



**Intendencia
de Montevideo**



**PROGRAMA DE MONITOREO DE AGUA Y
SEDIMENTOS DE LOS HUMEDALES DEL
RÍO SANTA LUCÍA
INFORME ANUAL 2019**

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



Intendencia de Montevideo

Desarrollo Ambiental

SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL

AUTORIDADES GOBIERNO DEPARTAMENTAL

Intendente

Christian Di Candia

Secretario General

Fernando Nopitsch

Director General del Departamento de Desarrollo Ambiental

Sebastián Bajsa

Director de la División Saneamiento

Mauricio Fernández

Gerencia de Gestión Ambiental

Jorge Alsina

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 Sienra

Jimena Risso Barros

Gustavo Saona

Mary Yafalián

Cristina Cacho

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

Bruno D'Alessandro, María Mercedes De Maio, M^a Eugenia Echezarreta, Tania Hernández, Lys Viviana Perciballe, Marinela Pereira, Natasha Quiñones, Gustavo Saona, Gastón Varela, Martín Villanueva, Analía Urban, Mary Yafalián.

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

María Eugenia Bastarrica, Leandro Capurro, Romina Echagüe, Lucía Frones, Fernando Madeiro, Evangelina Passarino, Jennifer Pereira, Carolina Rodríguez, Cecilia Rodríguez.

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.

Servicio de Evaluación de la Calidad y Control Ambiental

Camino al Faro s/n, Punta Carretas

CP 11300 - Montevideo Uruguay

Telefax: 598 2 7112406 al 08

1950 9919

www.montevideo.gub.uy



ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO	4
CUENCA DEL RÍO SANTA LUCÍA 5	
Primeras medidas- 10 medidas estratégicas	7
Medidas de segunda generación	7
Humedales del Santa Lucía	9
MONITOREO REALIZADO POR EL SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL DE LA INTENDENCIA DE MONTEVIDEO.	11
Objetivos del estudio de calidad del agua	13
Parámetros microbiológicos y fisicoquímicos	14
Resultados analíticos en agua	15
Resultados analíticos en sedimentos	42
Bioensayos	43
Resultados de bioensayos en agua	44
Resultados de bioensayos en sedimentos	47
CONCLUSIONES	49
ANEXO 1 - Índice de Estado Tráfico (IET)	52
ANEXO 2 - Adaptaciones de los protocolos de bioensayos	53
DATOS DE CAMPO	56



RESUMEN EJECUTIVO

La cuenca del Santa Lucía abarca una superficie de 13.681 km² y se ubica al sur del Uruguay, en los departamentos de Lavalleja, Canelones, San José, Montevideo, Flores y Florida. Se considera como cuenca estratégica para Uruguay dado que es la principal fuente de agua potable abasteciendo al 60% de la población del país. En el año 2013 y a raíz de un importante evento de floraciones que puso en riesgo la provisión de agua potable, el Gobierno Nacional definió el “Plan de Acción para la Protección de la Calidad Ambiental y la Disponibilidad de las Fuentes de Agua Potable en la Cuenca del Río Santa Lucía”. A cuatro años de su formulación, con la información y conocimiento adquirido se realizó una actualización del Plan a efectos de fortalecer y profundizar algunas líneas estratégicas, así como consolidar otras que ya se encontraban en ejecución.

El estudio de la calidad del agua y sedimentos de los Humedales del Santa Lucía (Cuenca Baja del Río Santa Lucía) se viene realizando desde el año 2009, integrando en años anteriores el Informe Anual de Cuerpos de Agua. A partir de este año, y debido a su importancia, se elabora en forma independiente. El monitoreo de la calidad del agua se realiza con una frecuencia de 4 veces por año (estacional) y de los sedimentos superficiales dos veces por año (invierno y verano). Se estudian diferentes parámetros: microbiológicos, fisicoquímicos y bioensayos de forma de realizar la evaluación tanto del agua como de los sedimentos. En este informe se presentan e interpretan los datos resultantes del monitoreo que realiza la Unidad Calidad de Agua de este Servicio.



CUENCA DEL RÍO SANTA LUCÍA

La cuenca del Santa Lucía abarca una superficie de 13.681 km² y se ubica al sur del Uruguay, en los departamentos de Lavalleja, Canelones, San José, Montevideo, Flores y Florida. Se considera como cuenca estratégica para Uruguay dado que es la principal fuente de agua potable abasteciendo al 60% de la población del país.

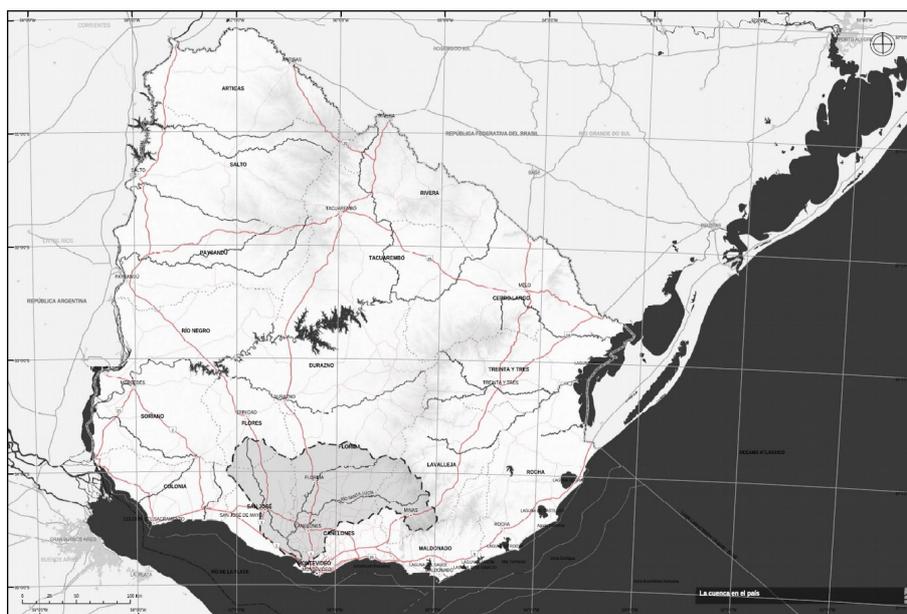


Figura 1, Ubicación de la cuenca del río Santa Lucía en el país. Fuente: MVOTMA 2016

Sus principales afluentes son el río Santa Lucía Chico y el San José, así como otros tributarios importantes como el Canelón Grande, Las Brujas, Durán, Colorado, Tropa Vieja, Las Piedras y Sarandí. Los ecosistemas predominantes en esta cuenca son la pradera, montes de parque, monte serrano, monte de galería en la zona cercana a los cursos de agua y, en la desembocadura del río, los humedales del Santa Lucía con el crecimiento de vegetación hidrófita, ecosistemas de transición entre ambiente terrestre y acuático.

Las principales fuentes de contaminación están asociadas a poblaciones que no cuentan con red de saneamiento, a la existencia de pozos negros mal contruidos que puedan filtrar, a aguas pluviales que pueden provocar el arrastre de material a los cuerpos de agua, y a la generación de residuos y la disposición de algunos vertederos cercanos al río. A su vez se registra contaminación proveniente de feed lots e industrias que se encuentran en la zona.

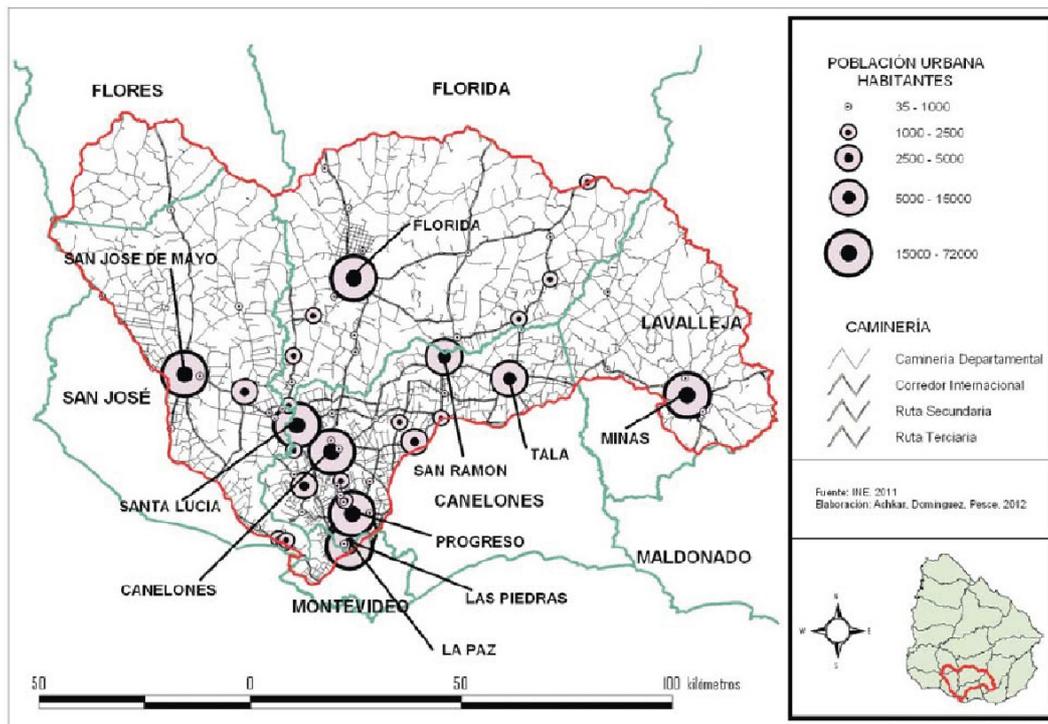


Figura 2, Ubicación de los centros poblados. Fuente: Achkar *et al.* (2012).

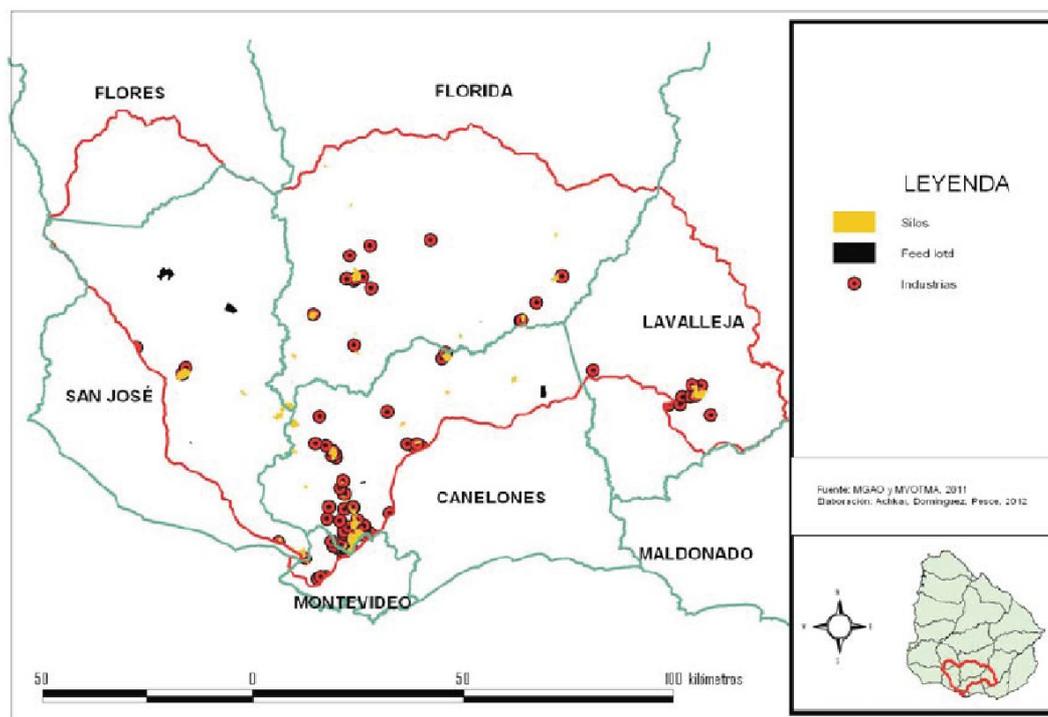


Figura 3, Ubicación de los establecimientos de engorde. Fuente: Achkar *et al.* (2012).



Primeras medidas- 10 medidas estratégicas

En el año 2013 y a raíz de un importante evento de floraciones que puso en riesgo la provisión de agua potable, el Gobierno Nacional definió el “Plan de Acción para la Protección de la Calidad Ambiental y la Disponibilidad de las Fuentes de Agua Potable en la Cuenca del Río Santa Lucía”. El mismo se desarrolló con el objetivo de formular y ejecutar las acciones que permitieran controlar, detener y revertir el proceso de deterioro de la calidad del agua en la cuenca hidrográfica del Río Santa Lucía y asegurar su calidad y cantidad para el uso sustentable como abastecimiento de agua potable.

Medidas de segunda generación¹

A cuatro años de su formulación, con la información y conocimiento adquirido se realizó una actualización del Plan a efectos de fortalecer y profundizar algunas líneas estratégicas, así como consolidar otras que ya se encontraban en ejecución. Esta actualización fue encomendada por el Gabinete Nacional Ambiental al Sistema Nacional Ambiental, en agosto de 2016 y se desarrolló en un grupo de trabajo generado en el marco del Sistema Nacional Ambiental concentrando los procesos de participación en el marco de la Comisión de Cuenca del Río Santa Lucía (CCSL). En ese contexto se integró al ámbito de trabajo la Secretaría Nacional de Ambiente, Agua y Cambio Climático (SNAACC), iniciándose el proceso de actualización del Plan de Acción que se denominó *de segunda generación*, en el entendido que el mismo involucra la actualización y refuerza el primero teniendo en cuenta la experiencia adquirida en sus primeros años de ejecución.

