



**Intendencia
Montevideo**



Fotografía: Intendencia de Montevideo

PROGRAMA DE MONITOREO DE AGUA, Y SEDIMENTOS DE LOS HUMEDALES DEL RÍO SANTA LUCÍA INFORME ANUAL 2023

**Servicio de Evaluación de la Calidad y Control Ambiental
Gerencia de Gestión Ambiental
Departamento de Desarrollo Ambiental
Intendencia de Montevideo**



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

AUTORIDADES GOBIERNO DEPARTAMENTAL

Intendenta

Carolina Cosse

Secretaria General

Olga Otegui

Director General del Departamento de Desarrollo Ambiental

Guillermo Moncecchi

Gerenta de Gestión Ambiental

Verónica Piñeiro

OTRAS AUTORIDADES

Directora (i) Servicio de Evaluación de la Calidad y Control Ambiental

Susana González

Directora (i) Unidad Calidad de Agua

Jimena Risso Barros

Autores del Informe:

Daniel Sienna

Jimena Risso Barros

Bruno D'Alessandro

Gustavo Saona

Mary Yafalián

Personal de la Unidad Calidad de Agua involucrado en el desarrollo del trabajo realizado:

Bruno D'Alessandro, Maria Mercedes De Maio, M^a Eugenia Echezarreta, Tania Hernández, Leticia Iribarne, Valentina Milan, Lys Viviana Perciballe, Marinela Pereira, Gustavo Saona, Gastón Varela, Martin Villanueva, Analía Urban, Mary Yafalián.

Pasantes de Facultades de Química y de Ciencias de la Unidad Calidad de Agua

Angela Silveira, Paulina Díaz, Pilar Jorcin, Milagros Valverde, Erika Machín, Gabriel Lobato, Sofía Martínez, Lucía de la Canal.

Se destaca la colaboración de los funcionarios y pasantes (estudiantes de las Facultades de Química, Ingeniería y Ciencias) de la Unidad Analítica en la realización de los análisis correspondientes.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

1 MONITOREO REALIZADO POR EL SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL DE LA INTENDENCIA DE MONTEVIDEO.

En el año 2009 se inicia por parte de este Servicio el estudio de la calidad del agua y sedimentos de los Humedales del Santa Lucía (Cuenca Baja del Río Santa Lucía). Con el apoyo del personal y embarcación de la Prefectura de Santiago Vázquez, se extraen muestras de agua con una frecuencia de 4 veces por año (estacional) y de los sedimentos superficiales dos veces por año (invierno y verano), en un total de 10 puntos (Figura 2 y Tabla 1).

El área de estudio comprende el curso del Río Santa Lucía en su tramo inferior y la desembocadura. Se incluyen dos sitios de muestreo en uno de sus tributarios, el arroyo Colorado, que atraviesa las ciudades de Las Piedras y La Paz. También se incluye un sitio en la pista de regatas (SLU4), que recibe las aguas del A° San Gregorio, el cual atraviesa varios barrios de Montevideo.

La caracterización de los arroyos Las Piedras y San Gregorio se realizó dentro del Programa de Monitoreo de Cuerpos de Agua de Montevideo. (<https://montevideo.gub.uy/areas-tematicas/ambiente/calidad-de-agua/cursos-de-agua>).



Figura 1. Humedales del Río Santa Lucía (Fotografía: Gastón Varela)



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua



Figura 2. Estaciones de monitoreo de la cuenca del Río Santa Lucía (SLU: Santa Lucía, C: A° Colorado). Imagen generada con Google Earth®

Punto de muestreo	Coordenadas
C1	34° 42' 54.00"S 56° 20' 16.05"W
C2	34° 43' 27.68"S 56° 21' 7.38"W
SLU1	34° 43' 30.08"S 56° 21' 20.63"W
SLU2	34° 43' 46.45"S 56° 21' 13.00"W
SLU2b	34° 44' 30.40"S 56° 20' 56.70"W
SLU3	34° 46' 20.70"S 56° 20' 35.20"W
SLU4	34° 46' 52.10"S 56° 19' 53.70"W
SLU5	34° 47' 2.80"S 56° 21' 7.00"W
SLU6	34° 47' 14.30"S 56° 22' 14.00"W
SLU7	34° 46' 57.24"S 56° 23' 0.42"W

Tabla 1. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua



Figura 3. Toma de muestras en el Río Santa Lucía.

En este informe se presentan los resultados correspondientes a las 3 campañas de muestreo realizadas en el año 2023: 01/02/23, 08/08/23 y 07/11/23. La campaña de otoño no se pudo realizar por dificultades logísticas de la Prefectura de Santiago Vázquez.

Objetivos del estudio de calidad del agua y sedimentos

- Realizar un diagnóstico amplio de la calidad del agua del Río Santa Lucía y sus afluentes en la zona de los humedales dentro del departamento de Montevideo, identificando vulnerabilidades y áreas de actuación, evaluando su conformidad con la legislación ambiental.
- Evaluar la calidad del agua y sedimentos de forma espacial y temporal del Río Santa Lucía y A° Colorado desde el punto de vista microbiológico, fisicoquímico y ecotoxicológico (bioensayos).
- Presentar a la sociedad, de forma transparente, los resultados del monitoreo.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

Parámetros analizados y metodología utilizada en los estudios de agua y sedimentos

Agua		Método de Referencia
Parámetros fisicoquímicos	pH	SMEWW, 24th Ed. Met. 4500-H+
	Conductividad	SMEWW, 24th Ed. Met. 2510 B.
	Oxígeno Disuelto	SMEWW, 24th Ed. Met. 4500-O G.
	Salinidad	SMEWW, 24th Ed. Met. 2520 B.
	Temperatura	SMEWW, 24th Ed. Met. 2550 B.
	Turbidez	SMEWW, 24th Ed. Met. 2130B
	Nitrógeno Total	Kalf & Bentzen, 1984; Valderrama, 1981
	Fósforo Total	Valderrama J.C. (1981) SMEWW, 24th Ed. Met. 4500-PD
	Amonio	SMEWW, 24th Ed. Met. 4500-NH3-F
		ASTM D 6919-03
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	SMEWW, 24th Ed. Met. 5210 B
	Sólidos Suspendidos Totales	SMEWW, 24th Ed. Met. 2540 D.
	Cromo Total	SMEWW, 24th Ed. Met. 3111
Plomo Total	SMEWW, 24th Ed. Met. 3111	
Parámetro microbiológico	Coliformes Fecales	SMEWW, 24th Ed. Met. 9222 D
Parámetro biológico	Clorofila <i>a</i>	SMEWW, 24th Ed. Met. 10150 B
Parámetros Ecotoxicológicos	<i>Vibrio fischeri</i>	EPS (1992); SDI Microtox (2009)
	<i>Hydra attenuata</i>	Trottier <i>et al.</i> (1997); Castillo-Morales (2004)
	<i>Daphnia magna</i>	UNE-EN ISO 6341 (2013); Castillo-Morales (2004)
	<i>Artemia Franciscana</i>	Protocolo ARTOXKIT M® (MicroBioTests Inc.)
Sedimentos		
Parámetros Ecotoxicológicos	<i>Vibrio fischeri</i>	EPS (1992); SDI Microtox (2009)
Parámetros químicos	Cromo Total	EPA Method 3051 A (Digestión ácida asistida por microondas, de sedimentos, suelos y lodos). SMEWW, 23rd Ed.. Mét. 3111 B.
	Plomo Total	EPA Method 3051 A. (Digestión ácida asistida por microondas, de sedimentos, suelos y lodos). SMEWW, 23rd Ed.. Mét. 3111 B

Tabla 2. Parámetros analizados en agua y sedimentos y metodología de referencia.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

Evaluación de los parámetros analizados

Para cada variable se presentan dos tipos de gráficos, uno con los resultados de los muestreos realizados en el año 2023 evaluando los sitios ubicados en la cuenca principal del Río Santa Lucía y los sitios en los afluentes. En éstos se muestran, a su vez, los resultados obtenidos en superficie y en profundidad. Por otra parte se muestran gráficos de cajas y líneas (Box plot) en donde se representa para cada sitio un resumen de todos los datos desde el comienzo del monitoreo en el 2009.

En los gráficos de cajas y líneas se presentan los siguientes elementos: la mediana (línea central), el percentil 25 (límite inferior de la caja), el percentil 75 (límite superior de la caja), el mínimo (extremo de la línea inferior) y el máximo (extremo de la línea superior). Los puntos aislados son valores extremos. Para el procesamiento de los datos se utiliza el programa Stata/SE versión 12.1.

Para el caso de la evaluación de los parámetros Ecotoxicológicos (Bioensayos) los resultados se expresan en forma de tabla, de acuerdo a las guías utilizadas siguiendo el criterio adoptado por MVOTMA (2017b).



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

Normativas y guías de referencia

Agua

Los parámetros coliformes fecales, fósforo total, oxígeno disuelto, pH, turbidez, amoníaco¹, DBO₅, plomo y cromo total se evalúan de acuerdo a la Clase 3 del Decreto 253/79 (Aguas destinadas a la preservación de los peces en general y de otros integrantes de la flora y fauna hídrica) de acuerdo a clasificación definida en la Resolución Ministerial 99/2005 del Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente.

Las variables nitrógeno total y clorofila *a*, que no están contempladas en el anterior Decreto, se evalúan de acuerdo a los límites propuestos en la Mesa Técnica del Agua (MVOTMA, 2017a) para cursos de agua mayores a orden 3 (clasificación basada en la cantidad de afluentes). Para la evaluación Ecotoxicológica, se utiliza el criterio adoptado por MVOTMA (2017b).

Parámetro	Unidad	Valor/Categoría	Referencia
Coliformes fecales	ufc/100 mL	≤2000*	Decreto 253/79
Fósforo Total	mg/L	≤0,025	
Oxígeno Disuelto	mg/L	>5,0	
pH	-	6,5 – 8,5	
Turbidez	NTU	≤50	
Amoníaco	mg/L	≤0,02	
DBO ₅	mg/L	Máx. 10	
Plomo Total	mg/L	Máx. 0,03	
Cromo Total	mg/L	Máx. 0,05	

Tabla 3a. Normativas y guías de referencia

¹ Se calcula a partir del amonio según <https://floridadep.gov/sites/default/files/unnh3sop.pdf>



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
 SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
 Unidad Calidad de Agua

Parámetro	Unidad	Valor máximo	Referencia
Nitrógeno Total	mg/L	1,00	Mesa Técnica de Agua (MVOTMA, 2017a)
Fósforo Total	mg/L	0,07	
Clorofila a	µg/L	30	

Tabla 3b. Valores guía para cursos de agua de orden mayor a 3, de acuerdo a la referencia citada.

Sedimentos

A los efectos de este informe se han tomado como valores guía las concentraciones que se establecen en las Guías de Calidad de Sedimentos de Canadá para la protección de la vida acuática² (CCME, 1999). En las mismas se establecen, para cada elemento, 2 límites de corte: el nivel guía interino para sedimento, ISQG (Interim Sediment Quality Guidelines) y el nivel de efecto probable, PEL (Probable Effect levels).

Quedan definidos de esa forma 3 niveles:

- concentraciones menores de ISQG, raramente asociadas a efectos biológicos adversos
- concentraciones entre ISQG y PEL, ocasionalmente asociadas a efectos biológicos adversos
- concentraciones superiores a PEL, frecuentemente asociadas a efectos biológicos adversos

Conc. raramente asociadas a efectos adversos	Conc. ocasionalmente asociados a efectos adversos	Conc. frecuentemente asociados a efectos adversos
Pb (mg/kg)		
< 35	> 35 < 91,3	> 91,3
Cr (mg/kg)		
< 37,3	> 37,3 < 90	> 90

Tabla 4. Valores guía de cromo y plomo para sedimentos de cursos de agua dulce según la guía canadiense (CCME, 1999).

² Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, Environmental Quality Guidelines.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

Resultados en muestras de agua

Nitrógeno Total

El nitrógeno desempeña un papel crucial en la vida acuática, siendo fundamental para el desarrollo de algas y plantas. Se encuentra naturalmente en diversas formas, como NH_4^+ (amonio), NH_3 (amoníaco), NO_2^- (nitrito) y NO_3^- (nitrato). Aunque en bajas concentraciones puede limitar la vida, su exceso puede tener efectos perjudiciales en el equilibrio ambiental. El ingreso de nitrógeno al medio acuático puede ocurrir de manera natural a través de las lluvias y el aire, de forma antropogénica mediante vertidos puntuales (caños, vertederos, etc.) o aportes difusos (escorrentía).

El nitrógeno total es un indicador ampliamente utilizado en el análisis de muestras de agua, ya que refleja la suma de todas las formas de nitrógeno presentes. Dependiendo de la fuente de nitrógeno, su asimilación en el ecosistema acuático requiere varias etapas de reducción (mediadas por enzimas como la nitrato y nitrito reductasa) para finalmente convertirlo en amonio (NH_4^+). Este último es la forma de nitrógeno de menor costo energético para su asimilación, lo que lo convierte en un aspecto de gran importancia en el estudio de las floraciones y otros fenómenos acuáticos.

En resumen, el nitrógeno es esencial para la vida acuática, pero su presencia en el agua debe mantenerse en equilibrio, ya que tanto la escasez como el exceso pueden tener efectos significativos en el medio ambiente. El monitoreo del nitrógeno total y la comprensión de las diversas formas en las que se presenta son fundamentales para gestionar adecuadamente los ecosistemas acuáticos.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

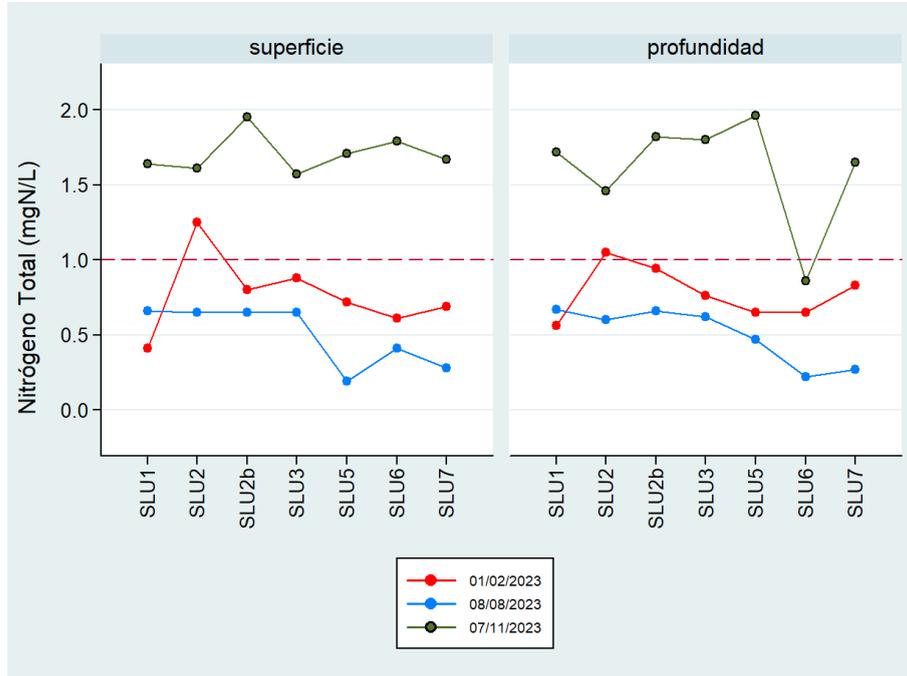


Figura 4. Nitrógeno Total en los muestreos del año 2023. La línea roja punteada representa el límite de 1,0 mg N/L para cursos de agua de orden mayor a 3 (ver tabla 3b).

