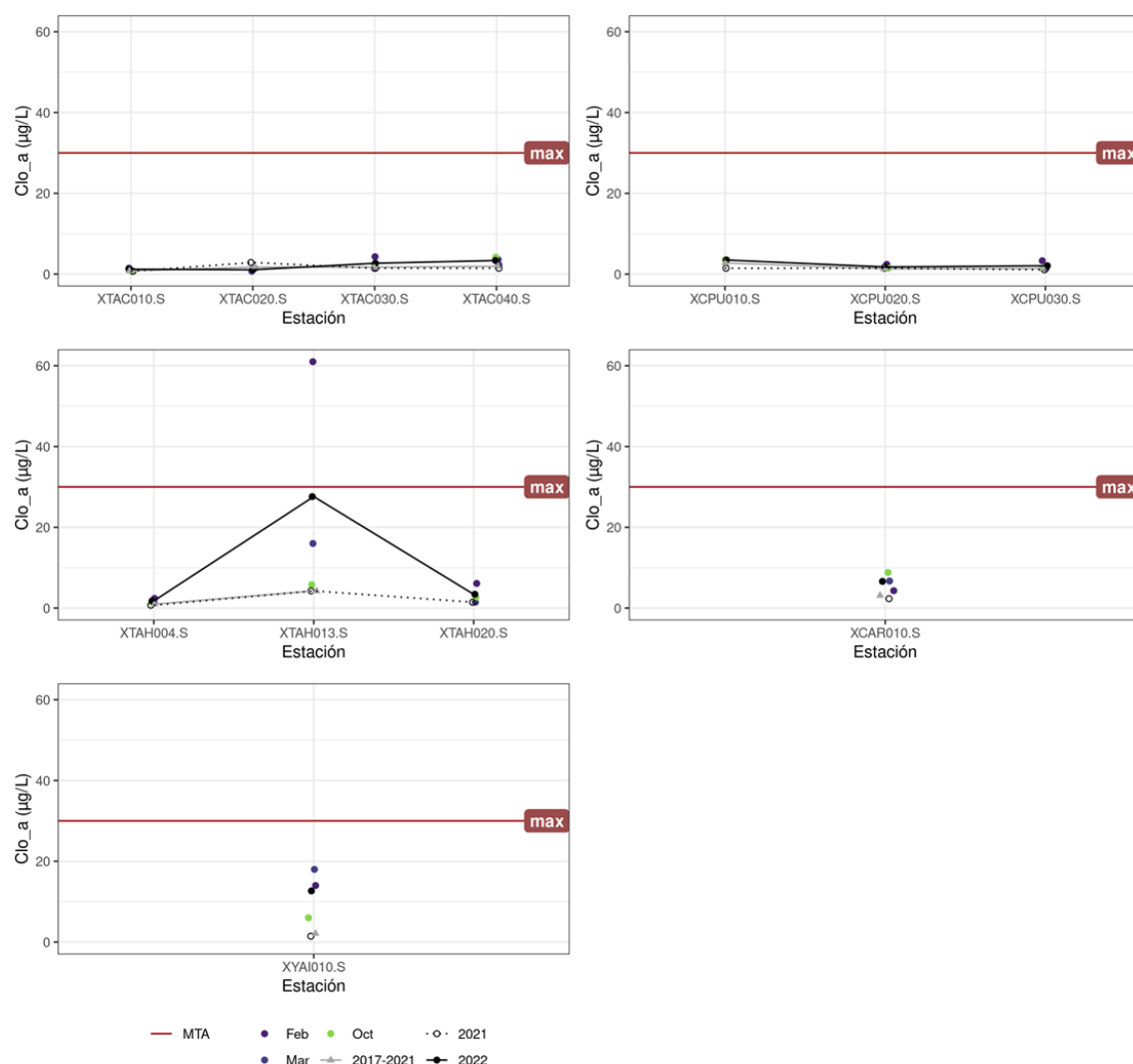


Figura 25. Variación espacial y temporal de Clorofila-*a* en la cuenca del río Tacuarembó. Promedio de Clorofila-*a* para el año 2022, promedio para el año 2021 y promedio para los 5 años precedentes 2017-2021.