Durante el año 2017 para el análisis y desarrollo de nuevas medidas se contó con la participación del experto internacional Fernando Miralles, quién desarrolló distintas instancias de consultoría y asesoramiento en el marco del Proyecto “Crecimiento Verde,” dentro de una Asistencia Técnica no reembolsable del Banco Mundial, en la que participaron el MEF, MGAP, MVOTMA, OPP y SNAACC. Asimismo en 2018 se contó con la participación del experto internacional José Luis López Sancho quien desarrolló instancias de consultoría y organizó un ciclo de talleres sobre escenarios territoriales de la cuenca del río Santa Lucía dentro de una Asistencia Técnica del BID, en las que participaron el MGAP, MIEM, MVOTMA, OPP, SNAAC, las intendencias departamentales de la Cuenca y la CCSL.

El Plan de Acción de segunda generación para la protección de la calidad ambiental de la cuenca del río Santa Lucía mantiene el objetivo del Plan original, centrado en mejorar la calidad de agua de dicha cuenca, con prioridad en los niveles de nutrientes.

Dado los avances realizados desde el 2013 y teniendo en cuenta la evaluación de mismos y el cúmulo de información recabada, el Plan de segunda generación integra ajustes a las medidas anteriores así como medidas y proyectos adicionales dirigidos a profundizar los siguientes aspectos:

a) Fortalecer las acciones dirigidas a disminuir el aporte de carga de nutrientes a la Cuenca del Santa Lucía, en particular la de tambos y los aportes de fuentes difusas. Dados los avances realizados a la fecha y el aporte relativo de cargas por sector de actividad, es prioritario abordar con más profundidad la disminución de los aportes de fuentes difusas.

b) Mejorar el grado de involucramiento y apropiación del sector productivo con las medidas. En particular se requerirá un mayor grado de involucramiento y apropiación de actores

1 https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/PLAN_DE_ACCION_RIO_SANTA_LUCIA_-MEDIDAS_DE_2da_GENERACION.pdf



productivos que integran los eslabones de cada cadena asociada a los sistemas de producción asentados en la Cuenca para que efectivamente en los próximos años se pueda lograr un avance significativo en las medidas de reducción de fuentes difusas.

c) Contar con metas cuantitativas que permitan evaluar objetivamente los avances, las que deberán tener como eje metas asociadas a objetivos de calidad de agua intermedios para la cuenca, pero que a su vez están directamente relacionadas con metas asociadas a la reducción de aportes.

d) Mejorar el abordaje de estrategia de biodiversidad a efectos de considerar la integralidad del ecosistema hídrico y priorizar acciones tendientes a la conservación de la biodiversidad con foco a proteger la calidad de agua.

e) Mejorar el conocimiento y las capacidades predictivas para abordar la planificación de la Cuenca y hacer más efectivas las medidas.

f) Fortalecer los procesos de contralor y seguimiento para asegurar la efectividad de las acciones y facilitar los procesos de actualización del Plan.

El Plan de segunda generación se estructura en cuatro ejes estratégicos y cuatro programas que se detallan a continuación:

Eje 1: Asegurar la calidad del agua

Eje 2: Disminución de aportes

Eje 3: Protección y restauración ecosistémica

Eje 4: Mejora del conocimiento de la dinámica del sistema

Por cada eje estratégico, el Plan tiene un conjunto de medidas y proyectos, que serán acompañados de una serie de programas de carácter transversal. Para cada eje estratégico se definieron como medidas las que se derivaban del Plan de Acción original, con los ajustes correspondientes y las nuevas que implican una acción administrativa concreta predefinida tendiente a la protección del recurso o la ejecución de obras para mejorar la disponibilidad y calidad de agua potable.

P1: Programa de comunicación y gestión de la información

P2: Programa de seguimiento y control de las medidas del Plan

P3: Programa de evaluación de la calidad del agua

P4: Programa de educación y participación en la gestión sustentable del agua



Humedales del Santa Lucía

Los humedales del Santa Lucía acompañan el corredor natural que genera el Río Santa Lucía entre la ciudad de Santa Lucía, aguas arriba, y el Río de la Plata en donde desemboca. Son 86.517 hectáreas de los departamentos de Canelones, San José y Montevideo que se desarrollan entre las latitudes 34° 33' 28.18" y 34° 52' 10.43" S, y entre las longitudes 56° 15' 46.83" y 56° 35' 40.03" W. Dentro de ese total 2.500 hectáreas están en el departamento de Montevideo y de éstas 800 son administradas por la Intendencia de Montevideo. (<http://www.montevideo.gub.uy>). A partir de febrero 2015 con el Decreto 55/015, los Humedales del Santa Lucía pasan a formar parte del SNAP como Área Protegida con Recursos Manejados Humedales de Santa Lucía (Canelones, Montevideo, San José).

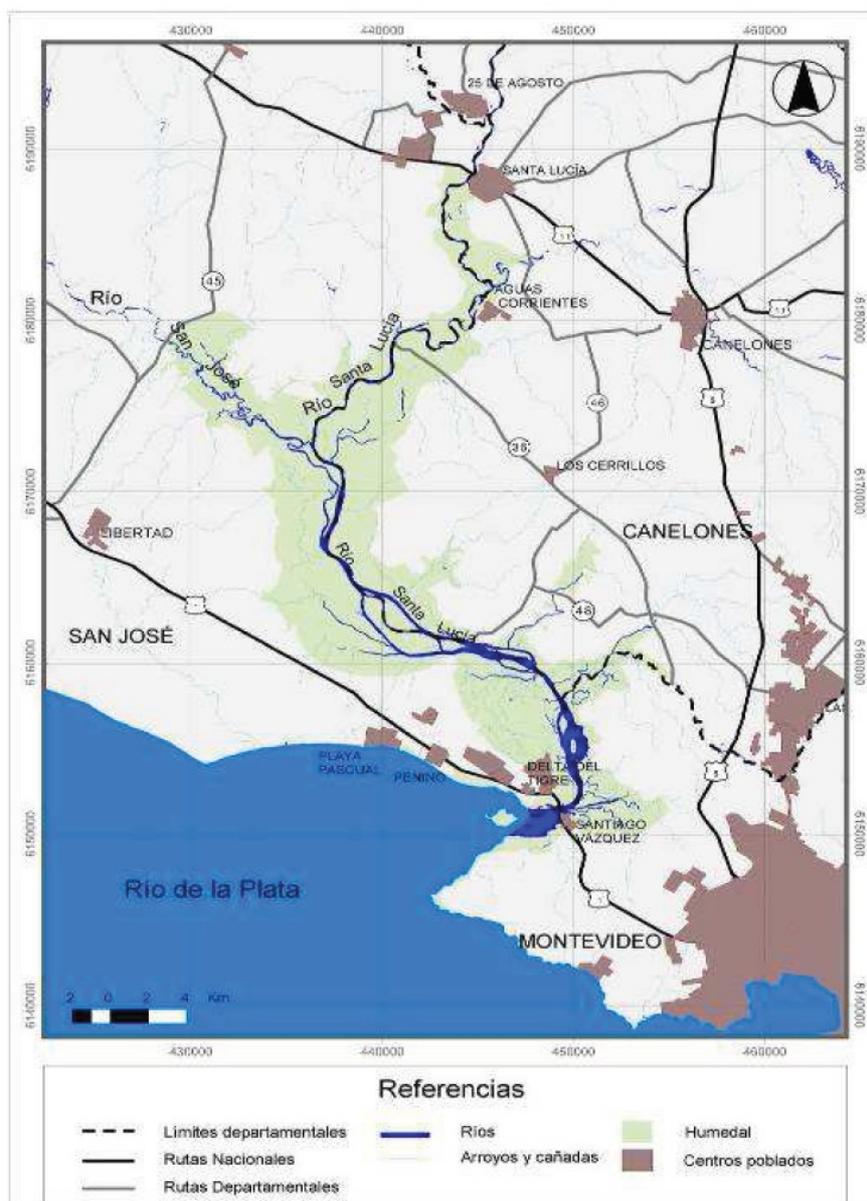


Figura 4 . Desarrollo de los Humedales del Santa Lucia. Fuente: DINAMA – PNUD – GEF (2008)



El humedal juega un papel relevante como filtro biológico, reteniendo un porcentaje importante de la carga contaminante que el río Santa Lucía aporta al Río de la Plata. Asimismo esta zona constituye un ambiente único en el país para el cumplimiento del ciclo reproductivo de especies marítimas de valor para el sector pesquero. Su relevancia no se limita a sus destacados valores ecológicos y económicos, constituye también un área ideal para realizar actividades recreativas y deportivas ya que cuenta con servicios y equipamiento que facilitan su desarrollo.

Además de los humedales el área presenta formaciones vegetales nativas, monte ribereño y monte parque, así como playas arenosas, puntas rocosas e islas fluviales. Esta diversidad de ambientes provee el hábitat para numerosas especies animales, incluyendo una gran variedad de aves migratorias.

La zona recibe el impacto del área metropolitana, donde habita casi el 60% (1.947.595 hab.) de la población total del país. Los centros poblados de influencia para el área son: en Montevideo, Santiago Vázquez y el área rural conocida como Melilla; en Canelones, Aguas Corrientes, Cerrillos, Campo Militar y Santa Lucía; y en San José, Ciudad del Plata –que incluye a las localidades de Delta El Tigre, Playa Penino, Playa Pascual– y villas como Rodríguez, Itzaingó y Libertad .

Las principales actividades realizadas en la zona del humedal son la producción agropecuaria e industrial (fábricas de fertilizantes, curtiembres, empresas lácteas, frigoríficos, etc.) y la extracción de áridos, juncos y madera.



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). En el mismo se plantea el monitoreo de la calidad del agua con una frecuencia de 4 veces por año (estacional) y de los sedimentos superficiales dos veces por año (invierno y verano).



Figura 5. Humedales del Santa Lucía

En este informe se presentan los resultados correspondientes a las 4 campañas de muestreo realizadas en el año 2019. Las fechas se presentan en la Tabla 1.

Año	Fechas de muestreos
2019	12/2/19, 9/5/19, 21/8/19, 31/10/19

Tabla 1. Fechas de los muestreos en año 2019. Agua (4 veces por año) Sedimentos (invierno/verano).

Para el diseño de muestreo se tomó como base el curso principal del Río Santa Lucía en su tramo inferior y desembocadura, así como también dos sitios (C1 y C2) sobre uno de sus tributarios, el arroyo Colorado que atraviesa las ciudades de Las Piedras y La Paz y también un sitio en la pista de regatas (SLU4), que recibe las aguas del A° San Gregorio que atraviesa varios barrios de Montevideo. En total se monitorean 10 estaciones de muestreo (Figura 2) cuyas coordenadas se presentan en la Tabla 2. Los muestreos se realizan con la colaboración de la Prefectura de Santiago Vazquez. La caracterización de los arroyos Las Piedras y San Gregorio son realizadas 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 6. Estaciones de monitoreo de la cuenca del Río Santa Lucía (SLU: Santa Lucía, C: A°



Colorado). Fuente: 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 2 Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.



Figura 7. Toma de muestras en el Río Santa Lucía.

Objetivos del estudio de calidad del agua

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 espacial y temporalmente 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.

Para realizar la evaluación se utilizan una serie de parámetros que sirven como indicadores ambientales, herramientas utilizadas para realizar el seguimiento de la calidad del agua, la salud de los ecosistemas y su evolución en el tiempo.

Los parámetros analizados son: Nitrógeno Total, Fósforo Total, Clorofila *a*, Coliformes fecales, Oxígeno Disuelto, pH, Conductividad, Turbiedad, Salinidad y bioensayos sobre *Vibrio fischeri* (bacteria), *Hydra attenuata* (cnidario) y *Daphnia magna* (crustáceo).



Parámetros microbiológicos y fisicoquímicos

Agua

Para cada variable se presentan dos tipos de gráficos. Uno con los resultados de cada muestreo, presentados espacialmente para cada sitio y otro con gráficos de cajas y líneas en donde se representan para cada sitio el promedio de todos los datos del año. En los gráficos de cajas se presentan los siguientes elementos: la mediana (línea central engrosada), los percentiles 25 y 75 (corresponde a los límites de la caja) y los valores mínimos y máximos (indicados por las líneas exteriores a los límites de las cajas). También se aprecian puntos aislados que indican los valores extremos (outliers).

En todos los casos se promedian los resultados de las muestras extraídas en superficie y en profundidad.

Los parámetros Amoníaco Libre (NH_3), Fósforo Total (PT), Coliformes Fecales (CF), Oxígeno Disuelto (OD), pH y Turbiedad (Turb), se evalúan de acuerdo a la Clase 3 (Aguas destinadas a la preservación de los peces en general y de otros integrantes de la flora y fauna hídrica) del Decreto 253/79.

Las variables Nitrógeno Total (NT) y Clorofila *a* (*Clo a*), que no están contempladas en el anterior Decreto, se los evalúa con los límites propuestos en la Mesa Técnica del Agua (Informe Técnico MVOTMA 2017) para cursos de agua mayores a orden 3 en el Plan de Acción para la Protección de la Calidad Ambiental de la Cuenca del Río Santa Lucía (Medidas de Segunda Generación 2018). El Fósforo Total también se evalúa con respecto a la esta última propuesta ya que será en un futuro los límites a alcanzar.

Sedimentos

Una de las principales causas del impacto antrópico es el vertido de compuestos contaminantes que pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos. Dentro de estos últimos se encuentran los metales pesados que pueden ingresar al sistema mediante vertido industrial, agrícola y doméstico, deposición atmosférica o por escorrentía desde la cuenca. El material particulado en suspensión transporta estos compuestos desde la columna de agua hacia los sedimentos de fondo.

El sedimento se caracteriza por tener la capacidad de acumular (dependiendo de la zona) actuando como depósito final del sistema, por ello son muy utilizados para poder determinar la condición ambiental y los procesos que allí ocurren.