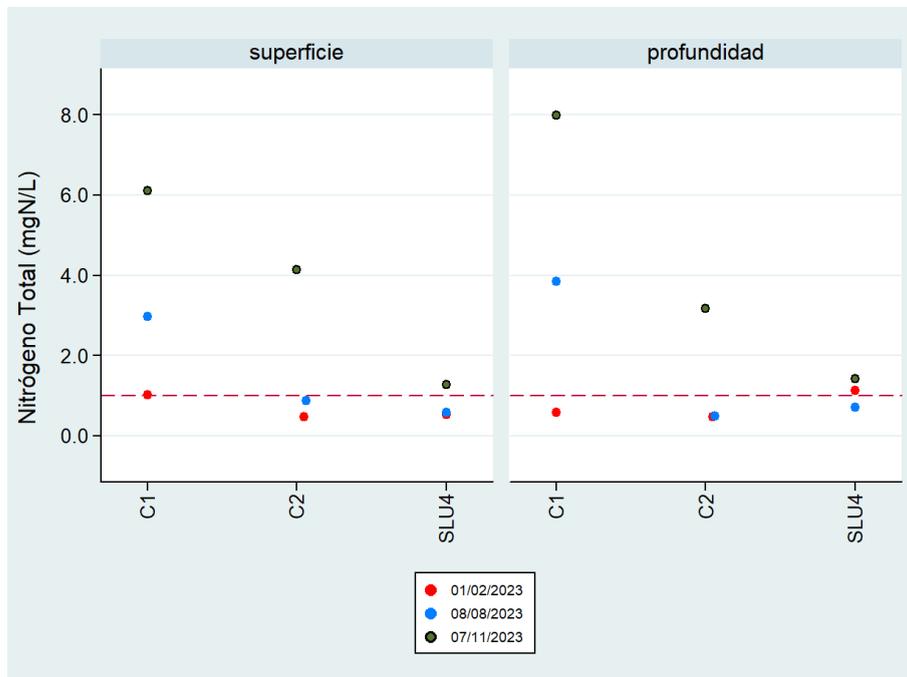


Figura 5. Nitrógeno Total Afluentes del Río Santa Lucía en los muestreos del año 2023. La línea roja punteada representa el límite de 1,0 mg N/L (ver tabla 3b)

DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

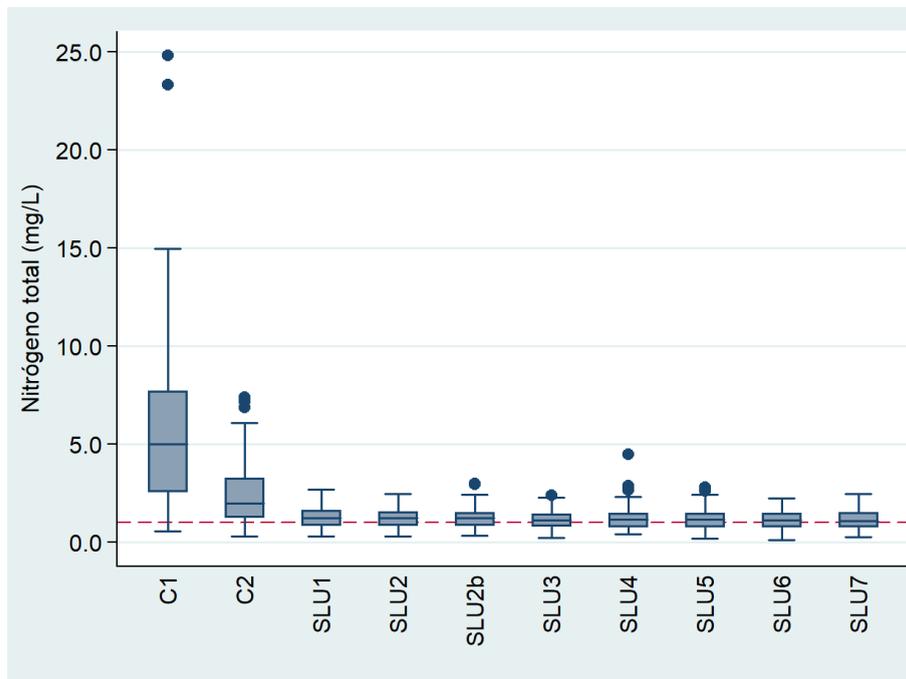


Figura 6. Nitrógeno Total Río Santa Lucía y afluentes en todos los muestreos 2009 – 2023. La línea roja punteada representa el límite de 1,0 mg N/L (ver tabla 3b).

En el año 2023 las concentraciones más bajas de nitrógeno total se registraron en los muestreos de febrero y agosto (figura 4). En el muestreo del mes de noviembre se registraron los valores más elevados, la mayoría con valores superiores al límite de referencia.

En los sitios ubicados en los afluentes del río también se registraron los mayores valores en el muestreo de noviembre (figura 5). Los valores de nitrógeno de los sitios del afluente también fueron superiores a los registrados en el Santa Lucía, como ya se ha observado en años anteriores (figura 6).

Amonio-Amoníaco

El equilibrio entre el amonio (NH_4^+) y el amoníaco (NH_3^-) es un proceso químico importante en la química del nitrógeno y la química del agua. Este equilibrio se ve influenciado por factores como el pH y la temperatura, desplazándose hacia la formación de uno u otro.

La mayoría de los resultados de amonio obtenidos fueron inferiores al límite de cuantificación (0,5 mg/L por técnica colorimétrica) y solamente se registraron valores cuantificables en tres casos. En estos tres casos el valor calculado para amoníaco superó el límite normativo de 0.02 mg/L: en C1, con 0,031 mg/L en el muestreo de agosto y 0,071 mg/L en el de noviembre, y C2, con 0,042 mg/L en el muestreo de noviembre.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL

GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL

SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL

Unidad Calidad de Agua

Fósforo Total

El aumento de la carga de nutrientes en los sistemas acuáticos tiene un efecto significativo en el aumento de la abundancia de productores primarios, como plantas acuáticas, algas y cianobacterias. Estas cargas de nutrientes se evalúan utilizando el fósforo total, que es el principal indicador utilizado en la actualidad.

El fósforo, al igual que el nitrógeno, es un factor limitante crucial para la productividad de los organismos que habitan en el medio acuático. Es responsable de regular el crecimiento y desarrollo de estas formas de vida acuática. Sin embargo, cuando hay un exceso de fósforo en el agua, puede desencadenar el proceso de eutrofización.

La eutrofización es un fenómeno en el cual el agua se enriquece en nutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno, provocando un crecimiento descontrolado de algas y cianobacterias. Este crecimiento excesivo de productores primarios puede agotar el oxígeno en el agua y alterar el equilibrio del ecosistema acuático. Como resultado, puede haber problemas graves para la vida acuática, como la muerte de peces y otros organismos, y la pérdida de biodiversidad.

Por lo tanto, es de vital importancia controlar y gestionar adecuadamente las cargas de nutrientes, especialmente el fósforo, en estos sitios. Esto ayudará a preservar la salud y el equilibrio de los ecosistemas acuáticos, asegurando una sostenibilidad a largo plazo para la vida que depende de ellos.

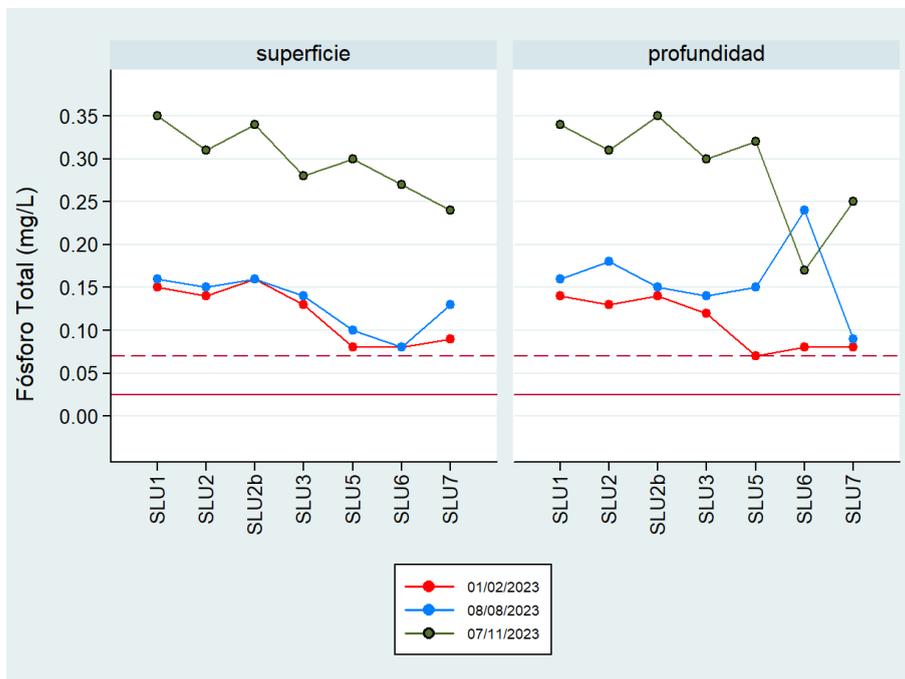


Figura 7. Fósforo Total Río Santa Lucía en los muestreos del año 2023. La línea roja continua representa el límite de 0,025mg/L y la línea roja punteada representa el límite de 0,07 mg/L (ver tablas 3a y 3b).



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

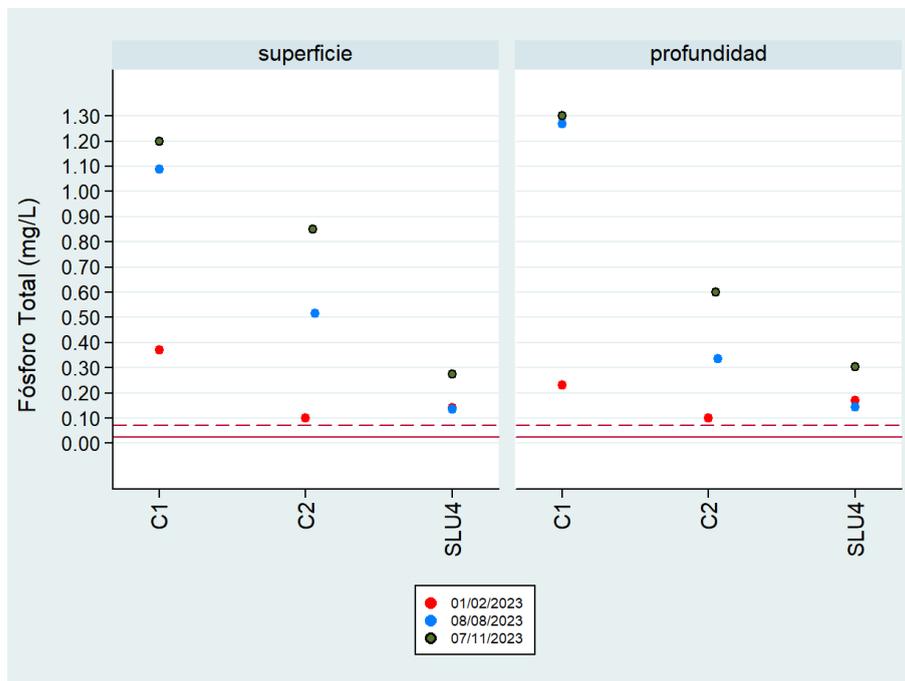


Figura 8. Fósforo Total Afluentes del Río Santa Lucía en los muestreos del año 2023. La línea roja continua representa el límite de 0,025mg/L y la línea roja punteada representa el límite de 0,07 mg/L (ver tablas 3a y 3b).

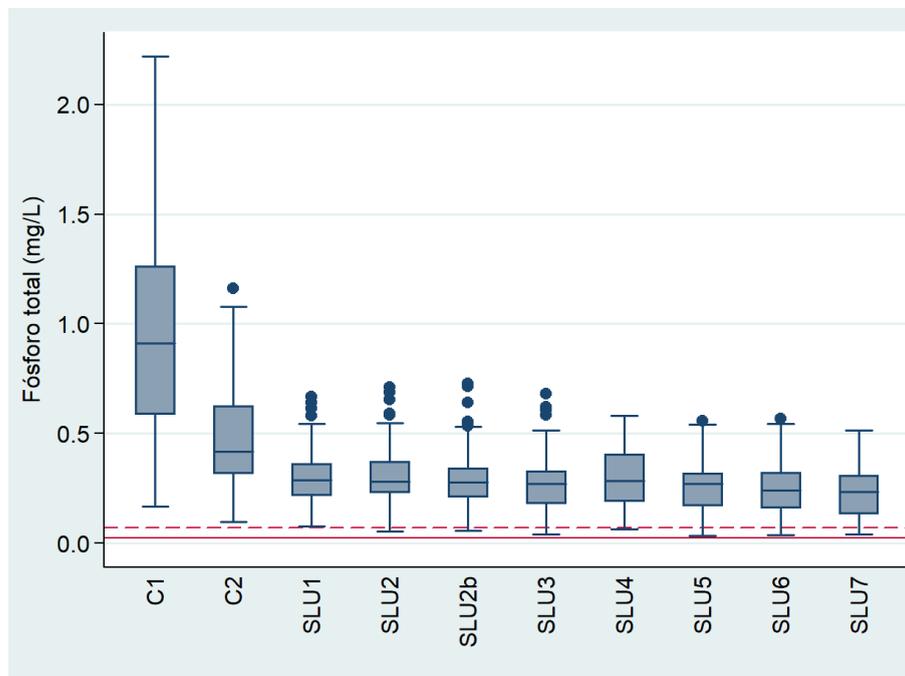


Figura 9. Fósforo Total Río Santa Lucía y afluentes en todos los muestreos 2009-2023. La línea roja continua representa el límite de 0,025mg/L y la línea roja punteada representa el límite de 0,07 mg/L (ver tablas 3a y 3b).