Tabla 29. Estadísticas básicas de Clorofila-*a*. Ubicación y fecha de valores máximo y mínimo de la variable en el ciclo anual. Valor del estándar o valor guía (STD) de la Mesa Técnica del Agua (2017), cantidad de valores que no cumplen, % de incumplimiento en relación a ese valor

	Río Tacuarembó Grande	Arroyo Cuñapirú	Arroyo Tacuarembó Chico	Arroyo Caraguatá	Arroyo Yaguarí
n	11	7	9	3	3
Cuantificados	5	3	6	3	3
Unidad: µg/L					
MIN	2,3	2,4	2,4	4,3	6,0
MAX	4,3	3,5	61,0	8,8	18,0
PROM	3,3	3,1	15,7	6,6	12,7
MEDIANA	3,6	3,3	6,0	6,7	14,0
MIN > Estación - Mes	XTAC040.S - 3 XTAC040.S - 10	XCPU020.S - 2	XTAH004.S - 2	XCAR010.S - 2	XYAI010.S - 10
MAX > Estación - Mes	XTAC030.S - 2	XCPU010.S - 10	XTAH013.S - 2	XCAR010.S - 10	XYAI010.S - 3
STD	30	30	30	30	30
No cumplen STD (n)	0	0	1	0	0
No Cumple (%)	0	0	11	0	0

3.1.8.3. Feofitina

Todos los valores registrados de feofitina se encuentran por debajo del límite de detección y cuantificación.

3.1.9. AOX

Para el caso de los AOX en el arroyo Yaguarí los valores estuvieron por debajo de los límites de detección y cuantificación de la técnica. En el arroyo Caraguatá únicamente se registró un valor cuantificable de 23,9 µg/L en el mes de febrero. Para el arroyo Tacuarembó Chico se registraron dos valores cuantificables de 20,0 y 22,7 µg/L en la estación XTAH013.S en los meses de febrero y octubre respectivamente. Por otro lado, para el arroyo Cuñapirú únicamente se registró un valor cuantificable de 20 µg/L en la estación XCPU030.S en el mes de marzo. Por último, en el río Tacuarembó Grande únicamente se registraron dos valores cuantificables de 19,8 µg/L en la estación XTAC010.S y de 31,7 µg/L en la estación XTAC030.S, ambas en el mes marzo.

De acuerdo con estos resultados, en dos oportunidades no se cumplió con el límite de 25 µg/L establecido por la República Federal Alemana.

3.1.10. Fitosanitarios

3.1.10.1. Glifosato

Este compuesto en todas las subcuencas del río Tacuarembó estuvo por debajo del límite de detección y cuantificación de la técnica. En ningún caso se supera la concentración estándar máxima de 65 µg/l sugerido por GESTA-Agua en 2014.

3.1.10.2. AMPA

Para el caso del AMPA en el arroyo Yaguarí se registró un único valor cuantificable de 0.95 µg/L en el mes de febrero. Para el arroyo Caraguatá se registró un único valor cuantificable de 0.64 µg/L en el mes de febrero. Para el arroyo Tacuarembó Chico y el río Tacuarembó Grande no se registraron valores por encima de los límites de detección y cuantificación de la técnica. Por último, para el arroyo Cuñapirú se registró un valor cuantificable de 0,68 µg/L en el mes de febrero.

3.1.11. Índices de calidad

3.1.11.1. IET

La aplicación del IET para las diferentes subcuencas del río Tacuarembó en el período 2022, muestra que, de las doce estaciones pertenecientes al programa de monitoreo, cuatro presentaron un estado mesotrófico, cuatro presentaron un estado eutrófico, una presentó un estado supereutrófico y una presentó un estado hipereutrófico. Cabe destacar que no se pudo realizar el cálculo para dos estaciones debido a que no se contaba con el número suficiente de parámetros para realizarlo.