A su vez, los sedimentos pueden ser considerados fuente de contaminación debido a que pueden liberar contaminantes, según las condiciones hidrodinámicas y potencial redox del ambiente.

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.

El cromo y plomo precipitan y se adsorben con facilidad (debido a sus cargas), asociándose mayormente a las partículas de menor tamaño, como los limos y arcillas.

La concentración de metales pesados en el sedimento puede ser varios órdenes de magnitud mayor que en la columna de agua, lo que permite su uso como indicador de la contaminación del ambiente.



A efectos de realizar la evaluación de Pb y Cr (debido a que no existe hasta el momento reglamentación nacional) se han tomado como referencia los niveles guía establecidos por Canadá, para la protección de la vida acuática: "Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life", en donde se establecen dos niveles de concentración, ISQG (Intern Sediment Quality Guidelines) y PEL (Probable Effect Levels), quedando definidos los siguientes tres 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

Resultados analíticos en agua

Nitrógeno Total (NT)

El nitrógeno es uno de los principales componentes de la vida acuática (principalmente para las algas y plantas) y se encuentra presente de forma natural bajo diferentes formas (NH_4 , NH_3 , NO_2 , NO_3).

En bajas concentraciones puede actuar como limitante para la vida pero en exceso puede ser perjudicial para el equilibrio del ambiente.

Ingresa al medio acuático de forma natural (lluvias, aire) o de forma antropogénica con aportes puntuales (caños, vertederos, etc) o aportes difusos (escorrentía).

El Nitrógeno Total es un indicador ampliamente utilizado en muestras de agua ya que refleja la suma del nitrógeno en todas sus formas.

El ión amonio (NH_4) es muy importante para los organismos ya que es la forma energéticamente más viable para absorber y también porque consume grandes cantidades de oxígeno para su reducción. Dependiendo del pH, el amonio se transforma en amoníaco (NH_3) el cual, en alta concentración, es una forma tóxica para la vida (especialmente los peces). Debido a ello es que este indicador se analiza en el informe.

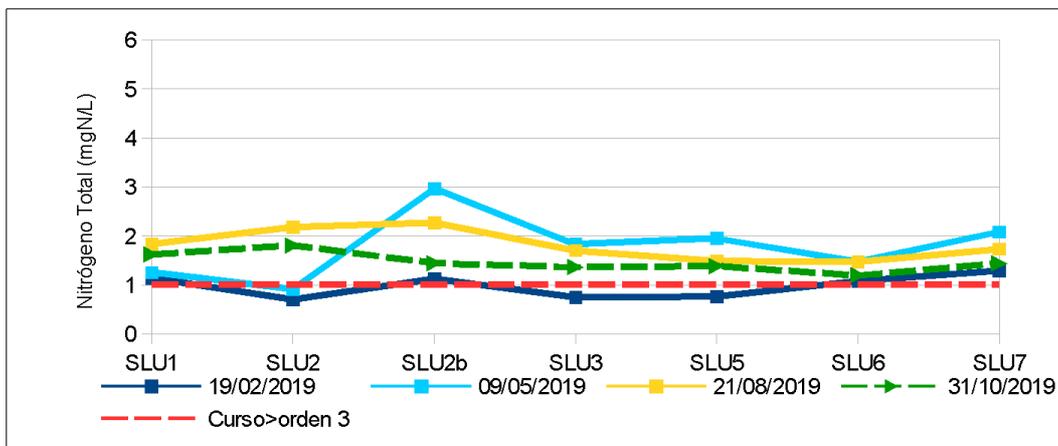


Figura 8. Nitrógeno Total Río Santa Lucía en los muestreos del año 2019. La línea roja punteada representa el valor de 1,0 mg N/L, límite propuesto en la Mesa Técnica del Agua para cursos mayores a orden 3.

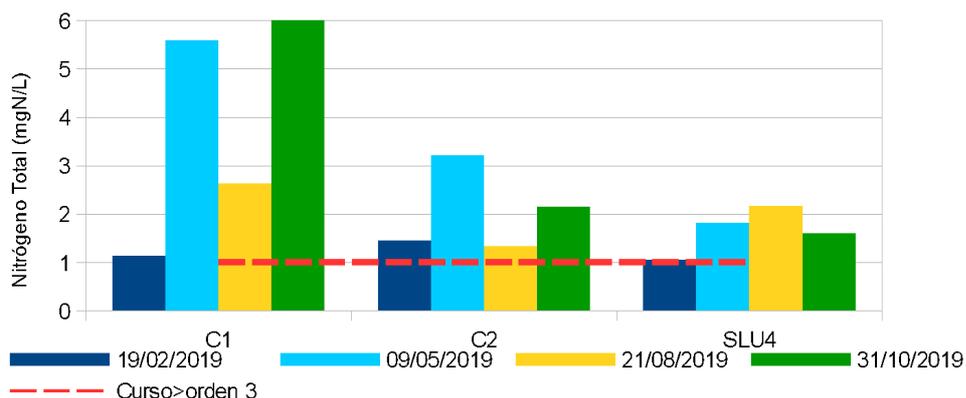


Figura 9. Nitrógeno Total Afluentes del Río Santa Lucía en los muestreos del año 2019. La línea roja punteada representa el valor de 1,0 mg N/L, límite propuesto en la Mesa Técnica del Agua para cursos mayores a orden 3.

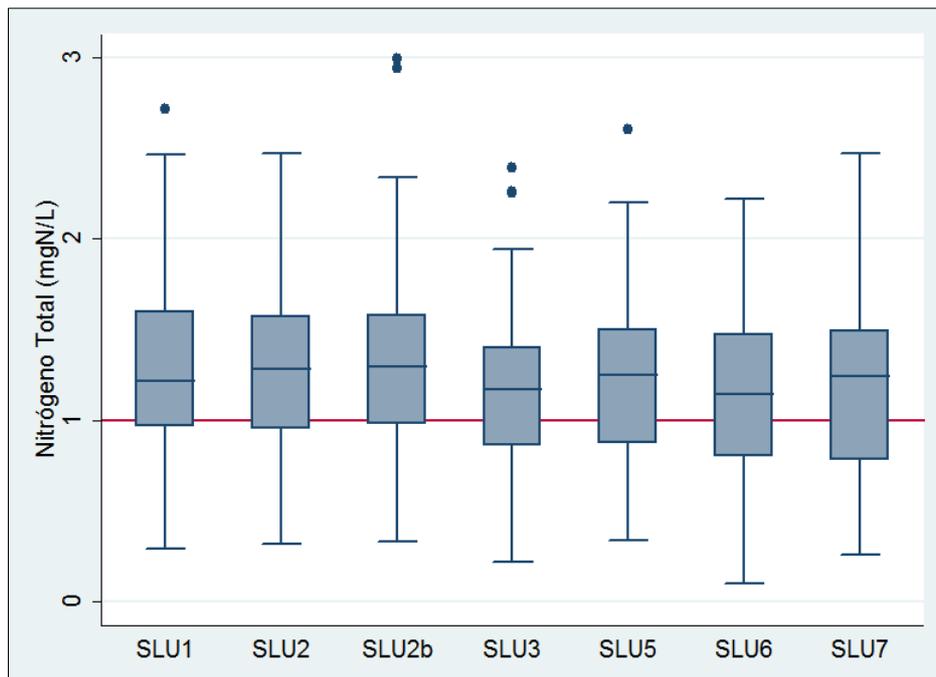


Figura 10. Nitrógeno Total Río Santa Lucía en todos los muestreos 2009 - 2019. La línea roja representa el valor de 1,0 mg N/L, límite propuesto en la Mesa Técnica del Agua para cursos mayores a orden 3.

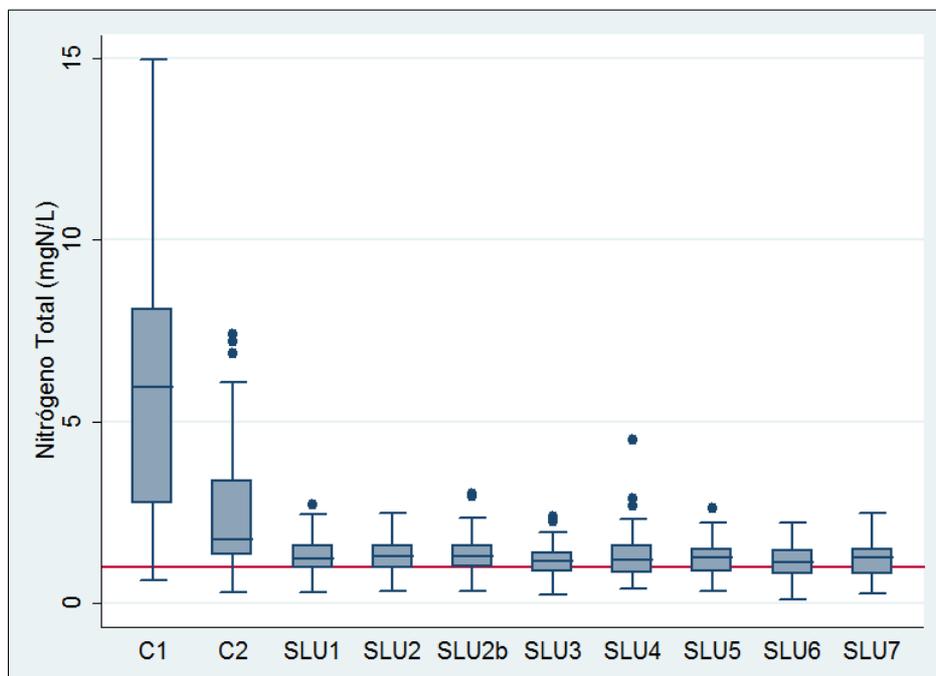


Figura 11. Nitrógeno Total Río Santa Lucía y afluentes en todos los muestreos 2009 - 2019. La línea roja representa el valor de 1,0 mg N/L, límite propuesto en la Mesa Técnica del Agua para cursos mayores a orden 3.

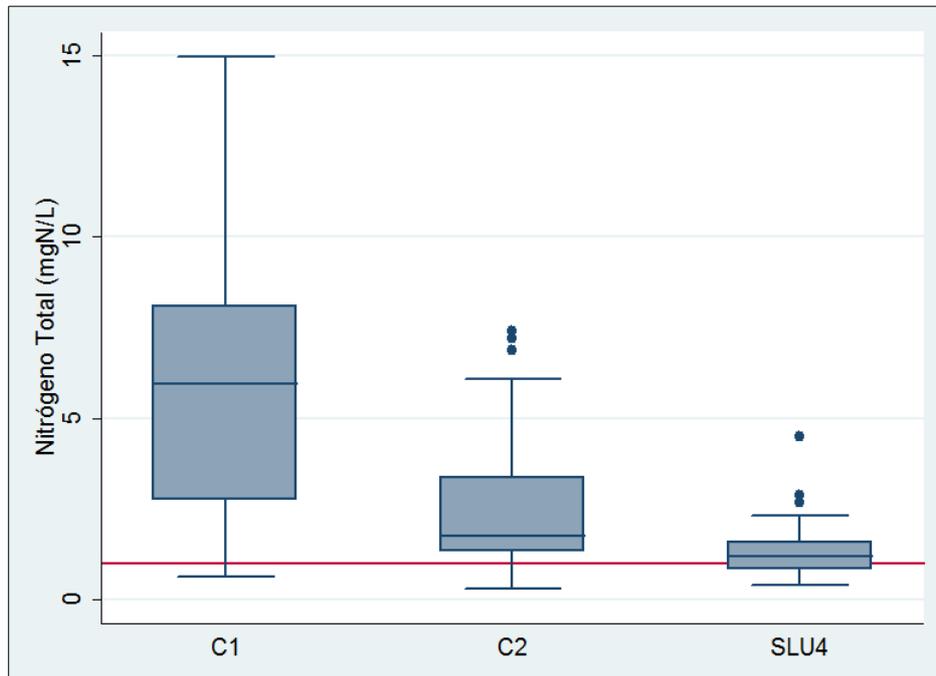


Figura 12. Nitrógeno Total afluentes en todos los muestreos 2009 - 2019. La línea roja representa el valor de 1,0 mg N/L, límite propuesto en la Mesa Técnica del Agua para cursos mayores a orden 3.

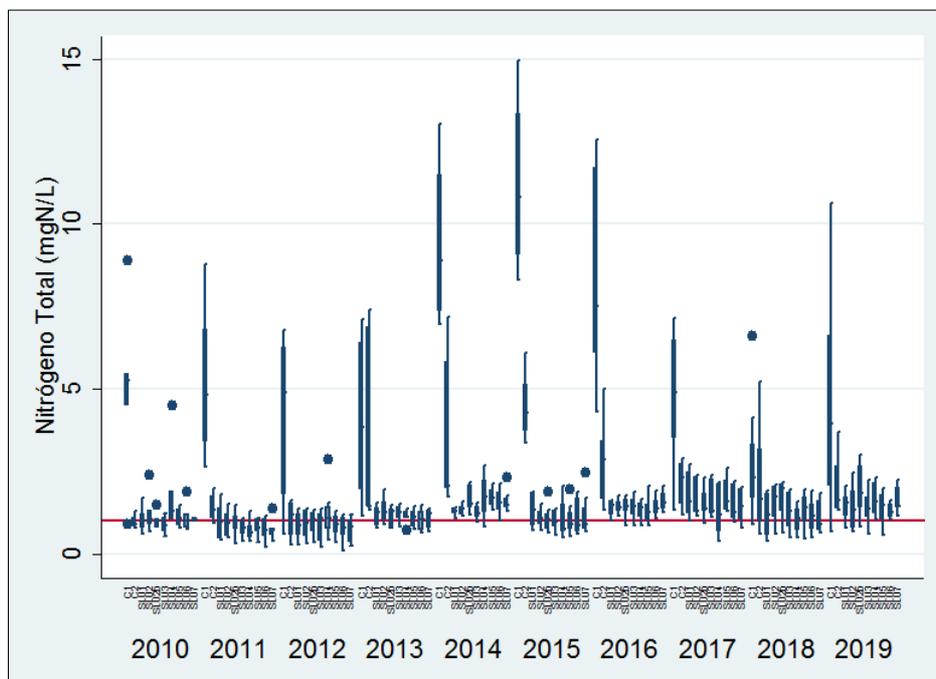


Figura 13. Nitrógeno Total en todos los sitios y en todos los muestreos 2009 - 2019. La línea roja representa el valor de 1,0 mg N/L, límite propuesto en la Mesa Técnica del Agua para cursos mayores a orden 3.