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

En los muestreos del año 2023, la concentración de fósforo total en el Río Santa Lucía y sus afluentes superó los límites establecidos en el Decreto 253/79 para la clase 3 de agua (0,025 mg P/L), así como los límites propuestos por la Mesa Técnica del Agua. Esto indica que los niveles de fósforo presentes en el agua exceden los niveles considerados seguros para evitar la eutrofización del ambiente acuático.

En cuanto a la variación espacial, se observa que las concentraciones de fósforo total son muy elevadas en el arroyo Colorado y disminuyen en los sitios del Río Santa Lucía. En el trecho del río vemos que la concentración tiende a disminuir desde los sitios cercanos a los afluentes hacia los que se ubican en la desembocadura.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
 SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
 Unidad Calidad de Agua

Índice del Estado Trófico

Este índice (Lamparelli, 2004) se puede calcular basado en la concentración de clorofila *a*, nitrógeno total, fósforo total y/o transparencia del agua. En el caso de los Humedales del Santa Lucía se calcula solamente en base a la concentración de fósforo total debido a que en los sistemas acuáticos del Uruguay el fósforo ha mostrado ser la variable crítica de la calidad del agua. Evaluando de esta forma se está considerando el peor escenario o la condición más conservadora para la determinación del estado trófico.

Para el cálculo se utiliza la media geométrica por estación de monitoreo y por año de muestreo. (Anexo 1).

Nivel trófico	IET	Color Indicador
Ultraoligotrófico	≤ 47	Cyan
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	Blue
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	Green
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	Yellow
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	Orange
Hipereutrófico	> 67	Red

Tabla 5. Índice de Estado Trófico (IET) (Lamparelli, 2004).

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
8LU1	SUPER	EUTRO	EUTRO	SUPER	SUPER	SUPER	SUPER	SUPER	EUTRO	SUPER	EUTRO	SUPER	SUPER	EUTRO
8LU2	SUPER	EUTRO	EUTRO	SUPER	EUTRO	SUPER	SUPER	EUTRO						
8LU2b	SUPER	EUTRO	EUTRO	SUPER	SUPER	EUTRO	SUPER	SUPER	EUTRO	SUPER	EUTRO	EUTRO	SUPER	EUTRO
8LU3	EUTRO	EUTRO	EUTRO	SUPER	SUPER	EUTRO	SUPER	SUPER	EUTRO	SUPER	EUTRO	EUTRO	EUTRO	EUTRO
8LU4	SUPER	EUTRO	EUTRO	SUPER	SUPER	EUTRO	SUPER	SUPER	EUTRO	SUPER	EUTRO	EUTRO	SUPER	EUTRO
8LU5	EUTRO	EUTRO	EUTRO	EUTRO	SUPER	EUTRO	SUPER	SUPER	EUTRO	SUPER	EUTRO	EUTRO	EUTRO	EUTRO
8LU8	EUTRO	EUTRO	EUTRO	EUTRO	SUPER	EUTRO	EUTRO	SUPER	EUTRO	SUPER	EUTRO	EUTRO	EUTRO	EUTRO
8LU7	EUTRO	EUTRO	EUTRO	SUPER	SUPER	EUTRO	EUTRO	SUPER	EUTRO	SUPER	EUTRO	EUTRO	EUTRO	EUTRO
C1	HPER	HPER	HPER	SUPER	HPER	HPER	HPER	HPER	HPER	HPER	SUPER	HPER	HPER	SUPER
C2	SUPER	SUPER	SUPER	SUPER	SUPER	HPER	HPER	SUPER						

Tabla 6. Evaluación del Índice de Estado Trófico de todos los sitios de muestreo en el período 2010 – 2023.

Se observa que el sitio C1 es el que presenta mayores niveles de IET a lo largo del monitoreo en todos los años. Se observa una leve mejora en algunos sitios del río respecto a los años anteriores.

DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL

GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL

SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL

Unidad Calidad de Agua

Clorofila a (Clo a)

La clorofila a es un pigmento fotosintético que se encuentra tanto en las plantas como en el fitoplancton, que comprende a las algas microscópicas y las cianobacterias. Se emplea como un indicador global y no específico de la concentración de fitoplancton en un cuerpo de agua.

La medición de la clorofila a es una herramienta importante para evaluar el estado trófico de un ecosistema acuático. El estado trófico hace referencia al nivel de nutrientes y materia orgánica presentes en el agua, y está estrechamente relacionado con la productividad biológica y la capacidad del agua para mantener vida acuática. La concentración de clorofila a está directamente relacionada con la cantidad de biomasa de fitoplancton presente, y un aumento en su concentración puede indicar una mayor productividad y posibles problemas de eutrofización en el ecosistema.

Es relevante tener en cuenta que la clorofila a es un indicador inespecífico, lo que significa que su concentración puede estar influenciada por diversos factores, como la disponibilidad de nutrientes (por ejemplo, nitrógeno y fósforo), la temperatura, la intensidad de la luz solar y otros factores ambientales. Por lo tanto, para obtener una evaluación completa del estado trófico de un cuerpo de agua, es necesario considerar otros parámetros asociados, tales como los niveles de nutrientes, la turbidez y la presencia de otras especies de fitoplancton y algas. Combinar estos indicadores proporciona una visión más precisa y detallada del estado del ecosistema acuático.

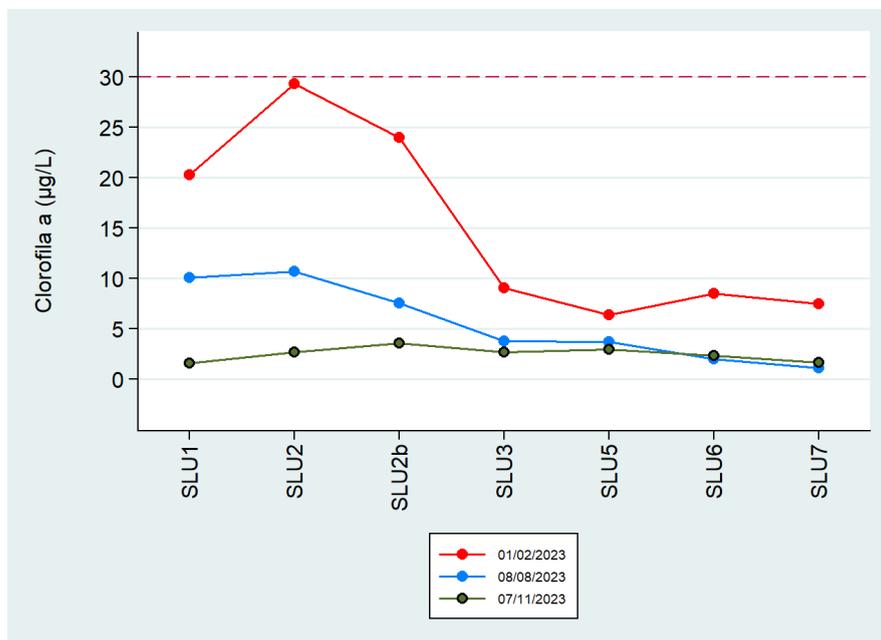


Figura 10. Clorofila a en el Río Santa Lucía en los muestreos del año 2023. La línea roja punteada representa el límite de 30 µg/L (ver tabla 3b).

DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

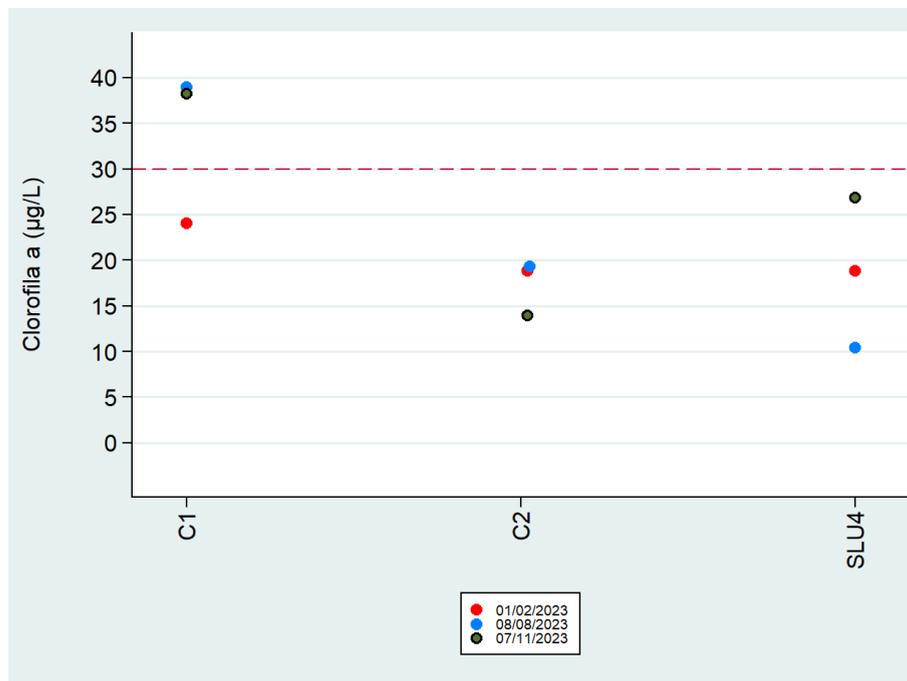


Figura 11. Clorofila a en los afluentes del Río Santa Lucía en los muestreos del año 2023. La línea roja punteada representa el límite de 30 $\mu\text{g/L}$ (ver tabla 3b).

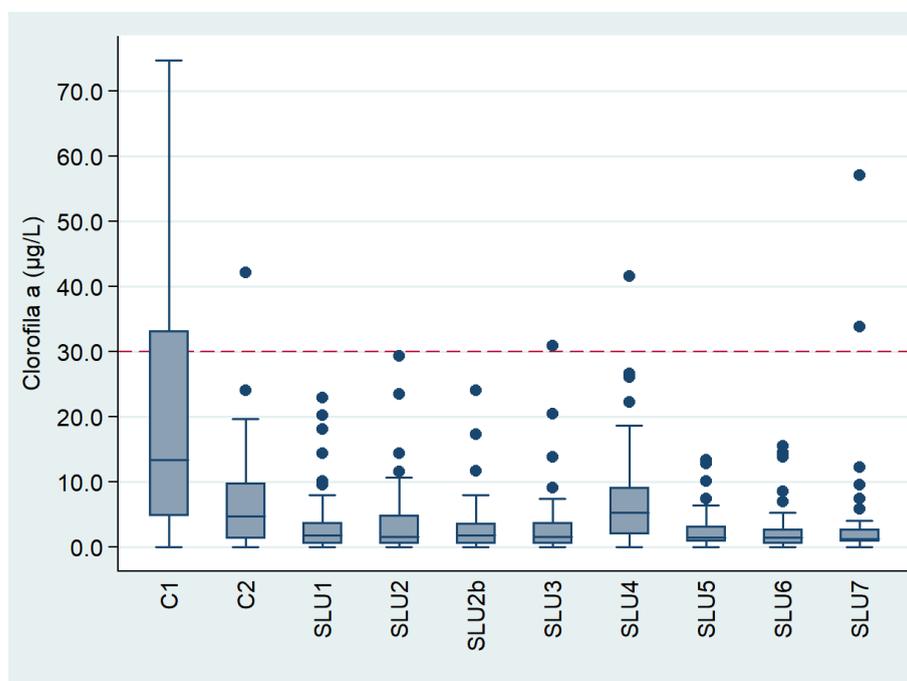


Figura 12. Clorofila a en el Río Santa Lucía y Afluentes en todos los muestreos 2009-2023. La línea roja punteada representa el límite de 30 $\mu\text{g/L}$ (ver tabla 3b).



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

En los muestreos del año 2023, se registraron valores de clorofila *a* en el Río Santa Lucía que se mantuvieron por debajo del límite establecido por la Mesa Técnica del Agua para cursos de agua mayores a orden 3.

Por otro lado, en los afluentes del río principal, en particular en el sitio C1, se superó el límite establecido en los muestreos de invierno y primavera.

A lo largo de los años, vemos que la concentración de este indicador en el río principal se mantiene por debajo del límite mencionado salvo en unas pocas excepciones. En cambio, en el sitio C1, con cierta frecuencia se ven valores que exceden este límite.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL

GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL

SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL

Unidad Calidad de Agua

Coliformes fecales

Los coliformes fecales son un grupo de bacterias intestinales que se utilizan como indicador de contaminación fecal en el ambiente acuático.

Para evaluar los resultados de los coliformes fecales, se aplica el criterio de la clase 3 establecido por el Decreto 253/79 y sus modificaciones posteriores. Este criterio establece que el límite puntual no debe exceder las 2000 unidades formadoras de colonias (ufc) por cada 100 mililitros en al menos 5 muestras.

En las Figuras 13 y 14 se presentan los valores registrados durante los muestreos llevados a cabo en el año 2023, mientras que en la figura 15 se muestra un resumen de todos los datos recopilados desde el inicio del monitoreo.

El seguimiento y análisis de los coliformes fecales son fundamentales para evaluar la calidad del agua y la presencia de fuentes de contaminación fecal en el ambiente acuático. Al comparar los resultados con los límites establecidos, se puede tomar acción en caso de que se superen los valores permitidos, con el objetivo de mantener y proteger la salud del ecosistema acuático y garantizar la seguridad del agua para diversos usos, como recreación y abastecimiento.