En casi toda la extensión del río Tacuarembó Grande se observa un estado mesotrófico, y en la estación XTAC020.S no se pudo realizar el cálculo del IET. A lo largo de toda la extensión de los arroyos Caraguatá y Yaguarí se observa un estado eutrófico. En el arroyo Tacuarembó Chico se distinguen diferentes estados tróficos; el tramo inicial (XTAH004.S) presenta un estado mesotrófico, el tramo medio (XTAH013.S) presenta un estado hipereutrófico y el tramo final (XTAH020.S) presenta un estado supereutrófico. Por último, en el arroyo Cuñapirú, en la porción

inicial (XCPU010.S) no se pudo realizar el cálculo de IET, la porción media (XCPU020.S) presentó un estado eutrófico y en la parcial final (XCPU030.S) el estado fue mesotrófico.

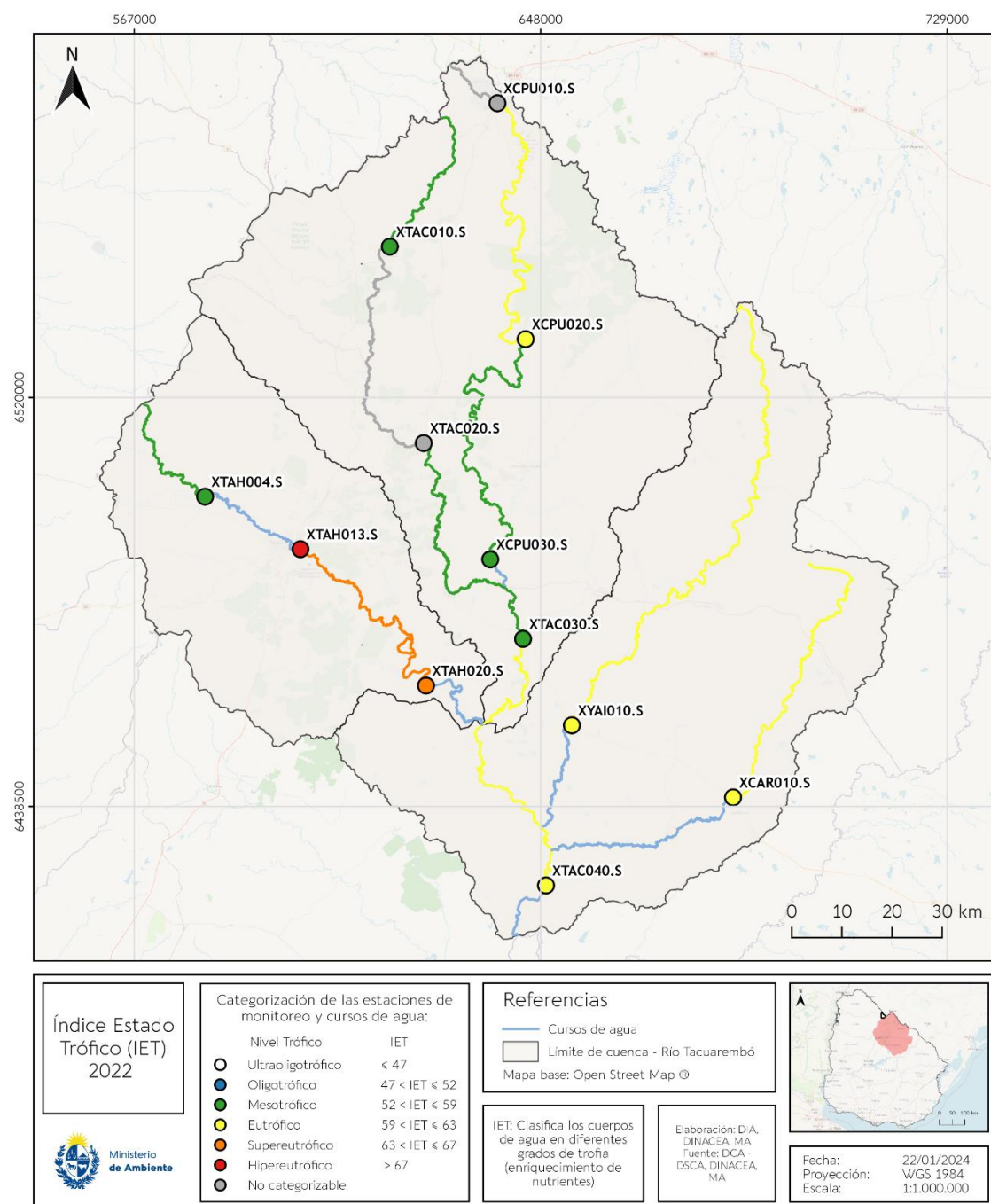


Figura 26. Representación gráfica del IET en las subcuencas del río Tacuarembó en el 2022 considerando la escala cromática.