En el 2019, los valores de NT en todos los sitios del SL (excepto SLU2, SLU3 y SLU5 del 19/2 y SLU2 del 9/5) así como en los afluentes, superan el límite de referencia, siendo C1 en donde se



alcanzaron las mayores concentraciones.

Los valores promedio históricos revelan que los sitios C1 y C2 son los más impactados de todos y los años 2017 al 2019 son los que presentan mayores concentraciones.

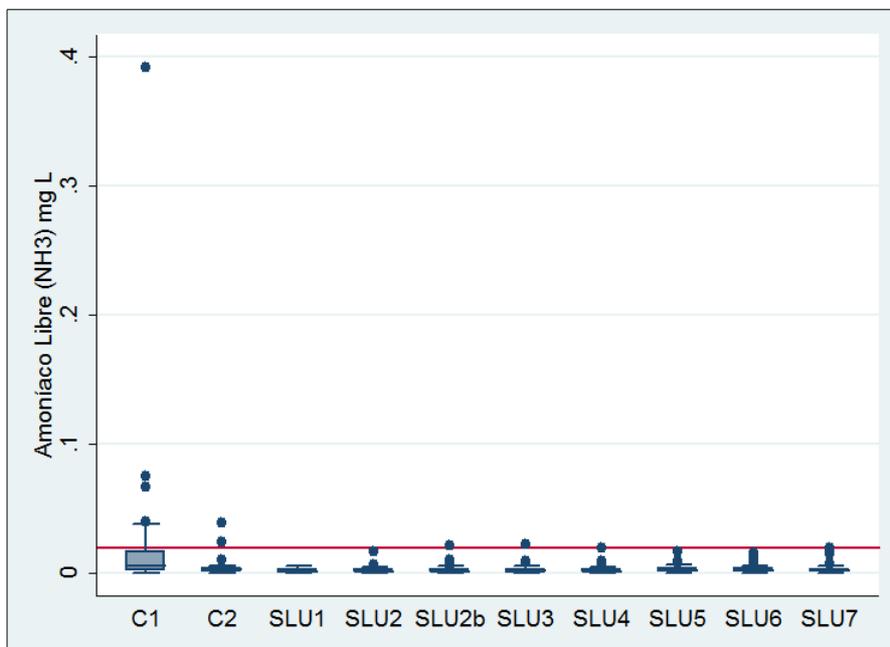


Figura 14. Amoníaco Libre en el Río Santa Lucía y afluentes en todos los muestreos 2009 - 2019. La línea roja representa el valor de 0,02 mg L, límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3.

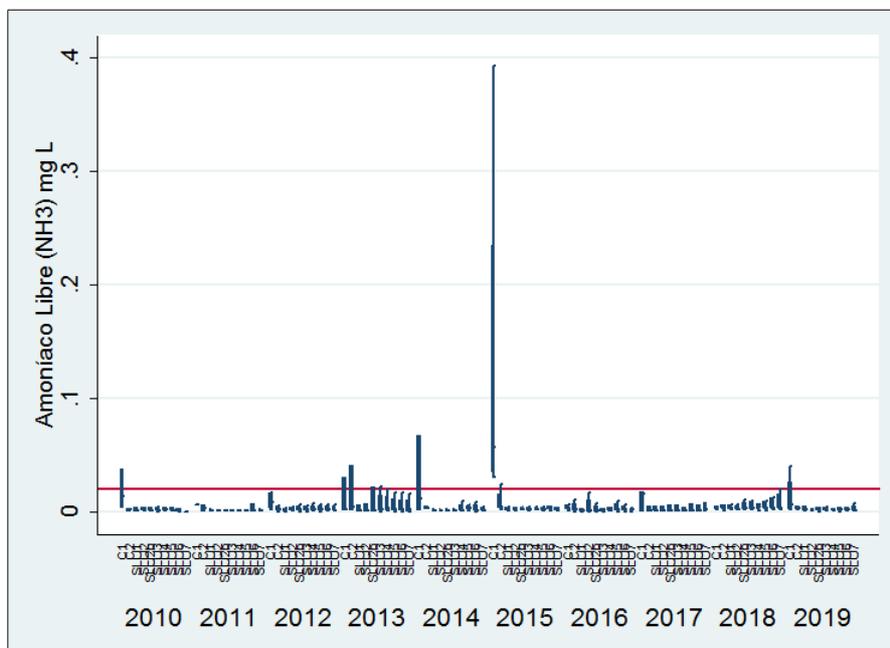


Figura 15. Amoníaco Libre en todos los sitios y todos los muestreos 2009 - 2019. La línea roja continua representa el valor de 0,02mg L, límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3



En el 2019, el sitio C1 es el único en donde se supera el límite establecido. En todos los años evaluados se puede observar que en el 2013 se alcanzaron altas concentraciones en todos los sitios y en el 2015 se observó un pico sumamente elevado en C1.

Fósforo Total (PT)

El aumento de la carga de nutrientes en los sistemas acuáticos genera un marcado incremento de la abundancia de productores primarios, o sea plantas acuáticas, algas y/o cianobacterias. Estas cargas son evaluadas a partir del principal indicador utilizado hoy en día, el Fósforo Total.

El fósforo, al igual que el nitrógeno, es el principal factor limitante de la productividad de los seres vivos que habitan en el medio acuático y es el principal responsable de la eutrofización de los ecosistemas.

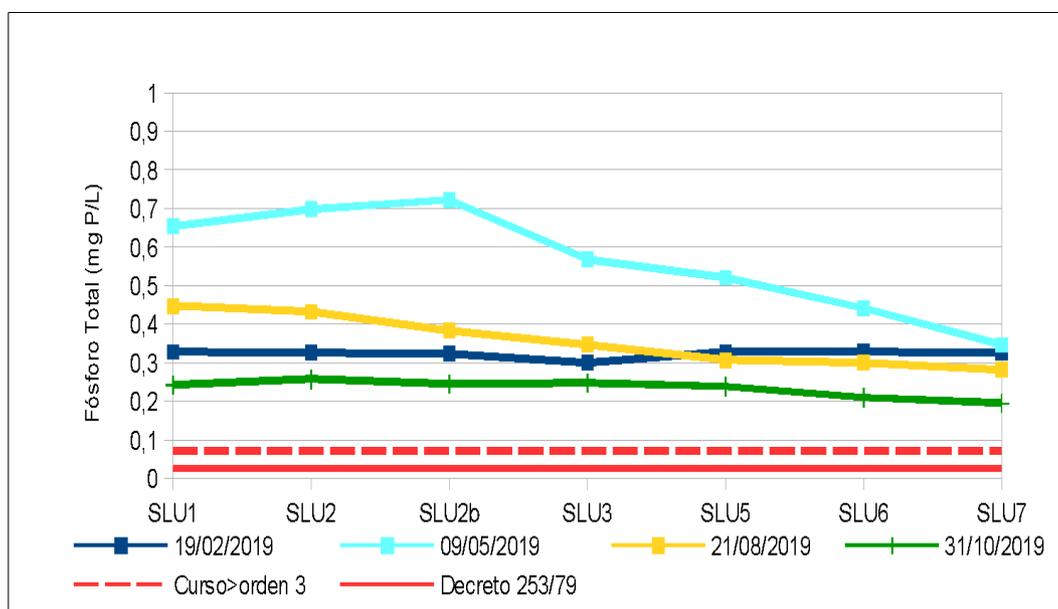


Figura 16. Fósforo Total Río Santa Lucía en los muestreos del año 2019. La línea roja continua representa el valor de 0,025mg/L, límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3 y la línea roja punteada representa el valor de 0,07mg/L, límite propuesto en la Mesa Técnica del Agua para cursos mayores a orden 3.

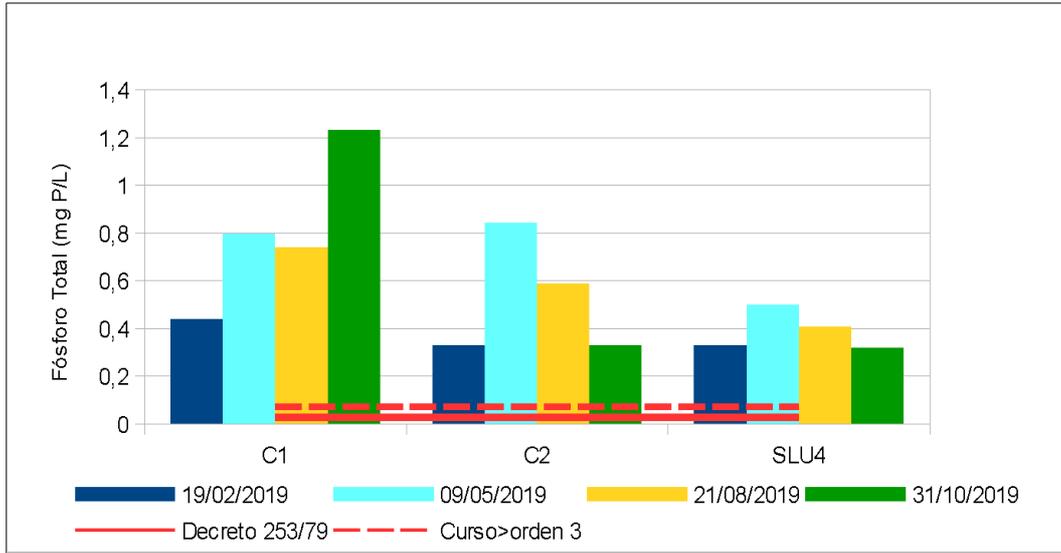


Figura 17. Fósforo Total Afluentes del Río Santa Lucía en los muestreos del año 2019. La línea roja continua representa el valor de 0,025 mg P/L, límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3 y la línea roja punteada representa el valor de 0,07 mg P/L, límite propuesto en la Mesa Técnica del Agua para cursos mayores a orden 3.

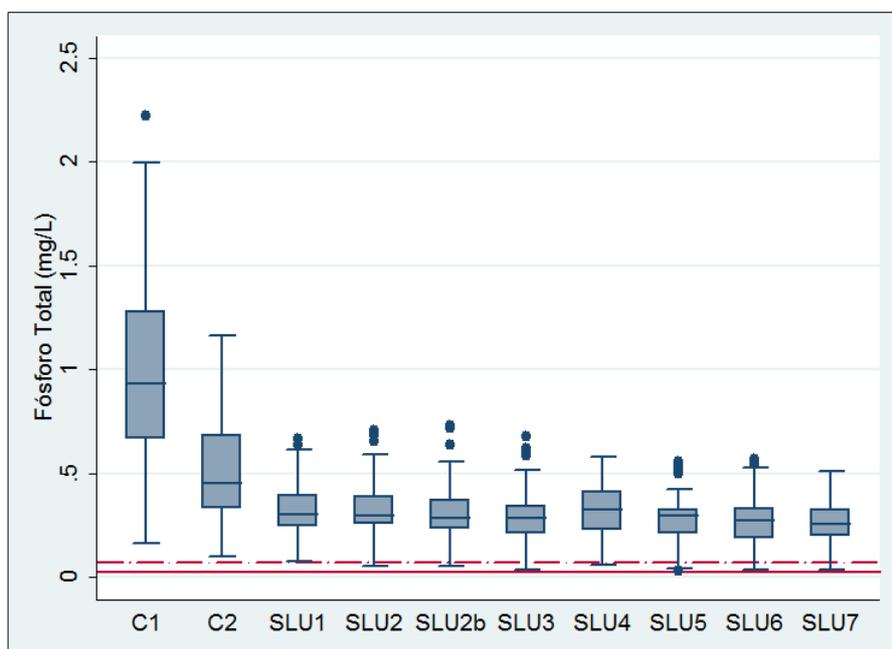


Figura 18. Fósforo Total Río Santa Lucía en todos los muestreos 2009 - 2019. La línea roja continua representa el valor de 0,025mg/L, límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3 y la línea roja punteada representa el valor de 0,07 mg/L, límite propuesto en la Mesa Técnica del Agua para cursos mayores a orden 3. Figura 19. Fósforo Total Río Santa Lucía y Afluentes en todos los muestreos 2009 - 2019. La línea roja continua representa el valor de 0,025mg/L, límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3 y la línea roja punteada representa el valor de 0,07 mg/L, límite propuesto en la Mesa Técnica del Agua para cursos mayores a orden 3.