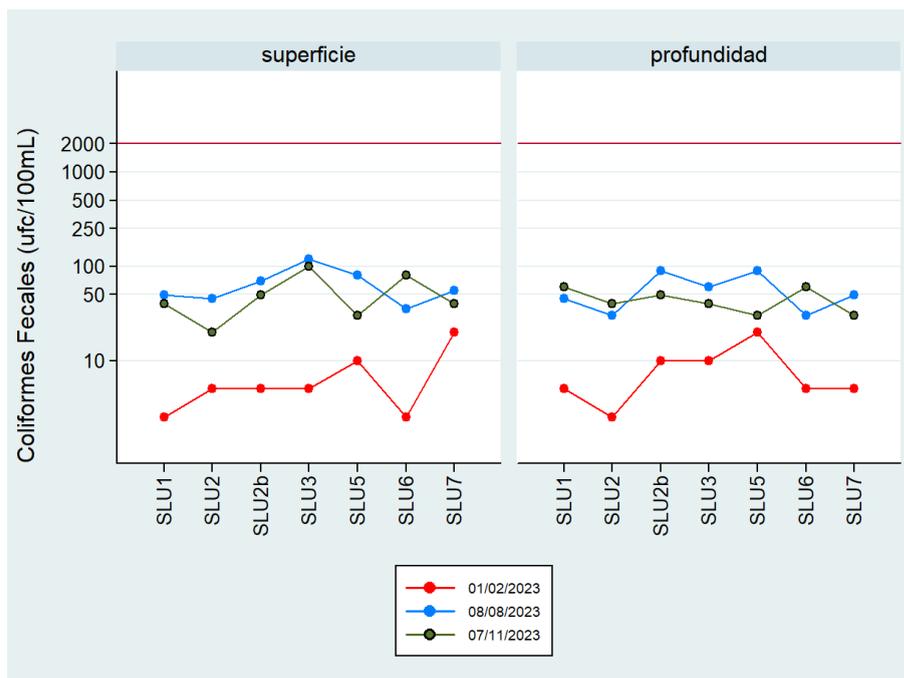


Figura 13. Coliformes fecales en Río Santa Lucía en los muestreos del año 2023. La línea roja indica el límite establecido en el Decreto 253/79 para valores puntuales de la Clase 3 (2000 ufc/100mL).



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

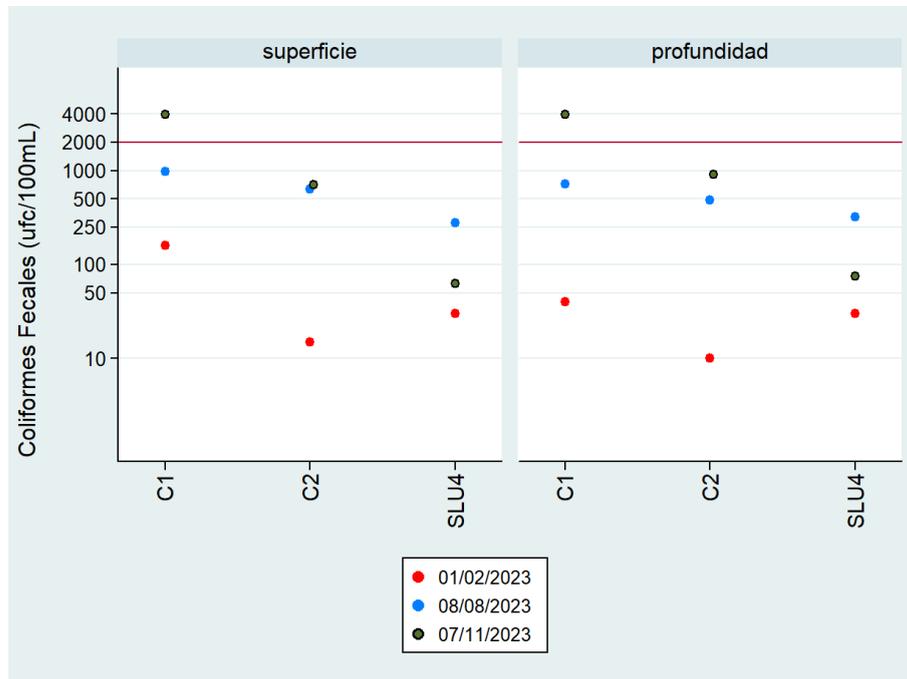


Figura 14. Coliformes Fecales en en los afluentes del Río Santa Lucía en los muestreos del año 2023. La línea roja indica el valor máximo (2000 ufc/100mL) límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

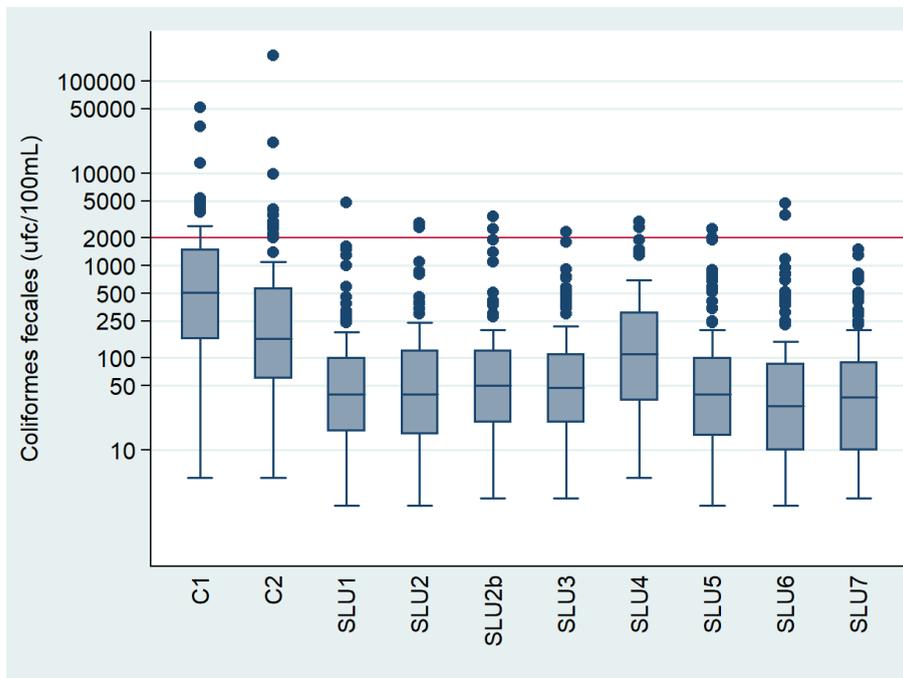


Figura 15. Coliformes Fecales en Río Santa Lucía y Afluentes en todos los muestreos 2009 - 2023. La línea roja indica el valor máximo (2000 ufc/100mL), límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3.

Durante los muestreos del año 2023, los valores de coliformes fecales en el Río Santa Lucía fueron inferiores al límite máximo establecido en el Decreto 253/79, de 2000 ufc/100 mL.

Por otro lado, en el sitio C1 (que pertenece al afluente Arroyo Colorado), se registró un valor puntual que excedió el mencionado límite de referencia en el muestreo de noviembre.

A lo largo del tiempo, vemos que es poco frecuente encontrar valores de coliformes superiores al límite normativo en todos los sitios (figura 15), aunque estos valores excedentes se registran principalmente en los sitios de los afluentes.

DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL

GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL

SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL

Unidad Calidad de Agua

Oxígeno Disuelto (OD)

La materia orgánica presente en el agua es descompuesta por microorganismos como bacterias y algas en un proceso que implica el consumo de oxígeno. Cuando se acumula gran cantidad de materia orgánica en el agua, el proceso microbiano de descomposición puede llegar a consumir buena parte del oxígeno disuelto, lo que puede disminuir los niveles de oxígeno disponible para otras formas de vida en el medio acuático. Estos organismos dependen de éste para llevar a cabo sus funciones vitales, como la respiración.

Por lo tanto, el oxígeno disuelto es un indicador importante de calidad del agua. Los bajos niveles de oxígeno pueden resultar en condiciones adversas para la vida acuática y pueden llevar a la muerte de peces y otros organismos. Mantener niveles adecuados de oxígeno disuelto es crucial para proteger y preservar la vida en los cuerpos de agua y para asegurar la sostenibilidad del medio acuático en general.

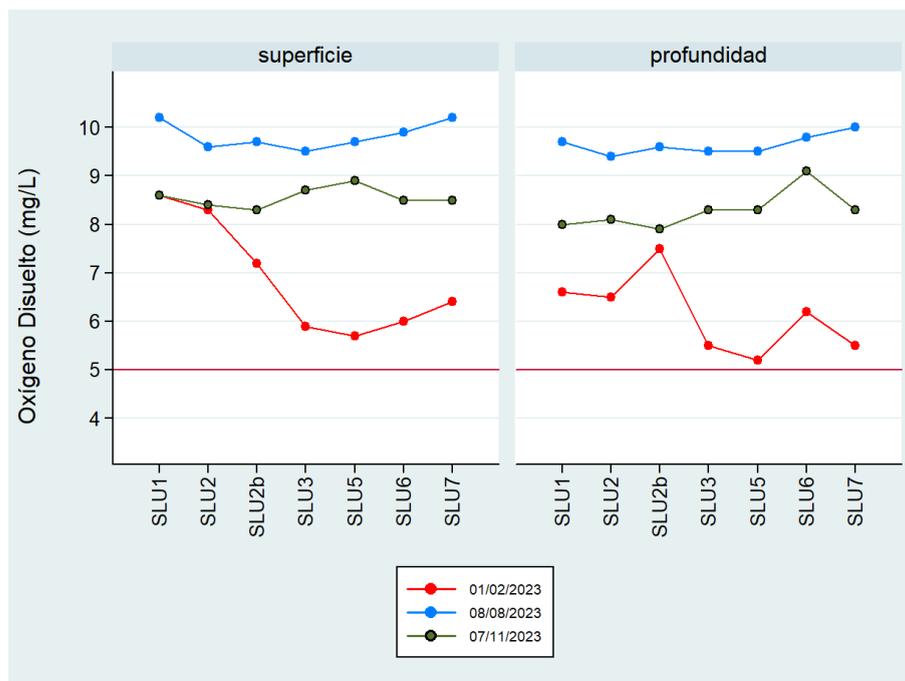


Figura 16. Oxígeno Disuelto en Río Santa Lucía en los muestreos del año 2023. La línea roja indica el valor mínimo (5 mg/L) del límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

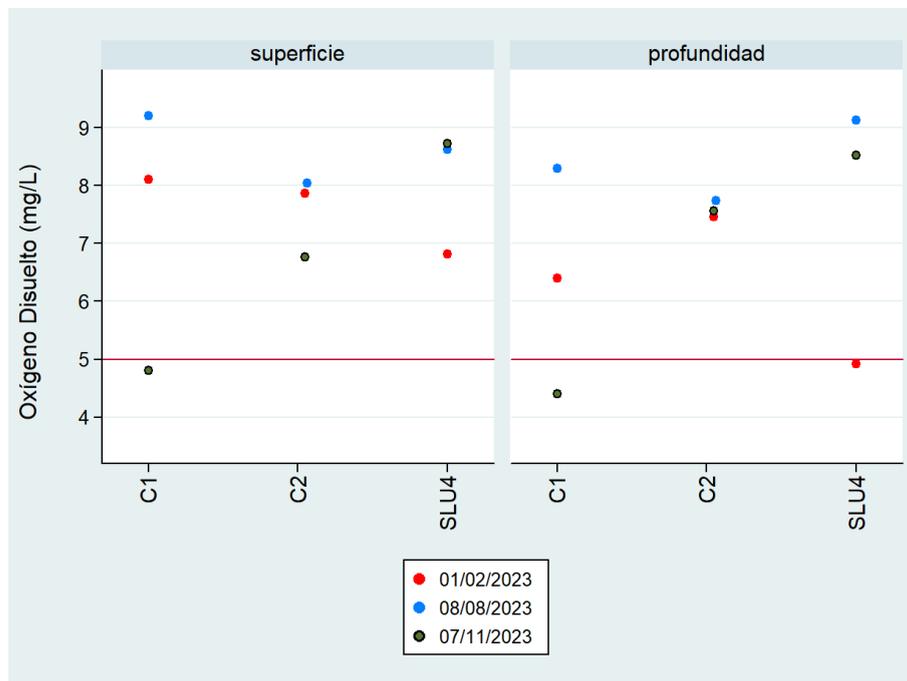


Figura 17. Oxígeno Disuelto en Afluentes del Río Santa Lucía en los muestreos del año 2023. La línea roja indica el valor mínimo (5 mg/L) del límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3.

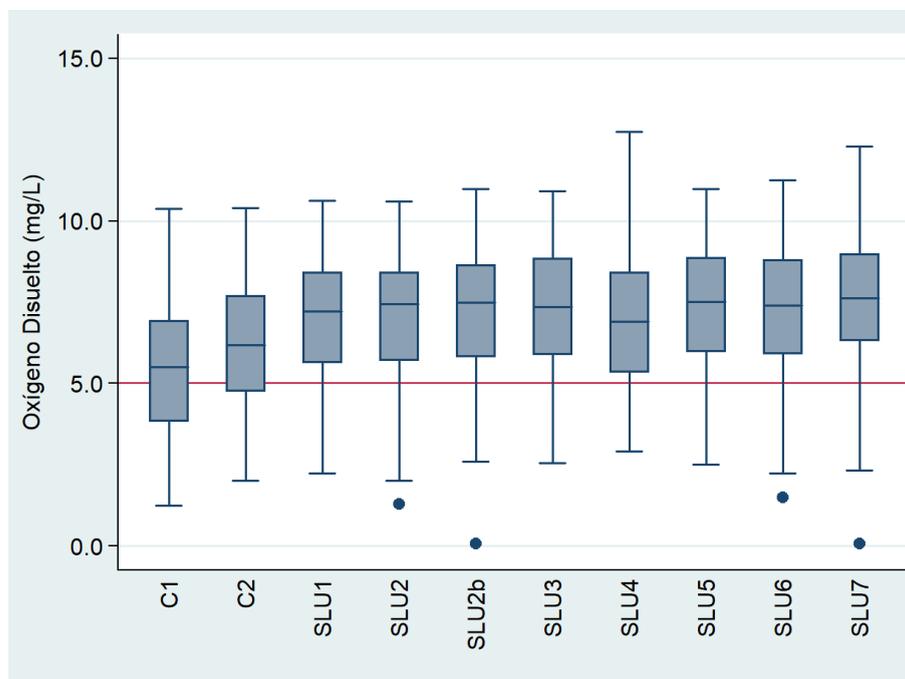


Figura 18. Oxígeno Disuelto en Río Santa Lucía y Afluentes en todos los muestreos 2009 - 2023. La línea roja indica el valor mínimo (5 mg/L) del límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

En los muestreos del año 2023, todos los valores de oxígeno registrados en el Río Santa Lucía se mantuvieron por encima del límite establecido por la normativa. Esto indica que en general, los niveles de oxígeno disuelto en el agua se encontraron en rangos adecuados para el buen funcionamiento del ecosistema acuático.