3.1.11.2. IQA

Respecto al IQA, en la mayoría de las estaciones se presentaron valores correspondientes a la categoría de calidad de agua “buena”. Las estaciones XTAC010.S, XTAH020.S y XCPU020.S presentaron valores correspondientes a la categoría de calidad de agua “media”. Para el caso de las estaciones XCPU010.S y XTAC020.S no se pudo realizar el cálculo de IQA por falta de datos.

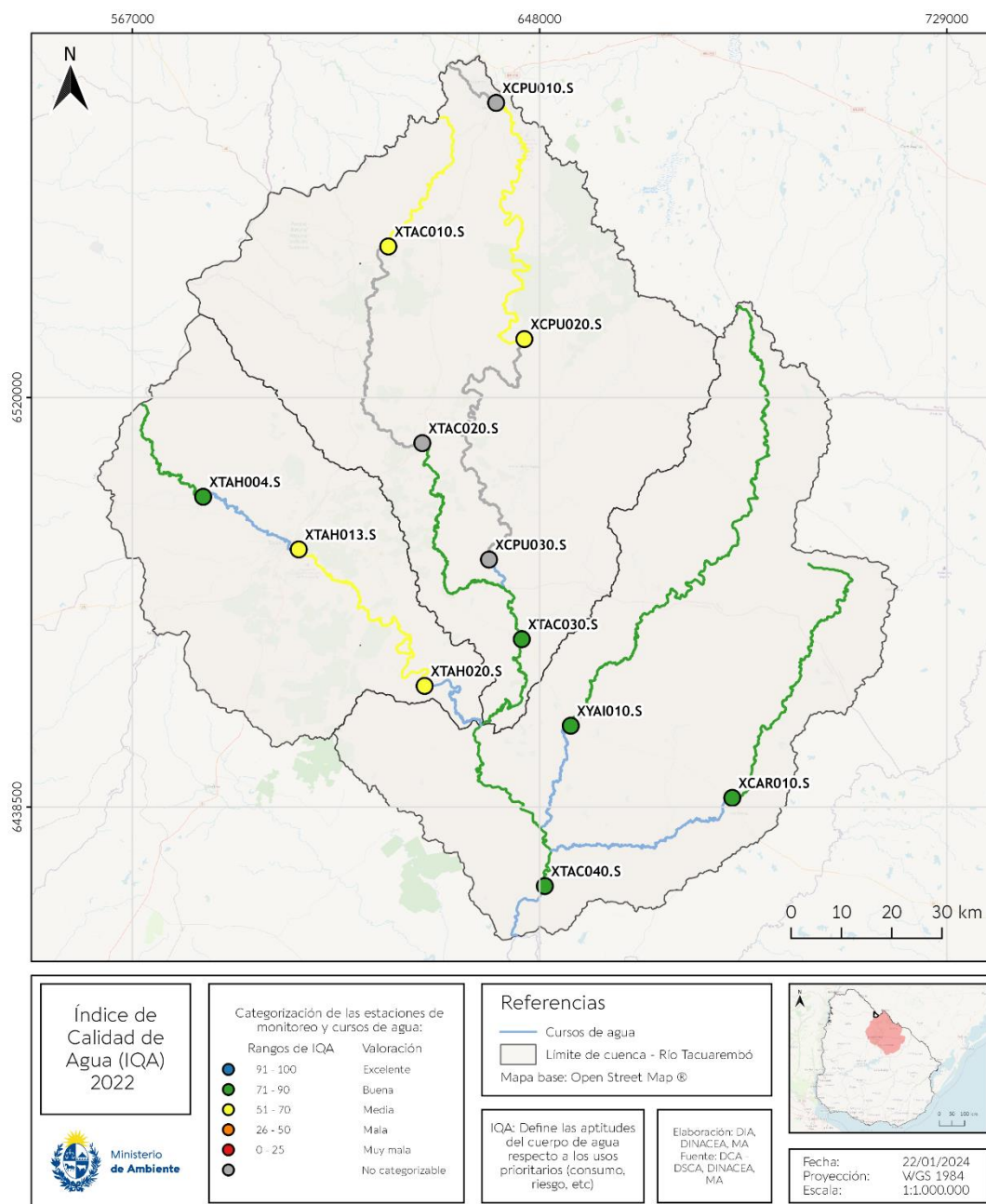


Figura 27. Representación gráfica del IQA en las subcuencas del río Tacuarembó en el 2022 considerando la escala cromática.

4. SÍNTESIS

En líneas generales, el agua de la cuenca del río Tacuarembó tiene una calidad aceptable.

Entre los resultados más relevantes del programa de monitoreo de calidad de agua de la cuenca del río Tacuarembó obtenidos durante el año 2022, se destaca el siguiente cumplimiento del grupo de estándares de calidad de agua: 86,6% para la cuenca del río Tacuarembó Grande, 75,0% para la cuenca del arroyo Cuñapirú, 72,9% para la cuenca del arroyo Tacuarembó Chico y 69,8% para los arroyos Caraguatá y Yaguarí.

El parámetro que registró la menor frecuencia de cumplimiento del estándar de calidad fue el fósforo total, que incumplió con el valor sugerido por el grupo GESTA-Agua (70 µg/L) en un 83,9% de las muestras, e incumplió con el valor estándar establecido en el Decreto 253/79 y modificativos (25 µg/L) en un 100% de las muestras analizadas.

El resto de las variables consideradas y reguladas por el Decreto 253/79 y modificativos, mostraron valores que mayoritariamente cumplieron con los estándares correspondientes.

Para el caso de los fitosanitarios, no se registraron concentraciones de glifosato que superaran los límites de detección de las técnicas analíticas. Sin embargo, fueron detectadas en dos ocasiones concentraciones cuantificables bajas para AMPA.