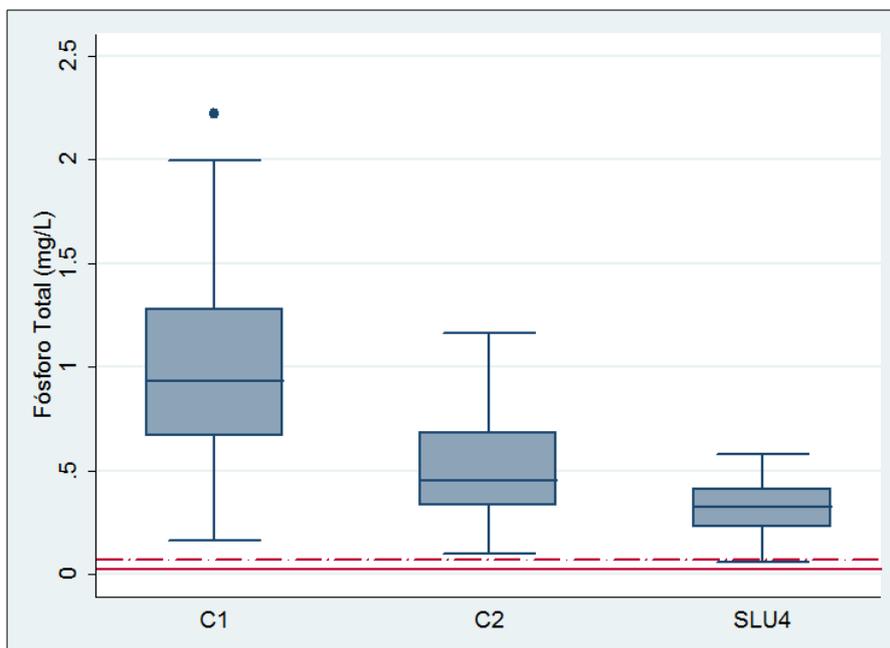


Figura 20. Fósforo Total Afluentes en todos los muestreos 2009 - 2019. La línea roja continua representa el valor de 0,025mg/L, límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3 y la línea roja punteada representa el valor de 0,07 mg/L, límite propuesto en la Mesa Técnica del Agua para cursos mayores a orden 3.

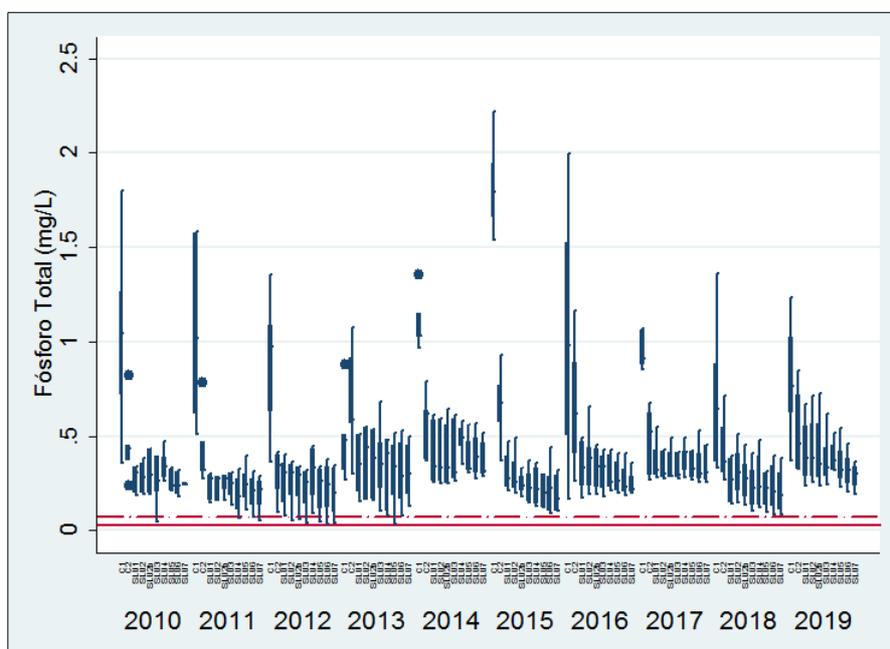


Figura 21. Fósforo Total en todos los sitios y todos los muestreos 2009 - 2019. La línea roja continua representa el valor de 0,025mg/L, límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3 y la línea roja punteada representa el valor de 0,07 mg/L, límite propuesto en la Mesa Técnica del Agua para cursos mayores a orden 3.



En el 2019, la concentración de PT, tanto en el SL como en los afluentes, superan ampliamente el límite establecido en el Decreto 253/79 para la clase 3 (0,025 mg P/L) al igual que el límite propuesto en la Mesa Técnica del Agua.

De igual forma que el NT, esta variable se mantiene estable a lo largo de todo el curso del río. El origen de este aporte es diverso como ser desechos orgánicos urbanos, domésticos e industriales y la actividad agrícola ganadera, siendo detectado en mayor concentración aguas arriba principalmente en el sitio LP4.

Del gráfico que promedia todos los años se concluye que (al igual que el NT), esta variable presenta sus mayores concentraciones en los sitios C1 y C2 y que en el año 2019 se alcanzaron valores sensiblemente mas elevados.

Índice del Estado Trófico

Este índice (Lamparelli, Marta. 2004) 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 y por ende 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.

Nivel trófico	IET	Color Indicador
Ultraoligotrófico	= 47	Cyan
Oligotrófico	47 < IET = 52	Azul
Mesotrófico	52 < IET = 59	Verde
Eutrófico	59 < IET = 63	Amarillo
Supereutrófico	63 < IET = 67	Naranja
Hipereutrófico	> 67	Rojo

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

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
SLU1	SUPER	EUTRO	EUTRO	SUPER	SUPER	SUPER	SUPER	SUPER	EUTRO	SUPER
SLU2	SUPER	EUTRO	EUTRO	SUPER						
SLU2b	SUPER	EUTRO	EUTRO	SUPER	SUPER	EUTRO	SUPER	SUPER	EUTRO	SUPER
SLU3	EUTRO	EUTRO	EUTRO	SUPER	SUPER	EUTRO	SUPER	SUPER	EUTRO	SUPER
SLU4	SUPER	EUTRO	EUTRO	SUPER	SUPER	EUTRO	SUPER	SUPER	EUTRO	SUPER
SLU5	EUTRO	EUTRO	EUTRO	EUTRO	SUPER	EUTRO	SUPER	SUPER	EUTRO	SUPER
SLU6	EUTRO	EUTRO	EUTRO	EUTRO	SUPER	EUTRO	EUTRO	SUPER	EUTRO	SUPER
SLU7	EUTRO	EUTRO	EUTRO	SUPER	SUPER	EUTRO	EUTRO	SUPER	EUTRO	SUPER
C1	HIPER	HIPER	HIPER	SUPER	HIPER	HIPER	HIPER	HIPER	HIPER	HIPER
C2	SUPER	SUPER	SUPER	SUPER	SUPER	HIPER	HIPER	SUPER	SUPER	SUPER

Tabla 6. Evaluación del Índice de Estado Trófico de todos los sitios de muestreo en el período 2010 - 2019



En el año 2019, todos los sitios monitoreados presentaron un nivel trófico de Supereutrífico menos el C1 que alcanzó el Hipereutrífico.

Se observa que en todos los años de monitoreo, el sitio con peores condiciones de IET es el C1 (Hipereutrífico).

Clorofila a (Clo a)

La clorofila a es el principal pigmento presente en las algas y cianobacterias que realizan fotosíntesis para su crecimiento y es por ello que su medición se utiliza como indicador indirecto de la concentración de estos organismos en el medio acuático. Puede utilizarse como indicador del estado trófico, considerando otros parámetros asociados.

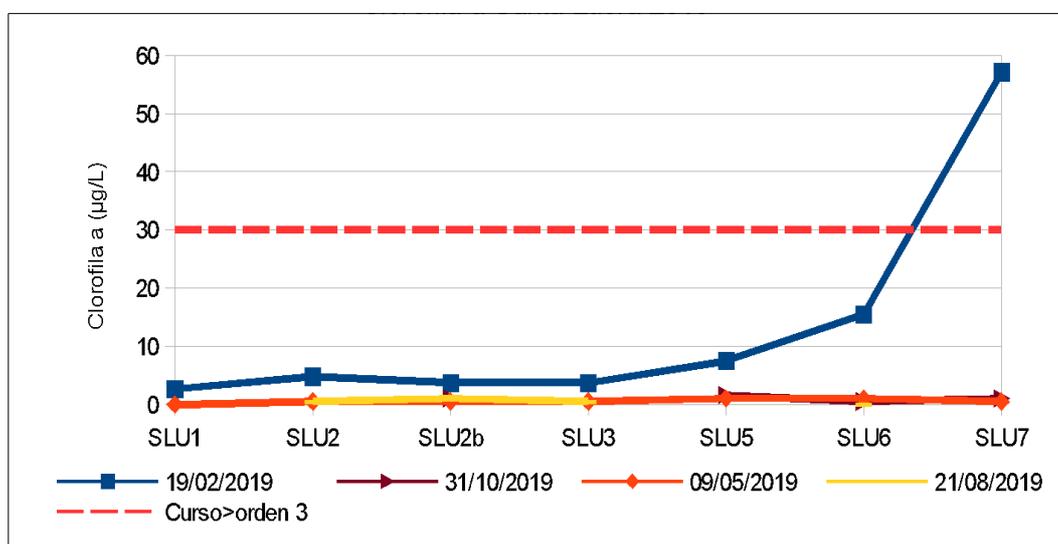


Figura 22. Clorofila a Río Santa Lucía en los muestreos del año 2019. La línea roja punteada representa el valor de 30 µg/L, límite propuesto en la Mesa Técnica del Agua para cursos mayores a orden 3.

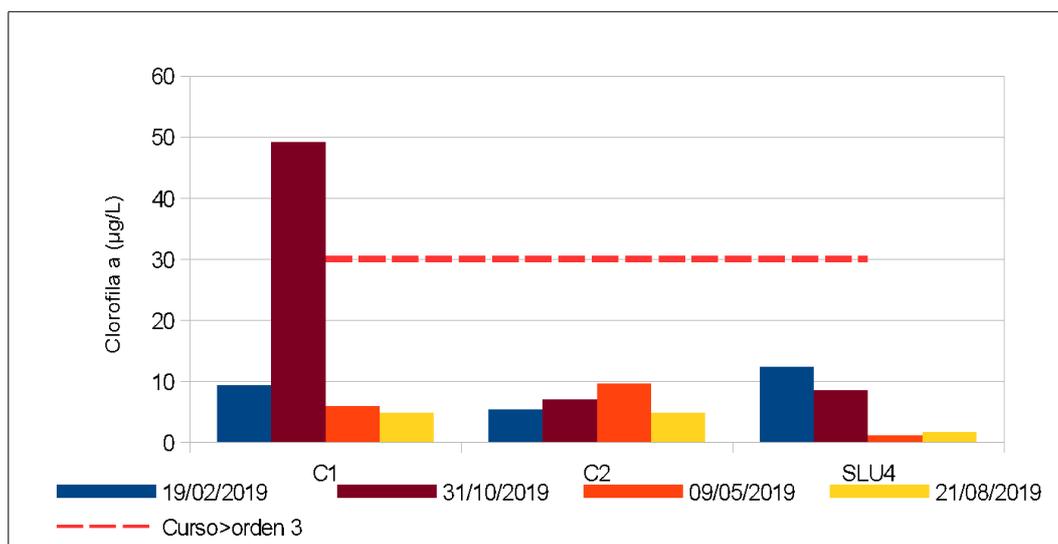


Figura 23. Clorofila a en los Afluentes del Río Santa Lucía en los muestreos del año 2019. La línea roja punteada representa el valor de 30 µg/L, límite propuesto en la Mesa Técnica del Agua para cursos mayores a orden 3.

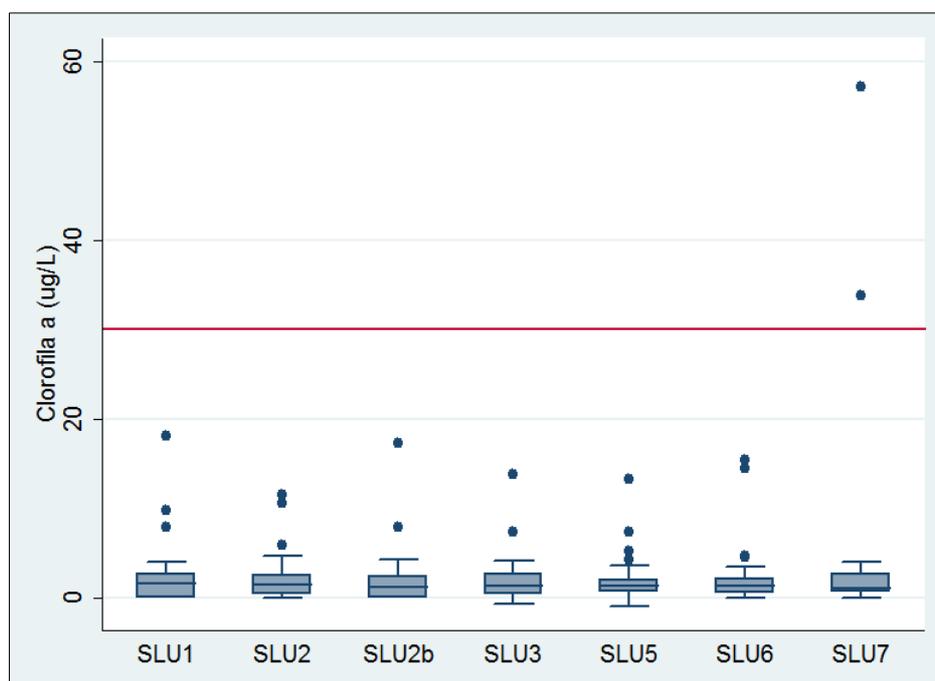


Figura 24. Clorofila a Río Santa Lucía en todos los muestreos 2009 - 2019. La línea roja continua representa el valor de 30 µg/L, límite propuesto en la Mesa Técnica del Agua para cursos mayores a orden 3.