Por otro lado, en los sitios C1 y SLU4 de los afluentes se registraron valores inferiores al límite de 5 mg/L en el muestreo de noviembre y febrero, respectivamente.

En cuanto a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) los valores en todos los sitios fueron inferiores al límite de la normativa.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL

GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL

SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL

Unidad Calidad de Agua

pH

El pH es una medida que indica la concentración de iones H^+ y OH^- en un medio acuoso y es ampliamente utilizado para evaluar la calidad de un curso de agua.

En general, en las aguas naturales, el pH tiende a variar entre 6 y 9. Estas fluctuaciones pueden atribuirse a diversos factores, tales como la temperatura del agua, la descomposición de la materia orgánica presente, los desechos provenientes de actividades agrícolas, los drenajes ácidos o la presencia de sitios eutrofizados. En este último caso, las altas tasas de fotosíntesis generadas por las floraciones de algas y cianobacterias pueden influir en los niveles de pH del agua.

El control y seguimiento del pH en el agua son fundamentales para entender el estado del ecosistema acuático y detectar posibles alteraciones en su equilibrio. Los cambios significativos en el pH pueden tener efectos negativos en la vida acuática, ya que algunos organismos son altamente sensibles a las variaciones de acidez o alcalinidad. Por lo tanto, mantener un pH dentro de los rangos naturales adecuados es esencial para garantizar la salud del ecosistema acuático y la protección de la biodiversidad que depende de él.

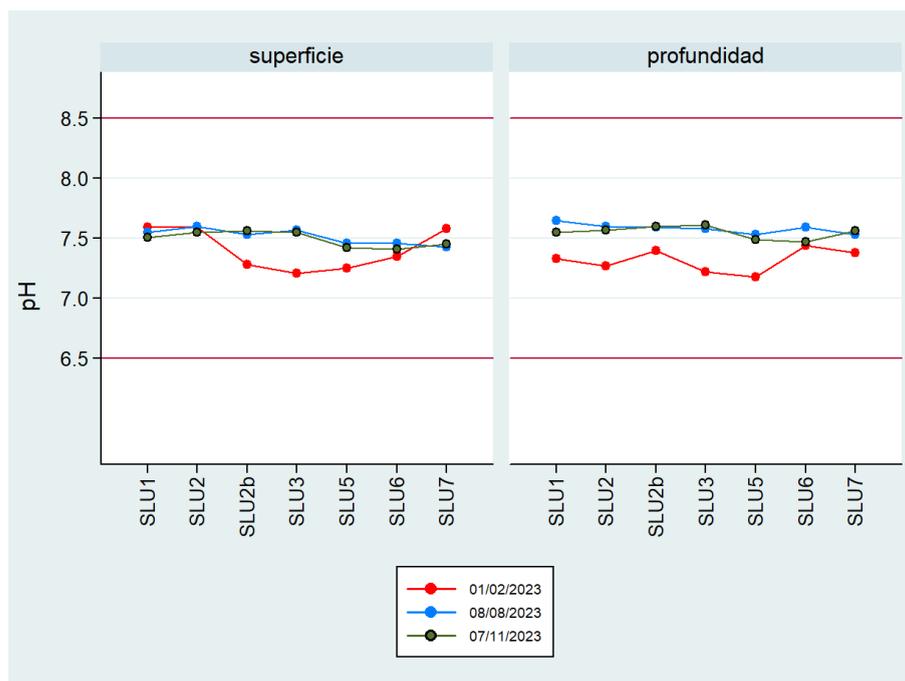


Figura 19. pH en el Río Santa Lucía en los muestreos del año 2023. Las líneas rojas indican el valor mínimo (6,5) y el máximo (8,5), límites establecidos en el Decreto 253/79 para la Clase 3.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

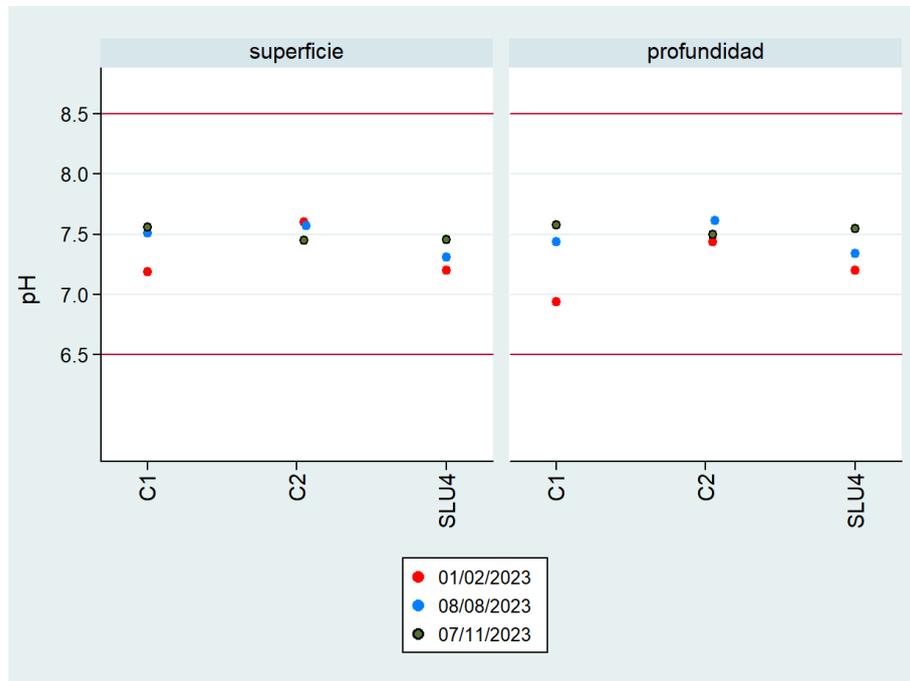


Figura 20. pH en Afluentes del Río Santa Lucía en los muestreos del año 2023. Las líneas rojas indican el valor mínimo (6,5) y el máximo (8,5), límites establecidos en el Decreto 253/79 para la Clase 3.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

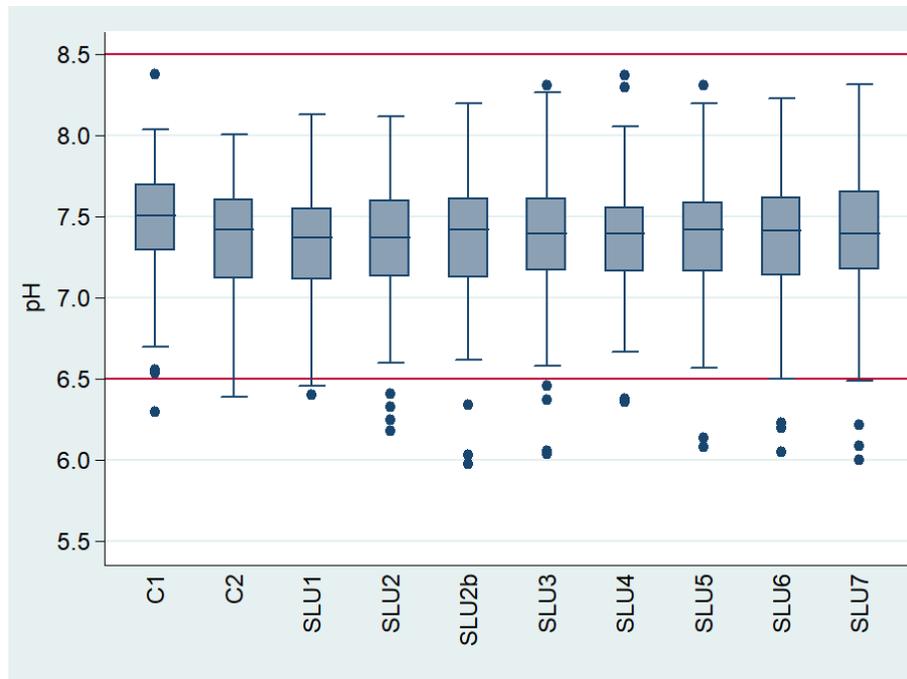


Figura 21. pH en Río Santa Lucía y Afluentes en todos los muestreos 2009 – 2023. Las líneas rojas indican el valor mínimo (6,5) y el máximo (8,5), límites establecidos en el Decreto 253/79 para la Clase 3.

Los resultados obtenidos durante el año 2023 muestran que todos los valores estuvieron dentro de los límites permitidos por la normativa establecida en el Decreto 253/79 para la Clase 3. En la gráfica 21, vemos que a lo largo del tiempo los valores de pH se mantienen dentro del rango de la normativa, con pocos valores por debajo del rango.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

Conductividad

La conductividad del agua refleja la capacidad que tiene la misma de conducir la corriente eléctrica y ésta varía en función de la presencia de iones. Los factores que la modifican pueden ser el ingreso de agua salada por estar cerca de un estuario, presencia de contaminantes con el aumento de la carga de iones entre otros.

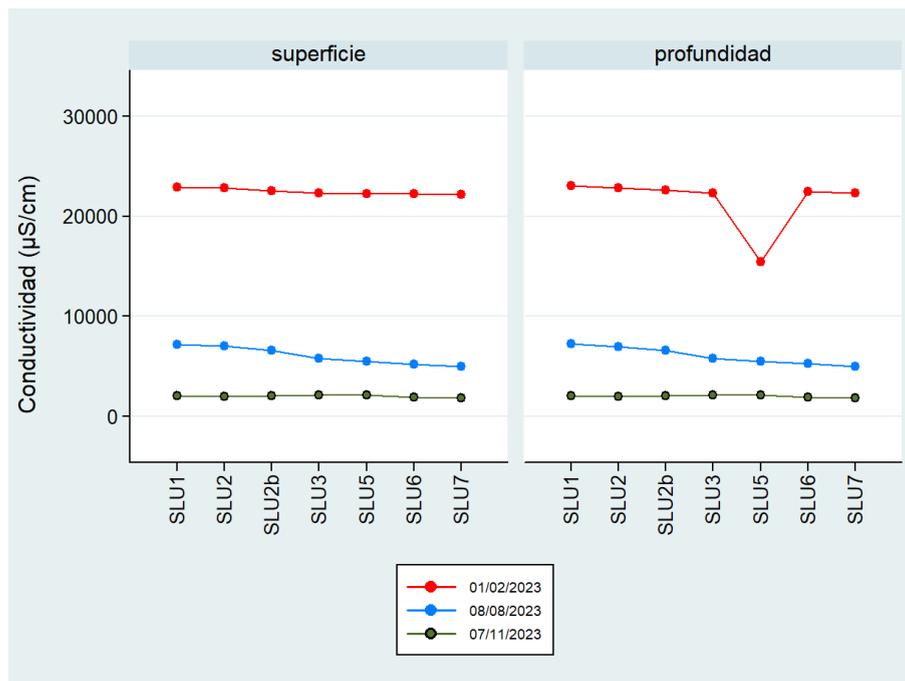


Figura 22. Conductividad en Río Santa Lucía en los muestreos del año 2023.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

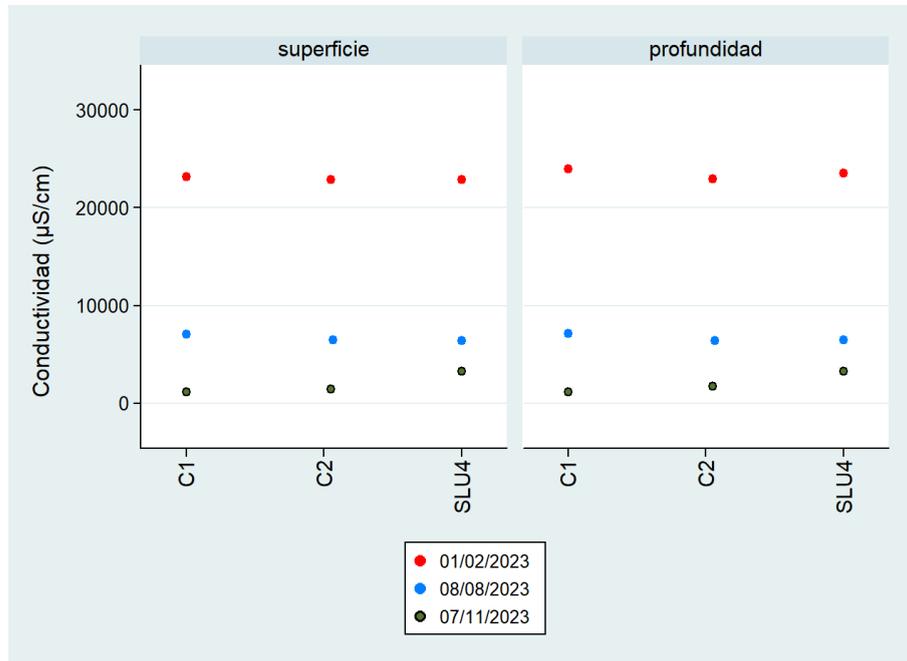


Figura 23. Conductividad en Afluentes del Río Santa Lucía en los muestreos del año 2023.

La conductividad del agua en el Río Santa Lucía muestra un comportamiento bastante homogéneo a lo largo del cauce hasta la desembocadura, para cada fecha. Durante el muestreo realizado en agosto se observaron los valores más bajos registrados.

Salinidad

La salinidad refleja directamente el contenido de sales minerales disueltas siendo la principal en el agua marina el cloruro de sodio. La misma presenta un comportamiento similar al de la conductividad. Los altos valores de salinidad (y conductividad) que se registraron en el muestreo de febrero de 2023, reflejan el efecto de la sequía que afectó al sur del país entre 2022 y 2023. En los muestreos de agosto y noviembre vemos la disminución progresiva de la salinidad, reflejando el fin de la sequía.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

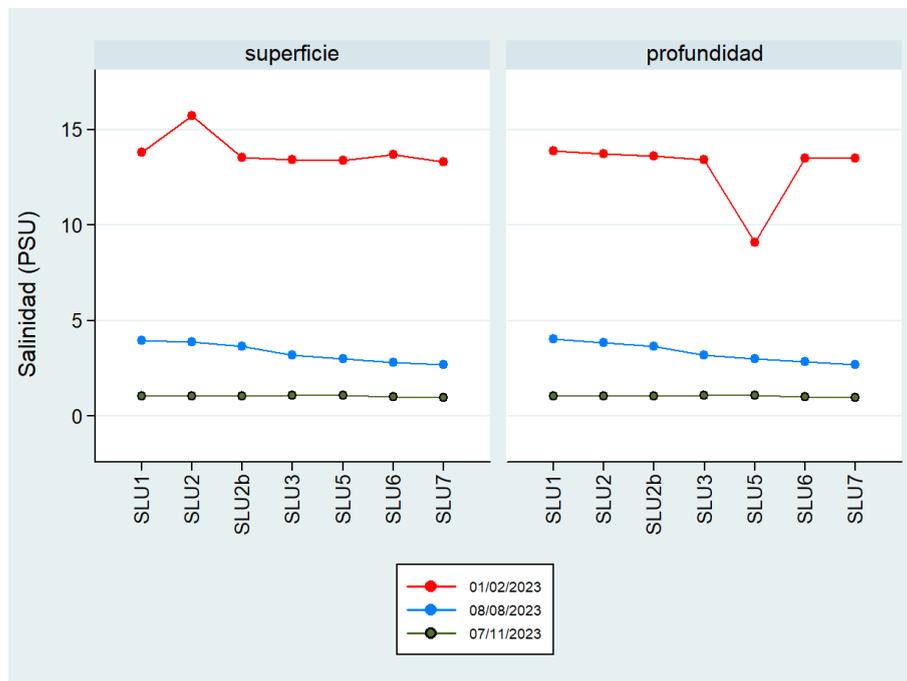


Figura 24. Salinidad en Río Santa Lucía en los muestreos del año 2023.