El IET muestra diferentes estados tróficos en la cuenca, siendo las estaciones más cercanas a las ciudades la que presentan mayor eutrofización (XTAH013.S y XTAH0020.S).

El IQA muestra una calidad de agua “buena” en la mayor parte de las subcuencas, presentando calidad de agua “media” en las estaciones XTACH013.S y XTACH020.S, las cuales cuentan con el impacto de la ciudad de Tacuarembó. Por último, también se registró una calidad de agua “media” en las estaciones XCPU020.S y XTAC010. S.

5. Bibliografía

Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente – MVOTMA (2018). “ATALAS de la cuenca del Río Tacuarembó”.

Collazo, M.P., (2006).” Investigación Hidrogeológica del Acuífero Guaraní en el área aflorante de los departamentos Rivera y Tacuarembó”.

DINAMA – Laboratorio Ambiental. 2009. Manual de Procedimientos Analíticos para Muestras Ambientales. 2da Edición.

GEMS/Agua. 1994. Guía operativa. 3ª Edición. PNUD-OMS-UNESCO-OMM. GESTA Agua, 2008. Borrador de trabajo GESTA Agua. Propuesta de modificación del Decreto 253/979 y modificativos.

Manuscrito: 1- 19. MONTAÑO XAVIER, J. (2005). Recursos hídricos subterráneos del Uruguay: importancia y aprovechamiento actual. Revista Sociedad Uruguaya de Geología, 16-32.

Panario, D., (1986): Geomorfología del Uruguay. Memoria Explicativa de la Carta Hidrogeológica, escala 1:2.000.000. DINAMIGE, 7-11 pp. Montevideo, Uruguay.

PRENADER MGAP/MTOP/Banco Mundial, Estudio del acuífero Salto CONSUR, 1995 Uruguay. 1979.

Decreto 253/79 y modificativos. Normas para prevenir la contaminación ambiental mediante el control de la contaminación de aguas.