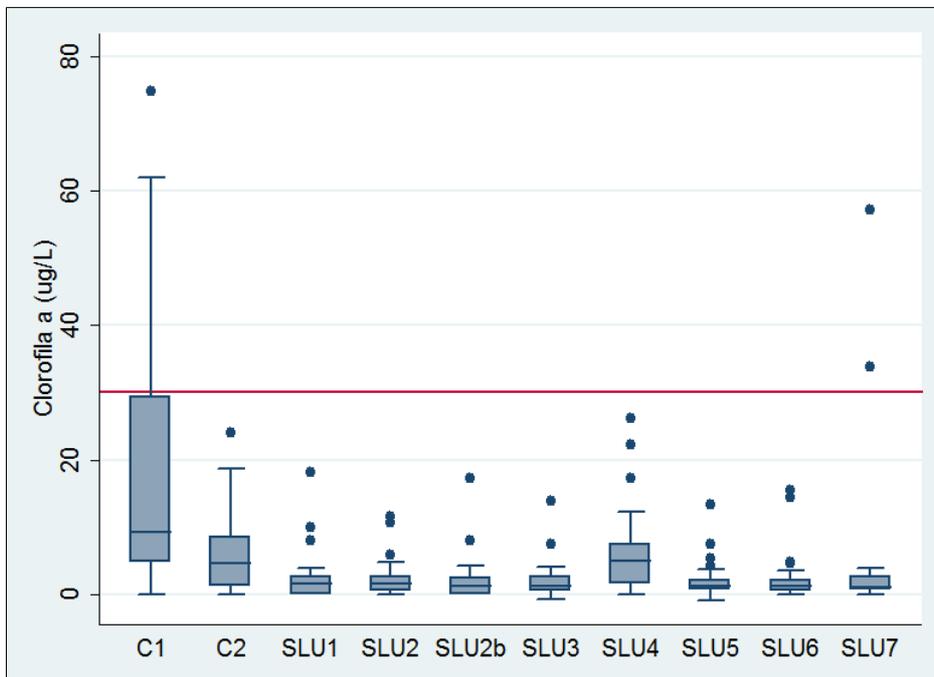


Figura 25. Clorofila a Río Santa Lucía y Afluentes en todos los muestreos 2009 - 2019. La línea roja continua representa el valor de 30 $\mu\text{g/L}$, límite propuesto en la Mesa Técnica del Agua para cursos mayores a orden 3.

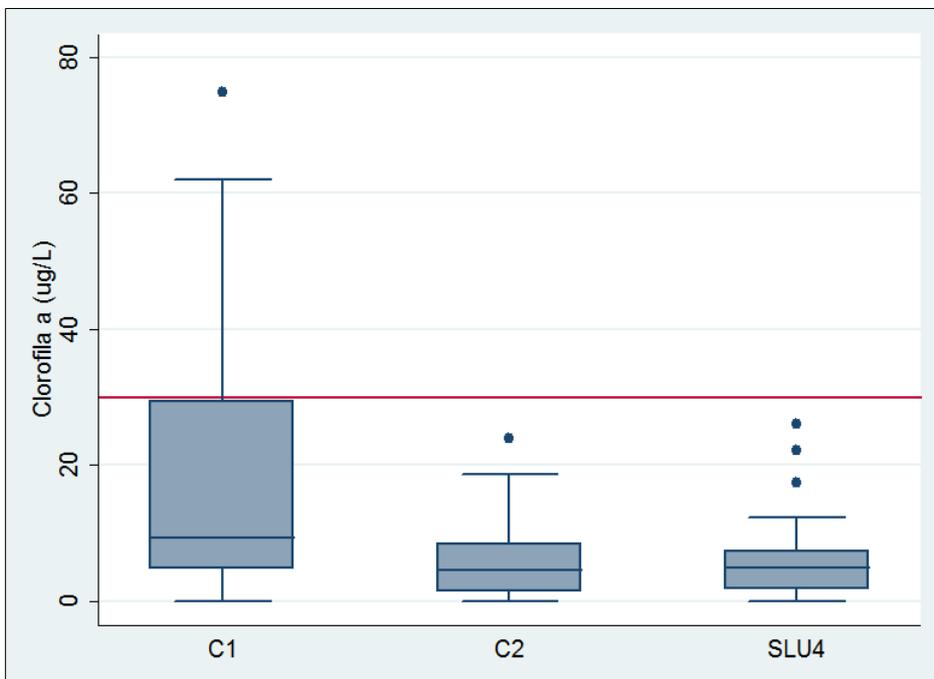


Figura 26. Clorofila a Afluentes en todos los muestreos 2009 - 2019. La línea roja continua representa el valor de 30 $\mu\text{g/L}$, límite propuesto en la Mesa Técnica del Agua para cursos mayores a orden 3.

La clorofila (indicador de biomasa de algas) durante el año 2019 en el SL se encontró por debajo de los 30 $\mu\text{g/L}$ (valor límite exigido), excepto en el sitio SLU7 en febrero. Esto pudo deberse a que



ese sitio se encuentra en la desembocadura del río recibiendo una clara influencia del Río de la Plata. A su vez, en enero y febrero de ese año se registró en la costa de Montevideo una de las más grandes presencias de cianobacterias de los últimos 20 años. También en el sitio C1 se registró valores superiores a este límite.

Coliformes fecales (CF)

Los coliformes fecales son un grupo de bacterias gram negativas muy utilizados para poder caracterizar un ambiente acuático por su posible presencia de contaminación de origen fecal. Estas están presentes en el intestino de organismos de sangre caliente y dentro de estos, *E. Coli* es la especie que mejor indica la contaminación fecal y la posible presencia de patógenos entéricos.

La Clase 3 del Decreto 253/79 exige no exceder el límite puntual de 2000 ufc/100 mL en ninguna de al menos 5 muestras. En las Figuras 21 y 22 se indican los valores registrados durante los muestreos realizados en el año 2019 y en las figuras 23 a 25 se representa el promedio de todos los datos recabados desde el inicio del monitoreo. En la 23 sitios del río Santa Lucía, en la 24 río Santa Lucía y afluentes y en la 25, solamente afluentes.

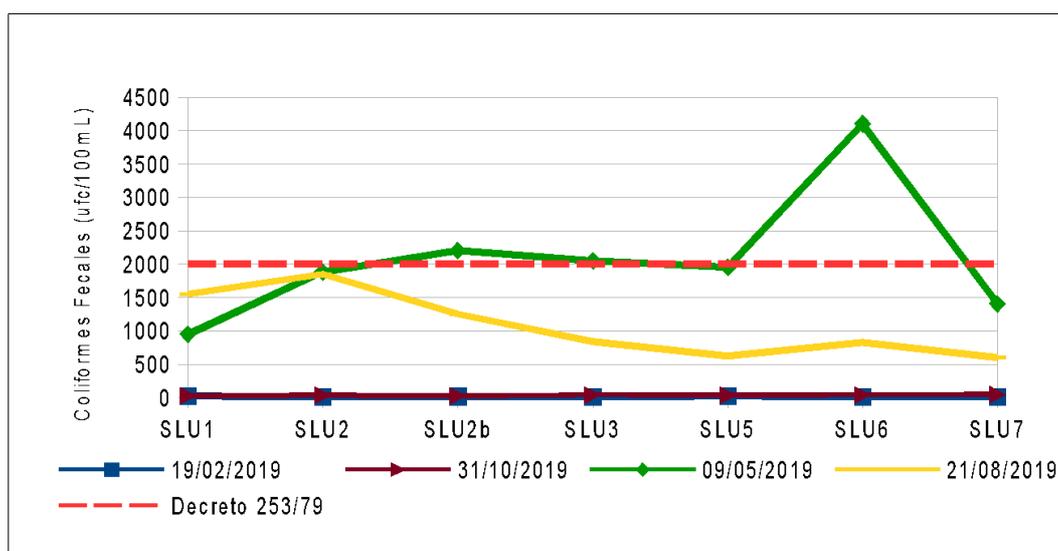


Figura 27. Coliformes Fecales en Río Santa Lucía, valores puntuales en los muestreos del año 2019. La línea roja punteada indica el valor máximo (2000 ufc/100mL) límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3.

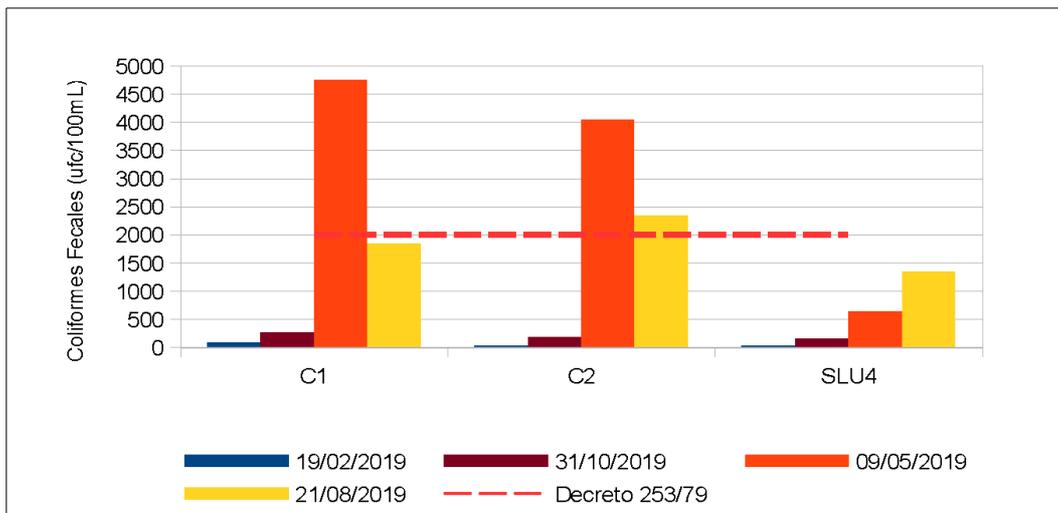


Figura 28. Coliformes Fecales en Afluentes del Río Santa Lucía, valores puntuales en los muestreos del año 2019. La línea roja punteada indica el valor máximo (2000 ufc/100mL) límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3.

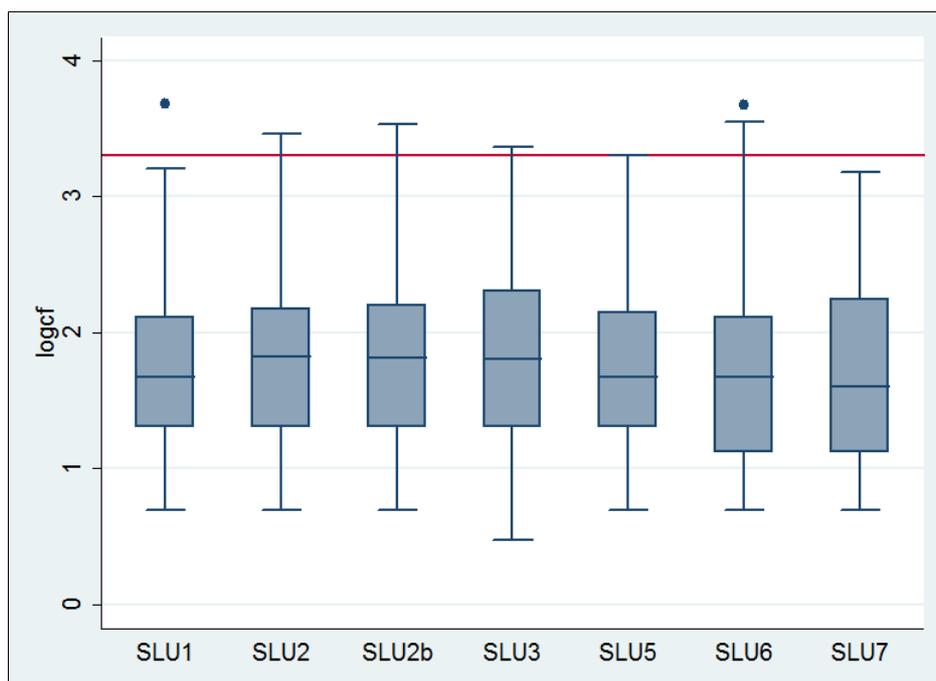


Figura 29. Coliformes Fecales en Río Santa Lucía en todos los muestreos 2009 - 2019. La línea roja indica el valor máximo (2000 ufc/100mL), límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3.

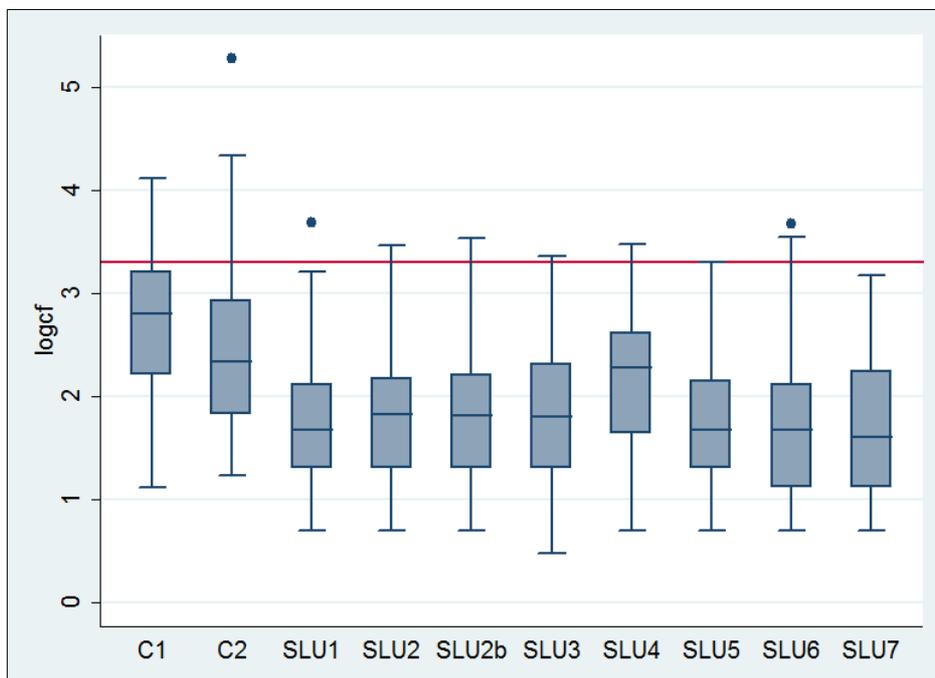


Figura 30. Coliformes Fecales en Río Santa Lucía y Afluentes en todos los muestreos 2009 - 2019. La línea roja indica el valor máximo (2000 ufc/100mL), límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3.