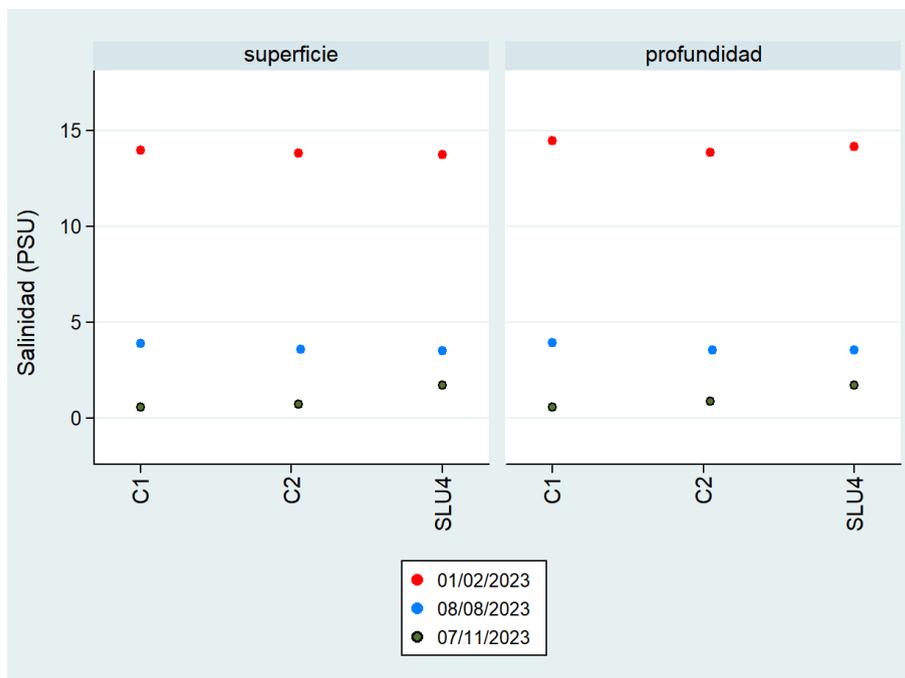


Figura 25. Salinidad en Afluentes del Río Santa Lucía en los muestreos del año 2023.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL

GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL

SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL

Unidad Calidad de Agua

Turbidez

La turbiedad o turbidez del agua de un río es una medida que indica el grado de opacidad o claridad del agua debido a la presencia de partículas suspendidas en ella. Estas partículas pueden ser sedimentos, arcillas, materia orgánica, microorganismos u otras sustancias que no están disueltas en el agua y que la hacen parecer turbia o poco transparente.

La turbidez se evalúa generalmente midiendo la cantidad de luz que se dispersa o bloquea debido a las partículas presentes en el agua. Se expresa en unidades nefelométricas de turbidez (NTU), que es una medida estándar aceptada para cuantificar.

La presencia de una alta turbidez en el agua puede deberse a diversas razones, como actividades humanas que erosionan el suelo, descargas de aguas residuales, deforestación, entre otras. La turbidez no solo afecta la apariencia visual del agua, sino que también puede tener implicaciones ambientales y ecológicas.

Una elevada turbidez puede reducir la penetración de la luz solar en el agua, lo que afecta la fotosíntesis de las plantas acuáticas y la producción de oxígeno. Además, las partículas suspendidas pueden transportar nutrientes y contaminantes, lo que puede tener impactos negativos en la vida acuática y la calidad del agua.

El monitoreo de la turbidez es una herramienta valiosa para evaluar la salud de los ecosistemas acuáticos y tomar medidas adecuadas para mitigar los efectos negativos de la turbidez excesiva. Además, también es útil en la gestión del agua para diferentes usos, como el suministro de agua potable, la agricultura y la industria donde puede influir en la eficiencia de los procesos de tratamiento y utilización del agua.

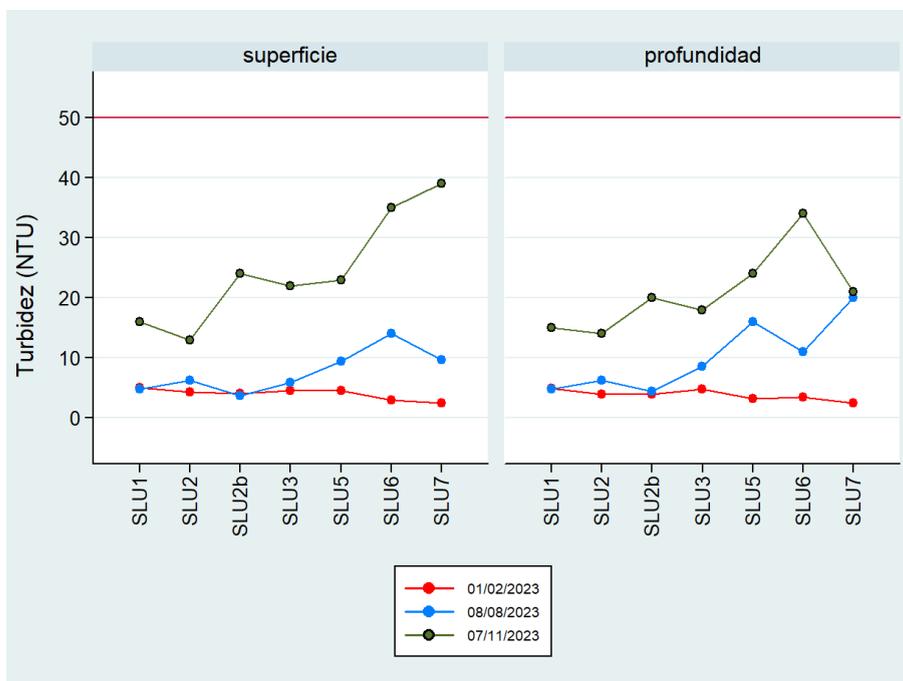


Figura 26. Turbidez en Río Santa Lucía en los muestreos del año 2023. La línea roja indica el valor de 50 NTU, límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

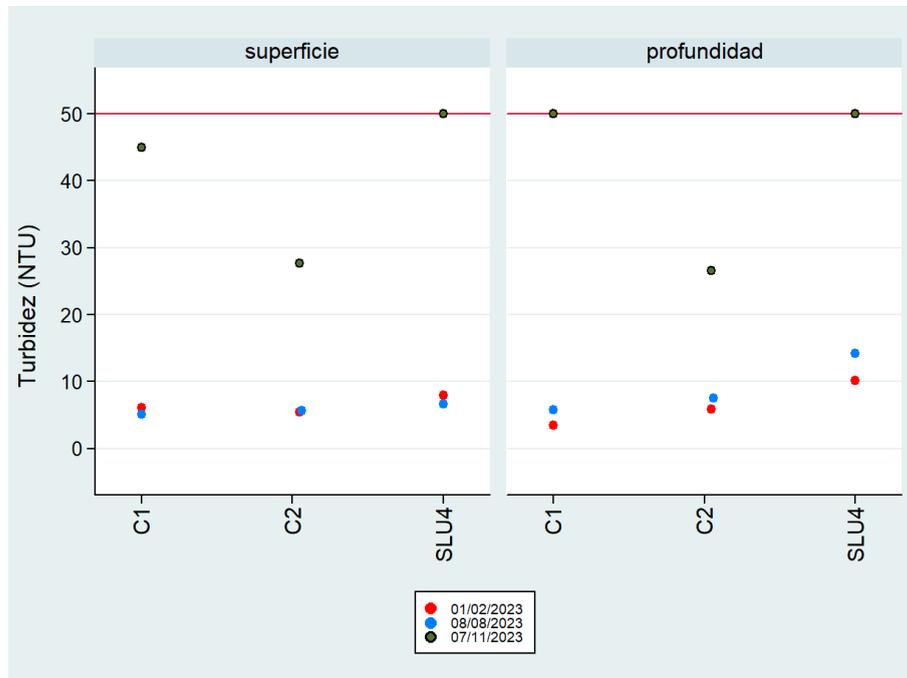


Figura 27. Turbidez en Afluentes del Río Santa Lucía en los muestreos del año 2023. La línea roja indica el valor de 50 NTU, límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3

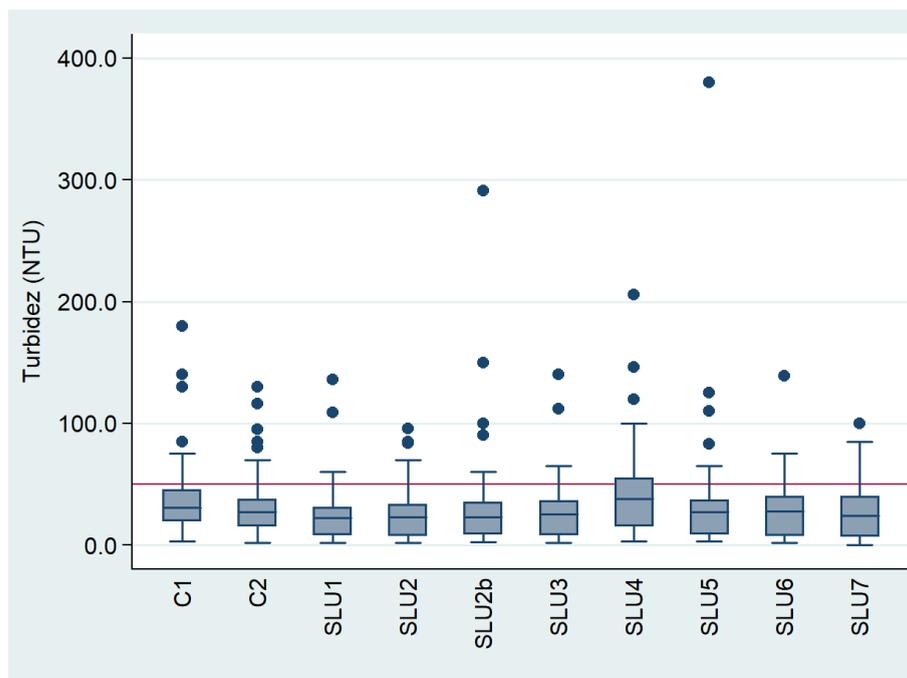


Figura 28. Turbidez en Río Santa Lucía y Afluentes en todos los muestreos 2009 - 2023. La línea roja indica el valor de 50 NTU, límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL

GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL

SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL

Unidad Calidad de Agua

En los muestreos del año 2023 todos los valores de turbidez estuvieron debajo del límite de la normativa. La turbidez fue en aumento con los sucesivos muestreos del 2023 (patrón inverso al observado en la salinidad) reflejando posiblemente el arrastre de sedimentos debido al fin de la sequía y el restablecimiento del flujo del río.

En la figura 28, que resume los datos desde el inicio del monitoreo, vemos que la turbidez del agua de toda la cuenca baja del Río Santa Lucía es variable y ocasionalmente se registran valores por encima a los 50 NTU (límite del Decreto 253/79).

Sólidos suspendidos totales (SST)

Este parámetro mide el peso seco por unidad de volumen (mg/L) de la fracción de partículas suspendidas (y no disueltas) en el agua. La presencia de material sólido particulado puede deberse a la resuspensión de sedimentos por arrastre de la corriente, por escorrentía superficial de partículas en el suelo luego de lluvias, o por algún tipo de contaminación puntual.

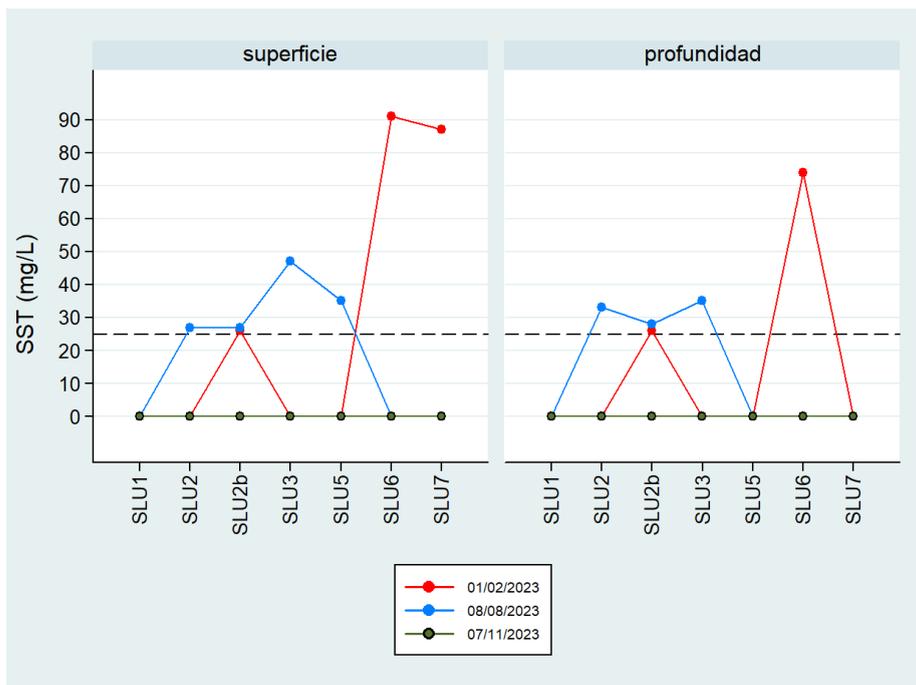


Figura 29. Sólidos suspendidos totales en sitios del Río Santa Lucía en los muestreos del año 2023. La línea punteada indica el límite de cuantificación de la técnica (25 mg/L). Los valores inferiores a ese límite se representan con el valor cero.

DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

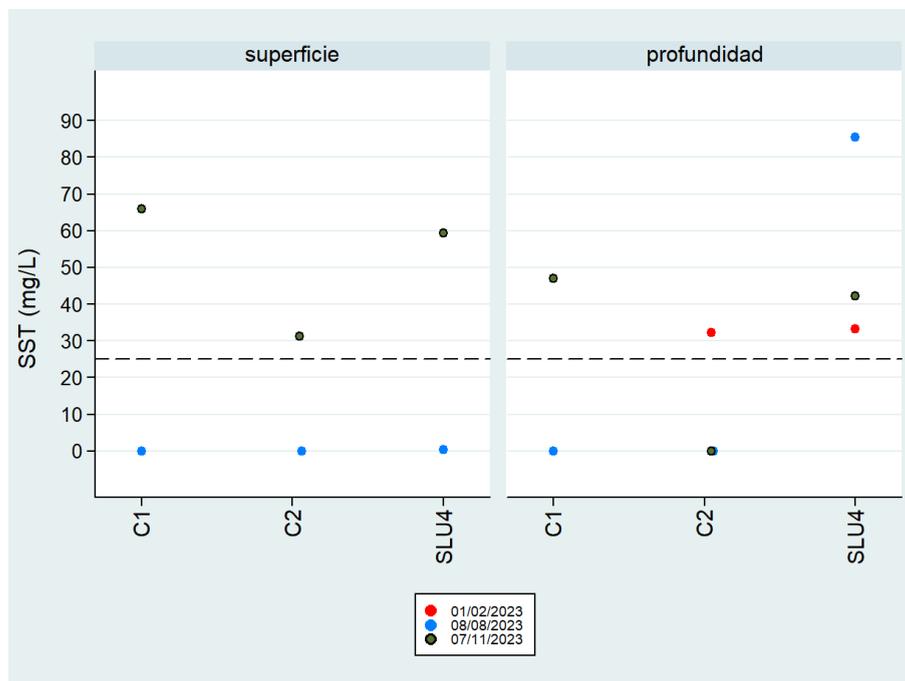


Figura 30. Sólidos suspendidos totales en Afluentes del Río Santa Lucía en los muestreos del año 2023. La línea punteada indica el límite de cuantificación de la técnica (25 mg/L). Los valores inferiores a ese límite se representan con el valor cero.

En el río Santa Lucía se registraron valores detectables de SST solamente en los muestreos de febrero y agosto. Se destaca que en el muestreo de febrero los valores de superficie de los sitios SLU6 y SLU7 (ubicados en la desembocadura) superan ampliamente los valores de todos los demás sitios.

En los afluentes, en superficie solamente se obtuvieron valores detectables en el muestreo noviembre. Por otro lado, en profundidad vemos que el sitio SLU4 es el único que presenta valores detectables de SST en los tres muestreos.

Metales pesados (plomo y cromo)

Los metales pesados son compuestos inorgánicos que pueden ingresar a los cuerpos de agua a través de vertidos industriales, agrícolas, domésticos o por deposición atmosférica. Es esencial monitorear sus concentraciones en el agua para evaluar su impacto ambiental.

Se realizan análisis de Plomo y Cromo en todas muestras de agua de todos los sitios. Los resultados de 2023 mostraron que todas las concentraciones de Plomo estuvieron por debajo de 0,020 mg/L, y las concentraciones de Cromo se mantuvieron por debajo de 0,010 mg/L. Estos valores se encuentran por debajo de los límites establecidos en la normativa de referencia (0,030 mg/L para Plomo y 0,050 para Cromo).



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

Bioensayos

Los bioensayos son herramientas ecotoxicológicas que permiten determinar el riesgo por agentes contaminantes presentes en el ambiente, sean estos conocidos o no (Castillo-Morales, 2004). Estos ensayos, permiten evaluar los efectos de sustancias tóxicas, independientemente de si éstas están o no identificadas.

Dado que cada especie presenta características biológicas particulares, ellas le pueden otorgar una sensibilidad diferencial a los distintos contaminantes y por ello es recomendable utilizar más de un bioensayo que se corresponda con distintos organismos de prueba.

Los organismos utilizados en los bioensayos del presente estudio son: *Vibrio fischeri* (bacteria), *Hydra vulgaris* (antes *H. attenuata*; cnidario), *Artemia franciscana* (crustáceo), *Daphnia magna* (crustáceo) y *Hyalella curvispina* (crustáceo).

Particularmente, la bacteria (*V. fischeri*) es muy sensible a la contaminación por detergentes e hidrocarburos, en tanto que los crustáceos son muy sensibles a los metales pesados e *H. vulgaris* ha mostrado una gran sensibilidad frente a la contaminación producto de la degradación de la materia orgánica.

Actualmente se aplican los bioensayos ya descritos de *D. magna*, *H. vulgaris*, *V. fischeri* y *A. franciscana* a las aguas del humedal del Río Santa Lucía (sitios de muestreo SLU1, SLU2, SLU2b, SLU3, SLU4, SLU5, SLU6, SLU7) y en uno de sus afluentes, el arroyo Colorado (sitios de muestreo C1 y C2). En cada sitio de muestreo se toman muestras de agua en superficie y próximo al fondo. En sedimento se presentan los resultados del bioensayos de *V. fischeri* aplicado al elutriado de sedimento y el de *H. curvispina* en sedimento entero.

Para todos los ensayos, los resultados se expresan en Unidades de Toxicidad (UT) determinadas a partir de la fórmula: $UT = 100 / CL_{50}$, donde CL_{50} es la Concentración Letal al 50% estimada en el bioensayo (Castillo-Morales, 2004). En el caso de *V. fischeri* la estimación de efecto corresponde a la Concentración de Inhibición al 50% de la emisión de luz de la bacteria. Por consiguiente, los valores más altos de UT corresponden a una mayor toxicidad.

En la tabla 7 se presentan las categorías correspondientes de acuerdo a las UT siguiendo el criterio adoptado por MVOTMA (2017b). Para facilitar la interpretación de los resultados se utiliza una escala de color que va desde el rojo para mayor toxicidad al verde en el caso de una muestra no tóxica.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

Concentración Letal 50%	Unidad de Toxicidad	Categoría Toxicológica
$CL_{50} \leq 25$	$UT \geq 4$	Muy Tóxico
$25 < CL_{50} \leq 50$	$2 \leq UT < 4$	Tóxico
$50 < CL_{50} \leq 75$	$1,33 \leq UT < 2$	Moderadamente Tóxico
$75 < CL_{50} < 100$	$1,0 < UT < 1,33$	Levemente Tóxico
$CL_{50} \geq 100$	$UT \leq 1$	No Tóxico

Tabla 7. Categoría de toxicidad según las Unidades de Toxicidad.

Métodos de Bioensayos

Los organismos utilizados en los bioensayos del presente estudio son: *Daphnia magna* (Crustáceo), *Hydra vulgaris* (antes *H. attenuata*; Cnidario), *Vibrio fischeri* (Bacteria), *Artemia franciscana* (Crustáceo) y *Hyalella curvispina* (Crustáceo).

El ensayo de *Daphnia magna* es un test de toxicidad estático y agudo (48 horas) que se ha implementado con adaptaciones del protocolo de la norma ISO 6341 (UNE-EN ISO 6341, 2013) y siguiendo recomendaciones de la red WaterTox (Castillo-Morales, 2004; Espínola et al., 2005). El mismo se aplica a muestras líquidas de salinidad menor o igual a 5 UPS.

El bioensayo de *Hydra attenuata* es un test de toxicidad estático y agudo (48 horas) que se ha implementado con adaptaciones del protocolo de Trottier et al. (1997) y siguiendo recomendaciones de la red WaterTox (Castillo-Morales, 2004; Espínola et al., 2005). Dicho ensayo es adecuado para muestras líquidas de salinidad menor a 1 UPS.

En el Anexo II del informe anual 2020 (Programa de monitoreo de agua y sedimentos de los humedales del Río Santa Lucía, 2020) se detallan las adaptaciones de los protocolos y se dan referencias sobre la sensibilidad de los ensayos de *Daphnia* e *Hydra*.

Por otra parte, se realizan también ensayos con un organismo procariota mediante el Sistema Microtox®. Este bioensayo examina el efecto tóxico de las muestras, tanto en agua como en sedimento de salinidad variable, basándose en la reducción de la bioluminiscencia natural de la bacteria marina *Vibrio fischeri* (EPS, 1992; SDI Microtox, 2009). En el presente estudio se aplicaron los protocolos "81,9% Screening test" y "81,9% Basic test". Se adopta como límite umbral de toxicidad el valor 17% de inhibición de emisión de luz (%IEL), correspondiente al límite de cuantificación (EPS, 1992).

En las muestras de agua donde la salinidad fue mayor a 5 UPS se aplicó el testeado de toxicidad mediante el bioensayo de *Artemia franciscana*, por ser una especie eurihalina (tolera un amplio



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL

GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL

SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL

Unidad Calidad de Agua

rango de salinidad). El ensayo de *A. franciscana* es un test de toxicidad estático y agudo (24 horas) y se realiza con larvas de estadio II-III. La implementación del ensayo contempló las pautas del protocolo ARTOXKIT M® (MicroBioTests Inc.).

El bioensayo de *H. curvispina* tiene una duración de 10 días y se exponen los individuos directamente al sedimento. Se utilizan individuos juveniles entre 7 y 14 días de edad, producidos utilizando un protocolo adaptado de Somma *et al.* (2011). El bioensayo se adaptó tomando en cuenta los antecedentes de Peluso (2011) y Lagomarsino (2022). Cada tratamiento (control negativo y muestras) se realiza por triplicado, colocando 10 individuos juveniles por réplica. Las réplicas tuvieron un volumen aproximado de 100 ml de sedimento (120 g \pm 10 g) y 175 ml de medio líquido sobrenadante compuesto por partes iguales de agua dura comercial (Nativa®) y agua destilada. Los recipientes utilizados para el ensayo fueron potes de polipropileno descartables de 400 ml con tapa, calidad alimentaria. El control negativo es sedimento formulado en laboratorio de forma semejante a lo establecido por Peluso (2011), cuya composición es la siguiente: 75% de arena de cuarzo o vidrio, 20% de caolín y 5% de turba de musgo spagnum.

El ensayo se desarrolla a una temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$, con fotoperíodo de 16h luz / 8h oscuridad y se alimentó al inicio, tercer y séptimo día con 1,5 ml de un alimento compuesto por: 90ml algas (*Selenastrum capricornutum*, en crecimiento exponencial), 10ml levadura (*Saccharomyces cerevisiae*, 5 g/l) y 1 g de alimento en escamas Tetrafin o SERA® (proteína bruta mayor a 40%). La medida de efecto es la muerte de los individuos y se calcula el porcentaje de mortalidad. Con fines descriptivos se establecieron tres niveles de efecto: menor o igual a 10% de mortalidad (10%M), entre 10%M y 30%M y mayor o igual a 30%M, dichos umbrales se basan en el análisis de potencia desarrollado en Lagomarsino (2022).

-*Daphnia magna*

En la tabla 8 se presentan los resultados del año 2023 donde se analizaron dos muestras por sitio para superficie y fondo con *Daphnia*. Los resultados fueron no tóxicos o levemente tóxicos y se observó con mayor frecuencia valores levemente tóxicos en las muestras de fondo.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

Sitio	Superficie				Fondo			
	N	Mediana	Mínimo	Máximo	N	Mediana	Mínimo	Máximo
SLU1	2	1,00	1,00	1,00	2	1,07	1,00	1,15
SLU2	2	1,07	1,00	1,15	2	1,00	1,00	1,00
SLU2B	2	1,00	1,00	1,00	2	1,00	1,00	1,00
SLU3	2	1,00	1,00	1,00	2	1,07	1,00	1,15
SLU4	2	1,00	1,00	1,00	2	1,07	1,00	1,15
SLU5	2	1,00	1,00	1,00	2	1,00	1,00	1,00
SLU6	2	1,00	1,00	1,00	2	1,07	1,00	1,15
SLU7	2	1,00	1,00	1,00	2	1,15	1,15	1,15
C1	2	1,07	1,00	1,15	2	1,07	1,00	1,15
C2	2	1,00	1,00	1,00	2	1,07	1,00	1,15

Tabla 8. Distribución de la categoría toxicológica en el bioensayos de *D. magna* en agua para cada sitio de muestreo.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

- *Hydra attenuata*

En la tabla 9 se muestran los análisis de las muestras del humedal con el ensayo de Hydra para el año 2023. Sólo se realizó un ensayo por sitio debido a la falta de organismos para poder analizar más muestras. La mayoría de los sitios dieron resultados no tóxicos con la excepción de los puntos C1 y C2 del Arroyo Colorado donde se obtuvieron valores levemente tóxicos (Tabla 9).

Sitio	Superficie	
	N	Valor
SLU1	1	1,00
SLU2	1	1,00
SLU2B	1	1,00
SLU3	1	1,00
SLU4	1	1,00
SLU5	1	1,00
SLU6	1	1,00
SLU7	1	1,00
C1	1	1,15
C2	1	1,15

Tabla 9. Distribución de la categoría toxicológica en el bioensayos de *H. attenuata* en agua para cada sitio de muestreo.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

- *Vibrio fischeri*

En el año 2023 todas las muestras analizadas con *Vibrio fischeri* presentaron resultados no tóxicos (Tabla 10). En general, al igual que en el caso de *Daphnia*, cuando se observa toxicidad es de categoría leve y ocasional.

Sitio	Superficie				Fondo			
	N	Mediana	Mínimo	Máximo	N	Mediana	Mínimo	Máximo
SLU1	3	1,00	1,00	1,00	3	1,00	1,00	1,00
SLU2	3	1,00	1,00	1,00	3	1,00	1,00	1,00
SLU2B	3	1,00	1,00	1,00	3	1,00	1,00	1,00
SLU3	3	1,00	1,00	1,00	3	1,00	1,00	1,00
SLU4	3	1,00	1,00	1,00	3	1,00	1,00	1,00
SLU5	3	1,00	1,00	1,00	3	1,00	1,00	1,00
SLU6	3	1,00	1,00	1,00	3	1,00	1,00	1,00
SLU7	3	1,00	1,00	1,00	3	1,00	1,00	1,00
C1	3	1,00	1,00	1,00	3	1,00	1,00	1,00
C2	3	1,00	1,00	1,00	3	1,00	1,00	1,00

Tabla 10. Distribución de la categoría toxicológica en el bioensayo de *V. fischeri* en agua para cada sitio de muestreo.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
 SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
 Unidad Calidad de Agua

- *Artemia franciscana*

En la tabla 11 se muestran los resultados del año 2023 donde se analizaron dos muestras por sitio para superficie y fondo con *Artemia*. Los resultados fueron no tóxicos o levemente tóxicos y sin un patrón claro entre regiones del curso de agua o de superficie y fondo.