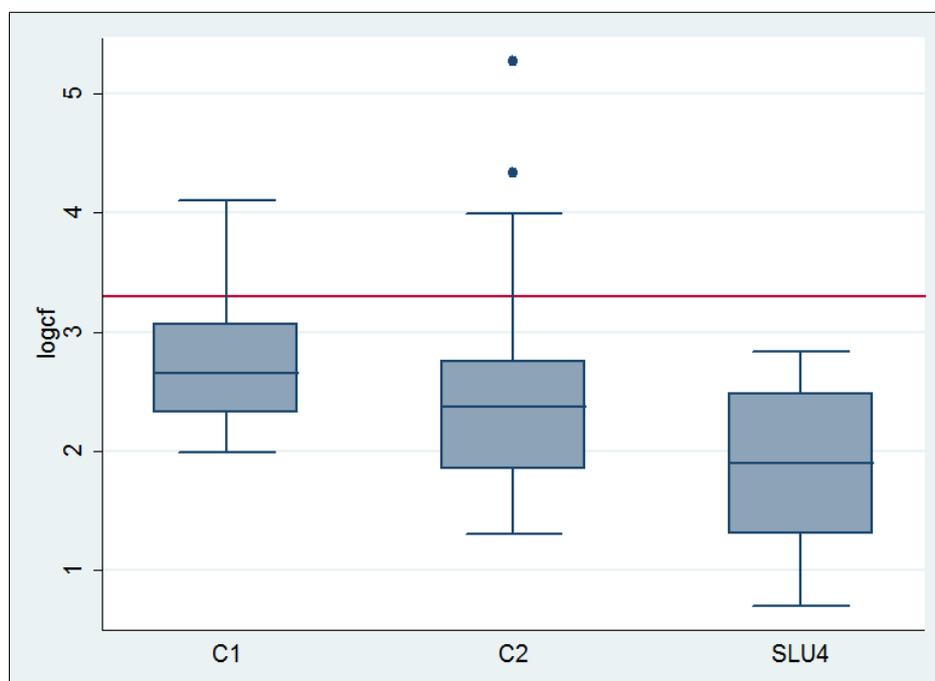


Figura 31. Coliformes Fecales en Afluentes en todos los muestreos 2009 - 2019. La línea roja indica el valor máximo (2000 ufc/100mL), límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3.



En el río SL, durante el 2019, el único sitio donde se superó el límite de 2000 fue en SLU6 en el muestreo de mayo, probablemente debido a alguna descarga puntual en la zona. En lo que respecta a C1 y C2, también en mayo se superó el límite establecido. Se aprecia una elevada carga de este indicador proveniente de aguas arriba, principalmente de los sitios LP2 y LP4, alcanzando valores promedio que superan los 200.000 ufc/100mL.

Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto en el agua brinda información directa sobre la calidad de la misma y su concentración es determinante para la vida en el medio acuático.

Varios factores pueden influir en la disminución del contenido de oxígeno en el medio como ser: presencia de materia orgánica, aumento de temperatura, presencia de algas y plantas acuáticas, oxidación por contaminantes etc.

Es un indicador de la carga orgánica del sistema y por ende del estado de salud del mismo.

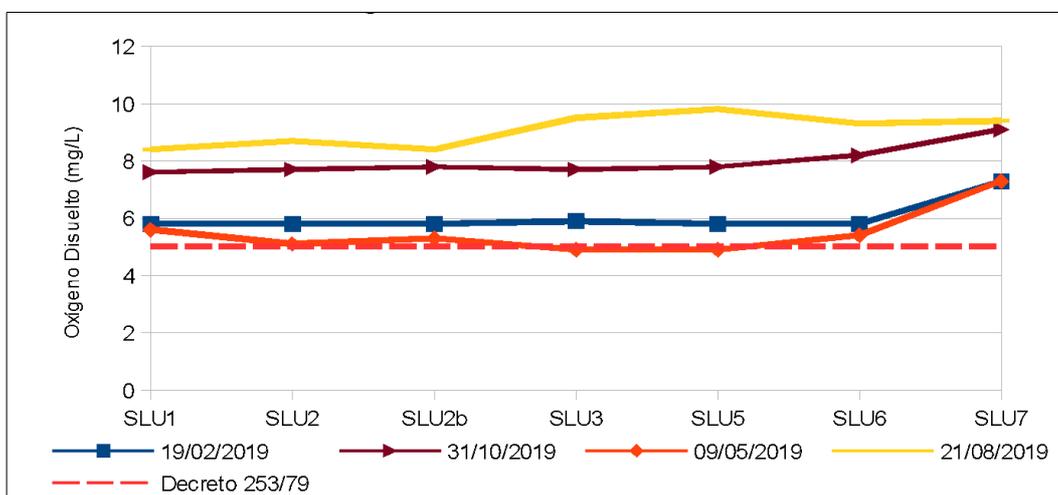


Figura 32. Oxígeno Disuelto en Río Santa Lucía en los muestreos del año 2019. La línea roja punteada indica el valor mínimo (5 mg/L) límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3.

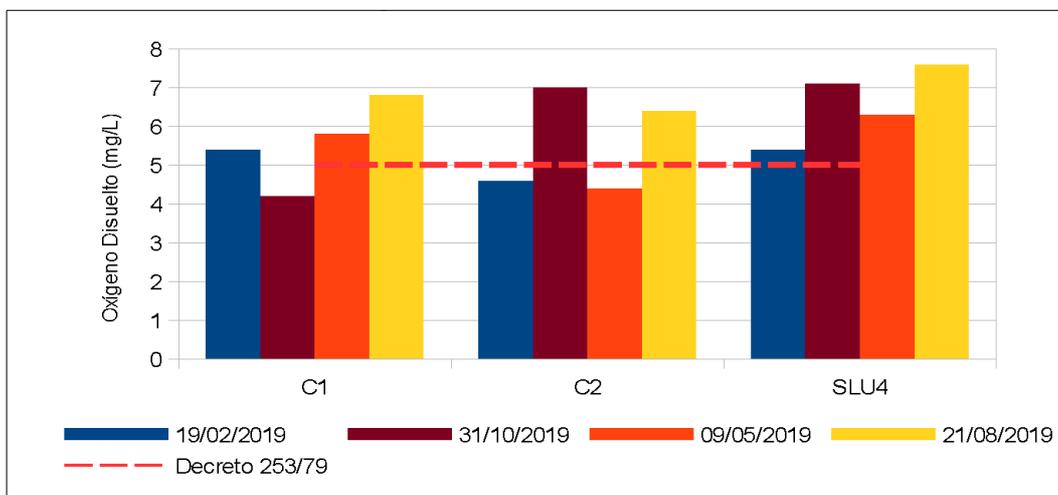


Figura 33. Oxígeno Disuelto en Afluentes del Río Santa Lucía en los muestreos del año 2019. La línea roja punteada indica el valor mínimo (5 mg/L) límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3.

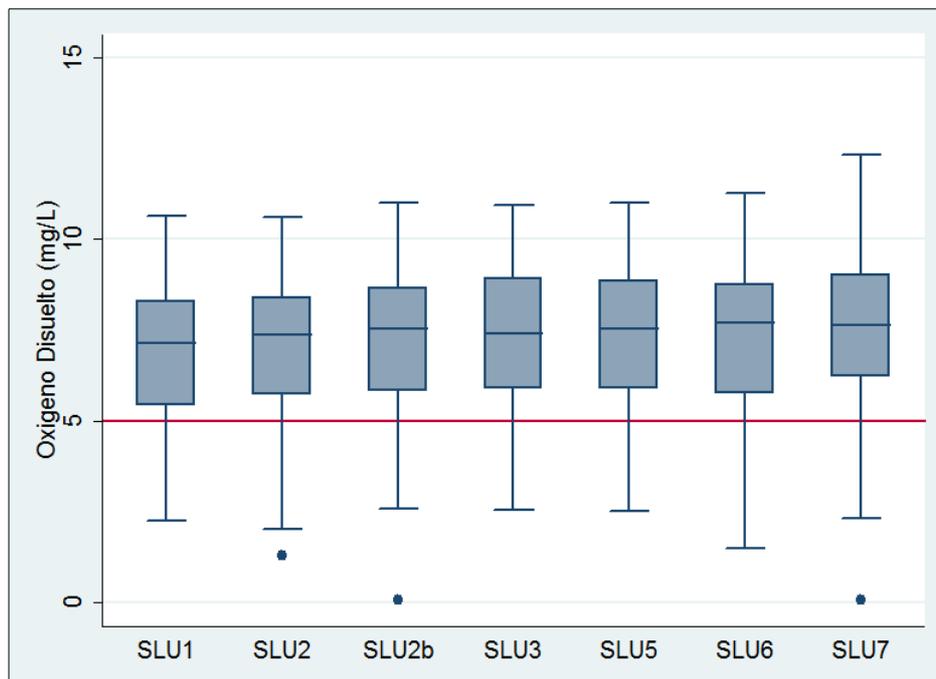


Figura 34. Oxígeno Disuelto en Río Santa Lucía en todos los muestreos 2009 - 2019. La línea roja indica el valor mínimo (5 mg/L), límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3.

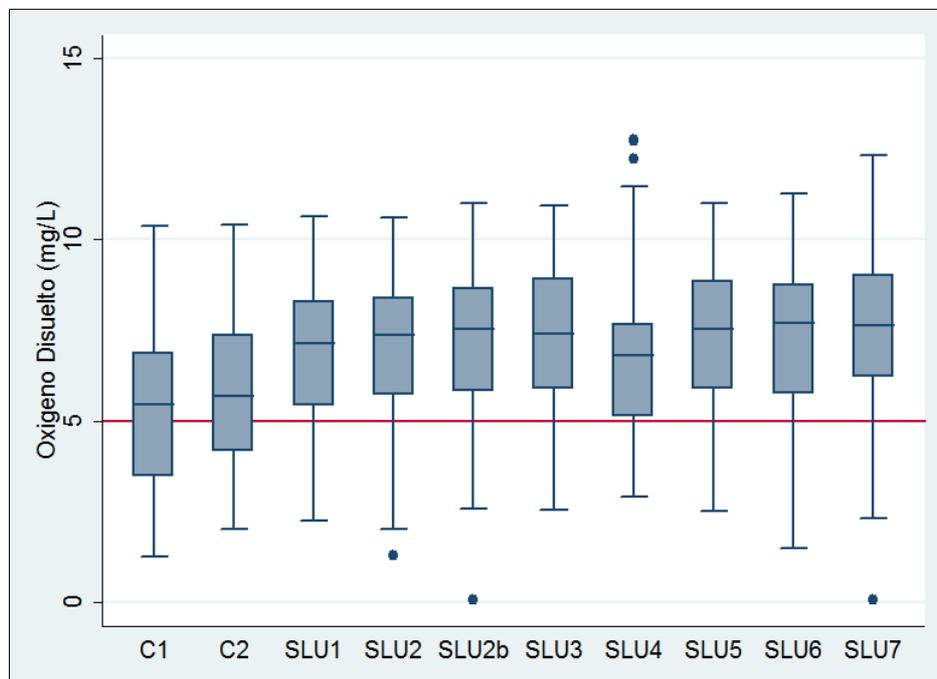


Figura 35. Oxígeno Disuelto en Río Santa Lucía y Afluentes en todos los muestreos 2009 - 2019. La línea roja indica el valor mínimo (5 mg/L), límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3.

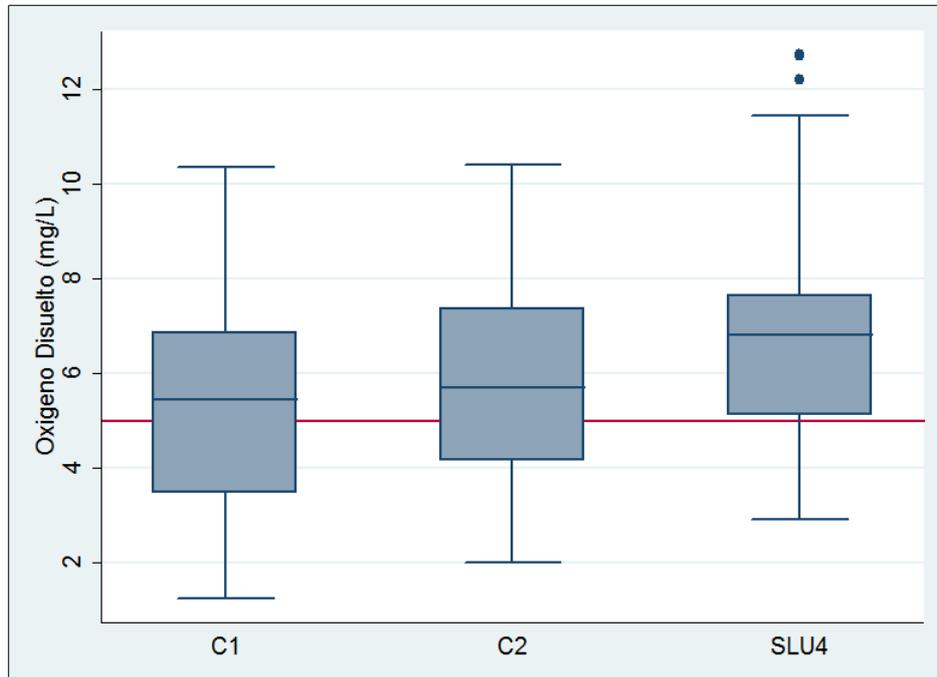


Figura 36. Oxígeno Disuelto en Afluentes en todos los muestreos 2009 - 2019. La línea roja indica el valor mínimo (5 mg/L), límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3.