Sitio	Superficie				Fondo			
	N	Mediana	Mínimo	Máximo	N	Mediana	Mínimo	Máximo
SLU1	2	1,07	1,00	1,15	2	1,00	1,00	1,00
SLU2	2	1,07	1,00	1,15	2	1,00	1,00	1,00
SLU2B	2	1,07	1,00	1,15	2	1,07	1,00	1,15
SLU3	2	1,00	1,00	1,00	2	1,15	1,15	1,15
SLU4	2	1,07	1,00	1,15	2	1,15	1,15	1,15
SLU5	2	1,07	1,00	1,15	2	1,15	1,15	1,15
SLU6	2	1,15	1,15	1,15	2	1,07	1,00	1,15
SLU7	2	1,15	1,15	1,15	2	1,07	1,00	1,15
C1	2	1,07	1,00	1,15	2	1,00	1,00	1,00
C2	2	1,00	1,00	1,00	2	1,00	1,00	1,00

Tabla 11. Distribución de la categoría toxicológica en el bioensayos de *A. franciscana* en agua para cada sitio de muestreo.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

Resultados analíticos en Sedimentos

Plomo y Cromo

La concentración de metales pesados en el sedimento pueden ser varios órdenes de magnitud mayor que en la columna de agua, lo que permite su uso como indicador de la contaminación del ambiente. Presentan una elevada capacidad para adsorberse en el material particulado y, cuando disminuye la energía del curso de agua, este material se deposita como parte de los sedimentos. El proceso de adsorción está influenciado, entre otras cosas, por características de los sedimentos y del medio, por los procesos de difusión y mezcla, por la actividad de los organismos bentónicos y por la resuspensión. De hecho los sedimentos son a su vez reservorios de metales pesados que pueden actuar como una fuente no puntual, liberar metales y otros contaminantes a las aguas (Fuentes-Hernández y otros, 2019). Los metales pesados presentan gran relevancia debido a su toxicidad y permanencia en el ambiente y los organismos, pudiendo desencadenar efectos adversos en los humanos y animales (alteraciones en el desarrollo, reproducción, neurológicos etc), ocurriendo incluso bioacumulación y biomagnificación.

En particular el cromo y el plomo precipitan y se adsorben con facilidad, asociándose mayormente a las partículas de menor tamaño, como los limos y arcillas.

Todos los resultados obtenidos de Plomo y Cromo en sedimentos del año 2023 se encuentran dentro del rango de valores "concentraciones menores de ISQG, raramente asociadas a efectos biológicos adversos" según las guías canadienses utilizadas (CCME, 1999).

	Fecha	SLU1	SLU2	SLU2b	SLU3	SLU4	SLU5	SLU6	SLU7	C1	C2
Pb (mg/kg)	01/02/23	8	8	8	6	11	10	5	8	3	8
	08/08/23	-	0	-	4	3	-	-	4	8	8
Cr (mg/kg)	01/02/23	17	14	16	16	14	15	19	27	0	12
	08/08/23	-	13	-	13	15	-	-	13	19	20

Tabla 12. Resultados de Pb y Cr (mg/kg de sólido seco) de los sedimentos.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

Bioensayos

- *Vibrio fischeri*

Los bioensayos realizados en elutriado de sedimento mostraron resultados no tóxicos o levemente tóxicos sin un patrón espacial que se vincule claramente a alguna fuente de contaminación (Tabla 13).

Sitio	N	Mediana	Mínimo	Máximo
SLU1	2	1,00	1,00	1,00
SLU2	2	1,00	1,00	1,00
SLU2B	1	1,00	1,00	1,00
SLU3	2	1,07	1,00	1,15
SLU4	2	1,07	1,00	1,15
SLU5	1	1,00	1,00	1,00
SLU6	1	1,00	1,00	1,00
SLU7	2	1,07	1,00	1,15
C1	2	1,07	1,00	1,15
C2	2	1,00	1,00	1,00

Tabla 13. Distribución de la categoría toxicológica en el bioensayo de *V. fischeri* en elutriado de sedimento para cada sitio de muestreo.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

- *Hyalella curvispina*

El ensayo de *H. curvispina* mostró niveles de toxicidad moderada o severa (% de mortalidad > 30%) en todos los sitios (Tabla 14). Dicha observación no tiene antecedentes semejantes en la aplicación de éste ensayo en muestras de sedimento del Río Santa Lucía por tanto si bien se considera preocupante se espera confirmar o no la situación con futuras muestras.

Sitio	N	Mediana
SLU1	1	83,33
SLU2	1	56,67
SLU2B	1	93,33
SLU3	1	100,00
SLU4	1	70,00
SLU5	1	83,33
SLU6	1	56,67
SLU7	1	86,67
C1	1	93,33
C2	1	66,67

Tabla 14. Distribución de la categoría toxicológica en el bioensayo de *H. curvispina* en sedimento para cada sitio de muestreo.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

CONCLUSIONES

La variación de los parámetros estudiados está influenciada principalmente por el ingreso de agua oceánica que pueda ocurrir desde la desembocadura del río, en dirección sur-norte, la cual dependerá de varios factores como son: descarga del Río de la Plata, descarga de la cuenca del Santa Lucía, marea y vientos. En términos generales en la zona de estudio se observa una diferencia marcada entre los sitios que son afluentes del Río Santa Lucía (A° Colorado y pista de regatas que proviene del A° San Gregorio) y los ubicados en el mismo río. En el año 2023 en particular, vemos un cambio importante en los niveles de salinidad y turbidez a lo largo del año, que reflejan el pasaje desde un período de sequía (muestreo de febrero) hasta el restablecimiento del régimen de lluvias y el flujo del río (muestréos de agosto y noviembre).

La calidad del agua respecto a los límites normativos muestra mayor afectación en aquellos parámetros que tienen influencia en el estado trófico del río. La carga de nutrientes (nitrógeno y fósforo) regularmente supera los niveles establecidos en la normativa y los valores guía para este tipo de cuerpos de agua. En consecuencia, la clasificación según el Índice de Estado Trófico es de Eutrófico para los sitios del Río Santa Lucía, y de Supereutrófico para los sitios de los afluentes del Arroyo Colorado.

En cuanto a los bioensayos en agua, los niveles de toxicidad aguda son bajos para todos los organismos utilizados, no superando el nivel de toxicidad leve.

En sedimentos y en agua, desde el inicio del monitoreo se registran muy bajos niveles de los metales pesados plomo y cromo.

En cuanto a los bioensayos en sedimento entero, se han encontrado niveles de toxicidad moderados o severos con el ensayo de *H. curvispina*. Sin embargo, con el ensayo de *V. fischeri* en el elutriado de sedimento, el máximo nivel encontrado fue de toxicidad leve. Dado que ambos ensayos no son equivalentes y no se tiene la misma cantidad de muestras analizadas con éstos, se requieren más resultados para confirmar si se mantienen estas diferencias.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL

GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL

SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL

Unidad Calidad de Agua

Bibliografía

- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Lipps WC, Braun-Howland EB, Baxter TE, eds. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 24th ed. Washington DC: APHA Press; 2023.
- ARTOXKIT M® : 24h mortality test based on the anostracan crustacean *Artemia salina* (renamed *Artemia franciscana*). This assay adheres to ASTM Standard Guide E1440-91. (https://www.microbiotests.com/wp-content/uploads/2019/07/artemia-toxicity-test_artoxkit-m_standard-operating-procedure.pdf). Último acceso: 29 de diciembre de 2024.
- ASTM D 6919-03. Standard Test Method for Determination of Dissolved Alkali and Alkaline Earth Cations and Ammonium in Water and Wastewater by Ion Chromatography. ASTM International, 2003
- Castillo Morales, G. (2004). Ensayos Toxicológicos y Métodos de Evaluación de Calidad de Aguas: Estandarización, Intercalibración, Resultados y Aplicaciones. México: IDRC/CRDI.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment) (1999). Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, Environmental Quality Guidelines. Plomo(<https://ccme.ca/en/res/lead-canadian-sediment-quality-guidelines-for-the-protection-of-aquatic-life-en.pdf>) Último acceso: 29 de diciembre de 2024. Cromo(<https://ccme.ca/en/res/chromium-canadian-sediment-quality-guidelines-for-the-protection-of-aquatic-life-en.pdf>). Último acceso: 29 de diciembre de 2024.
- Decreto N° 253/79 del Poder Ejecutivo y sus modificativos.
- Environment Canada. (1992). Biological test method: Toxicity test using luminescent bacteria. Report EPS 1/RM/24.
- EPS (1992). Environment Canada. Biological test method. Toxicity test using luminescent bacteria. In Report EPS 1/RM/24.
- Espínola, J.C., Saona, G. & Arriola, M. (2005). Evaluación de la toxicidad de las principales cuencas hídricas del departamento de Montevideo. AMBIOS . (año 5; n° 15; 15-22) (año 5; n° 16; 19-23).
- Kalff, J., & Bentzen, E. (1984). A Method for the Analysis of Total Nitrogen in Natural Waters. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 41(5), 815–819.
- Lagomarsino, A. (2022). Ecotoxicidad del sedimento en la zona litoral del Río de la Plata en el Departamento de Montevideo y su relación con las concentraciones de plomo y cromo. Tesina de Licenciatura en Ciencias Biológicas. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Ciencias. 44p
- Lamparelli, M. C. (2004). Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. Doctoral Thesis, Instituto de Biociências, University of São Paulo, São Paulo. doi:10.11606/T.41.2004.tde-20032006-075813. Retrieved 2025-04-10, from www.teses.usp.br
- MVOTMA (2017a). Informe de asesoría a la Mesa Técnica del Agua. Documento Técnico n° 1. Establecimiento de niveles guía de indicadores de estado trófico en cuerpos de agua superficiales.



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL

GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL

SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL

Unidad Calidad de Agua

<https://www.ambiente.gub.uy/oan/documentos/DCA-MesaT%C3%A9cnicaAgua-MVOTMA-propuesta-NIVELES-GUIA-N-P-Clo-grupo-t%C3%A9cnico-FINAL-20.03.171.pdf> Último acceso: 29 de diciembre de 2024.

MVOTMA (2017b). Evaluación de la ecotoxicidad aguda de muestras ambientales líquidas mediante el test de bacterias luminiscentes (Sistema Microtox®); 6159UY. En: Manual de procedimientos analíticos para muestras ambientales. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medioambiente.

Peluso, M. L. (2011). Evaluación de efectos biológicos y biodisponibilidad de contaminantes en sedimentos del Río de la Plata y afluentes. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de la Plata.

Programa de monitoreo de agua y sedimentos de los humedales del Río Santa Lucía (2020). <https://montevideo.gub.uy/sites/default/files/biblioteca/informecaldiadaguasantalucia2020.pdf>. Último acceso: 29 de diciembre de 2024.

SDI Microtox. (2009). Tutorial SDI MicrotoxOmniR V.4.1.

Trottier, S., Blaise, C., Kusui, T., & Johnson, E.M. (1997). Acute Toxicity Assessment of Aqueous Samples using a Microplate-based *H. attenuata* Assay. *Environm. Toxicol. Water. Qual.*, 12:265-271.

U.S. EPA. (2007). "Method 3051A (SW-846): Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Oils," Revision 1. Washington, DC.

UNE-EN ISO 6341 (2013). Calidad de agua. Determinación de la inhibición de la movilidad de *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea). Ensayo de toxicidad aguda.

Valderrama, J. C. (1981). The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Marine Chemistry*, 10(2), 109-122. [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(81\)90027-X](https://doi.org/10.1016/0304-4203(81)90027-X)



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

Datos obtenidos en muestras de agua

Link de acceso al archivo CSV

<https://imnube.imm.gub.uy/share/s/39ORYOBHRA-88enrcgFk3Q>

Link de acceso a metadatos del archivo CSV

<https://imnube.imm.gub.uy/share/s/n6f7jPcBThmsYsmLYsFZpw>



DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL
Unidad Calidad de Agua

ANEXO 1

Índice de Estado Trófico (IET)

Cuando el IET se elabora con más de un factor o parámetro, el resultado final es el promedio de todos los resultados. Por lo tanto el alto nivel trófico resultante de un factor podría ser enmascarado por el bajo nivel resultante de otro. Concretamente: por la concentración de nitrógeno y fósforo podría resultar en un alto nivel trófico, pero si la concentración de clorofila es baja (ya sea por efecto de la turbidez del agua o la baja temperatura), el promedio final resulta en un nivel trófico menor o reducido. Al elaborar el IET en base a la concentración de fósforo total, que en los sistemas acuáticos del Uruguay ha mostrado ser la variable crítica de la calidad del agua, se está considerando el peor escenario o la condición más conservadora para la determinación del estado trófico.

El estado trófico de un cuerpo de agua da cuenta de su grado de eutrofización, el cual refiere a la capacidad productiva del sistema debido al contenido de nutrientes (nitrógeno y fósforo principalmente), que controla el desarrollo de las plantas, las algas y las cianobacterias en primer término y que determina la estructura y calidad de la trama trófica del cuerpo de agua. Los estados tróficos van desde la oligotrofia a la hipereutrofia en orden creciente y relacionados con el aumento de la concentración de nutrientes y de biomasa vegetal. Para el desarrollo de este índice, su autora analizó las relaciones entre el fósforo, el nitrógeno y la concentración de algas, llegando a la ecuación que mejor representa estas relaciones. Los seis estados tróficos definidos corresponden a rangos de concentración de los tres factores (o parámetros) promediados. El IET presentado en este informe está elaborado sólo en base a la concentración de fósforo total, por lo que muestra su expresión más conservadora.

Fórmula de Cálculo

$$\text{IET (PT)} = 10 * (6 - ((0,42 - 0,36 * (\ln \text{PT})) / \ln 2)) - 20$$

donde PT= Fósforo Total expresado en µg/L (microgramos por litro)

Se calcula la media geométrica por estación de monitoreo por año de muestreo.

https://www.ambiente.gub.uy/indicadores_ambientales/ficha/oan-indice-estado-trofico/