En los muestreos del año 2019 los valores de oxígeno se encontraron todos aceptables de acuerdo a la reglamentación, excepto algunos medidos en C1, C2 y SLU4.

La evaluación histórica de esta variable nos muestra que en muchas circunstancias, el oxígeno alcanza valores por debajo de lo admitido. Esto puede ocurrir en situaciones en que la medición de fondo puede recibir influencia de los sedimentos.

En términos generales, se observa una clara diferencia entre los sitios del A° Colorado respecto al resto del curso del río SL con valores de NT, PT, Coliformes y clorofila mas altos en el primero y menores valores de oxígeno.

El A° San Gregorio aporta similares concentraciones de Nitrógeno Total pero mayores de Fósforo y Coliformes Fecales que el Santa Lucía e incluso se puede observar mayores valores de clorofila a y menores de oxígeno.

pH

El pH es una medida que refleja la concentración de iones H⁺ y OH⁻ y es muy utilizado para determinar la calidad de un curso de agua.

En general, en las aguas naturales el pH varía entre 6 y 9 y sus fluctuaciones pueden ser debidas a diversos factores como ser: temperatura, descomposición de la materia orgánica, desechos de agricultura, drenajes ácidos o sitios eutrofizados debido a la alta tasa de fotosíntesis producida por las floraciones de algas y cianobacterias.

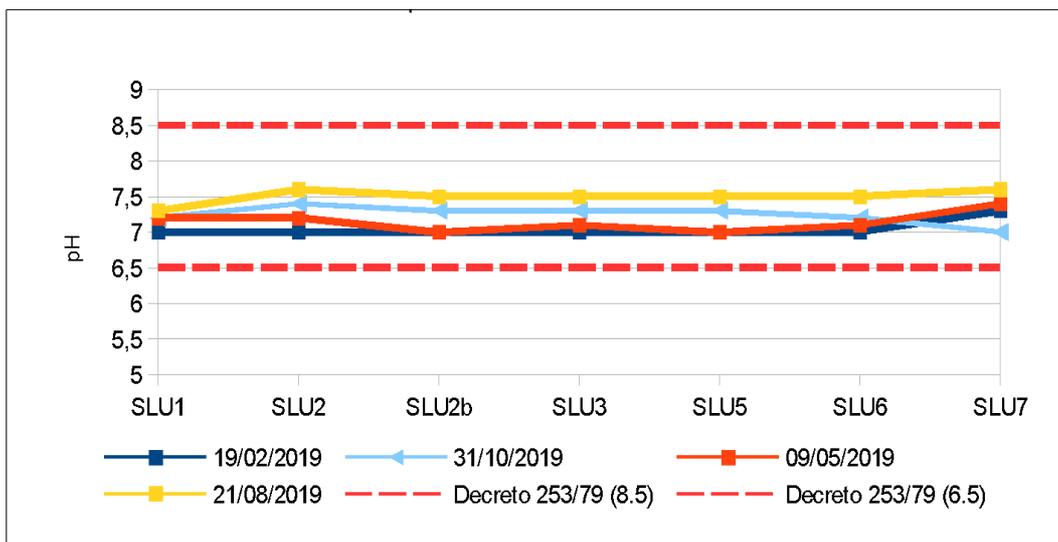


Figura 37. pH en Río Santa Lucía en los muestreos del año 2019. Las líneas rojas punteadas indican el valor mínimo (6,5) y el máximo (8,5) límites establecidos en el Decreto 253/79 para la Clase 3.

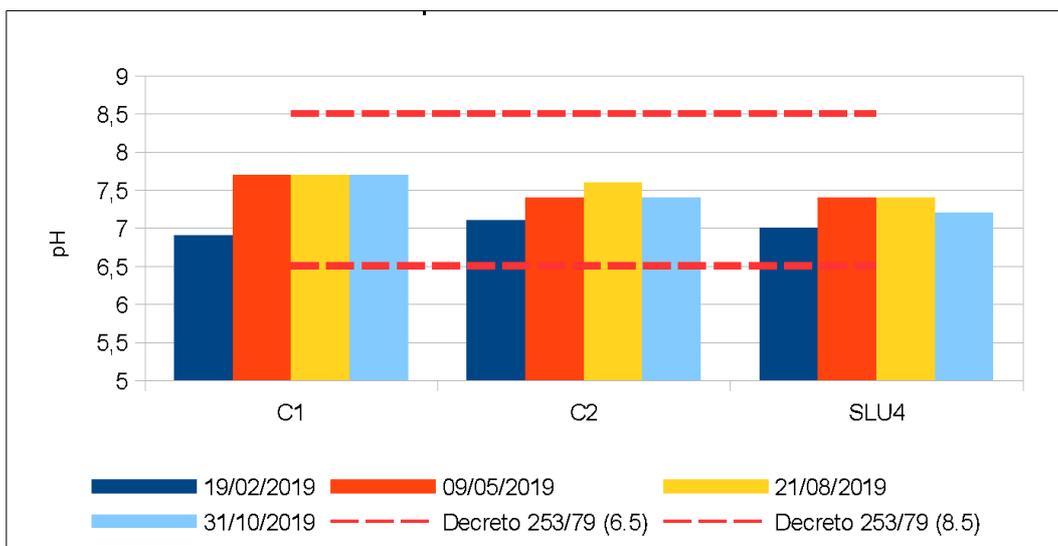


Figura 38. pH en Afluentes del Río Santa Lucía en los muestreos del año 2019. Las líneas rojas punteadas indican el valor mínimo (6,5) y el máximo (8,5) límites establecidos en el Decreto 253/79 para la Clase 3.

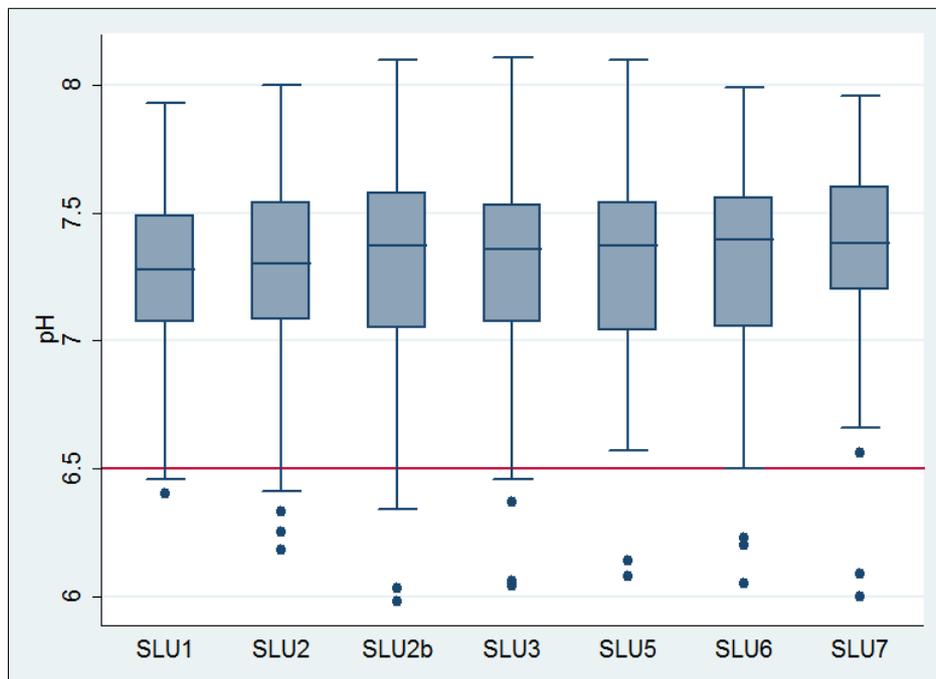


Figura 39. pH en Río Santa Lucía en todos los muestreos 2009 – 2019. La línea roja indica el valor mínimo (6,5). El valor límite máximo es superior a 8,5. Límites establecidos en el Decreto 253/79 para la Clase 3.

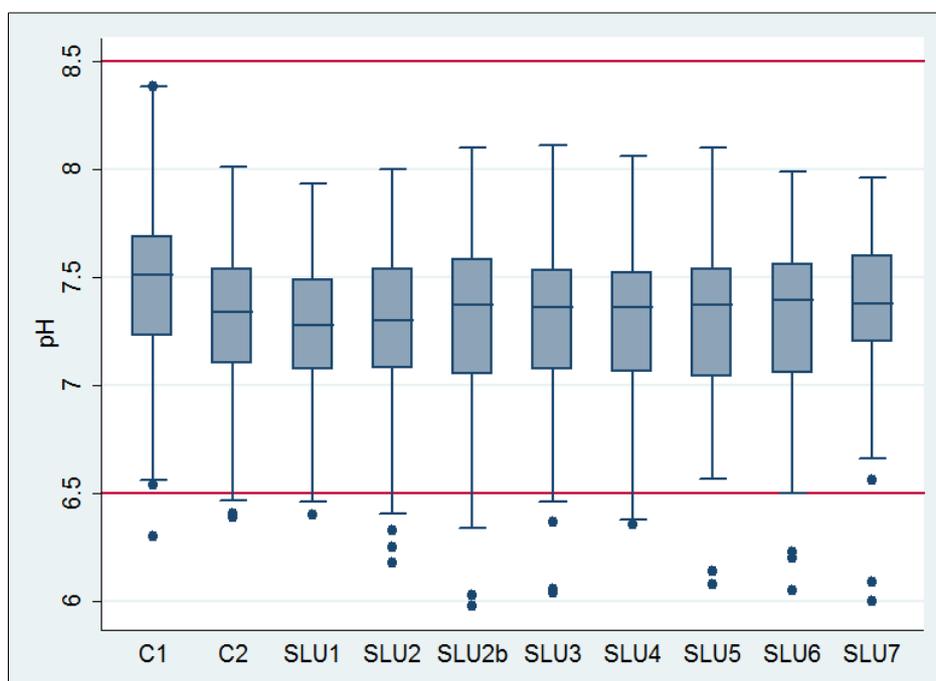


Figura 40. pH en Río Santa Lucía y Afluentes en todos los muestreos 2009 - 2019. Las líneas rojas indican el valor mínimo (6,5) y el máximo (8,5), límites establecidos en el Decreto 253/79 para la Clase 3.

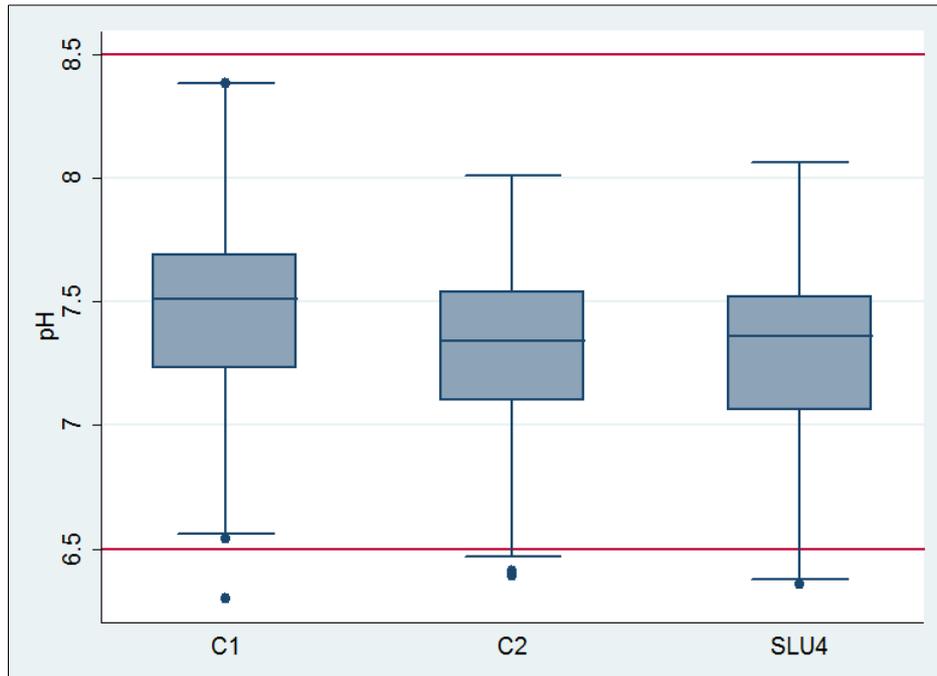


Figura 41. pH en Afluentes en todos los muestreos 2009 - 2019. Las líneas rojas indican el valor mínimo (6,5) y el máximo (8,5), límites establecidos en el Decreto 253/79 para la Clase 3.

Los valores de pH en su mayoría se encuentran dentro de los límites establecidos pero se puede observar que hay, en determinadas situaciones, valores por debajo a 6,5, límite inferior de la exigencia.

Conductividad

La conductividad eléctrica del agua refleja la capacidad que tiene la misma de conducir la corriente eléctrica y ésta varía en función de la presencia iones.

Los factores que modifican la conductividad pueden ser el ingreso de agua salada en el caso estar cerca de un estuario, presencia de contaminantes con el aumento de la carga de iones entre otros. Para el caso del curso de agua del río Santa Lucía y el A° Colorado es común encontrar un incremento de la misma hacia la desembocadura debido a la influencia del Río de la plata. A su vez puede ocurrir en algún muestreo aumentos en la misma en el sitio C1 debido al incremento de la carga iónica.

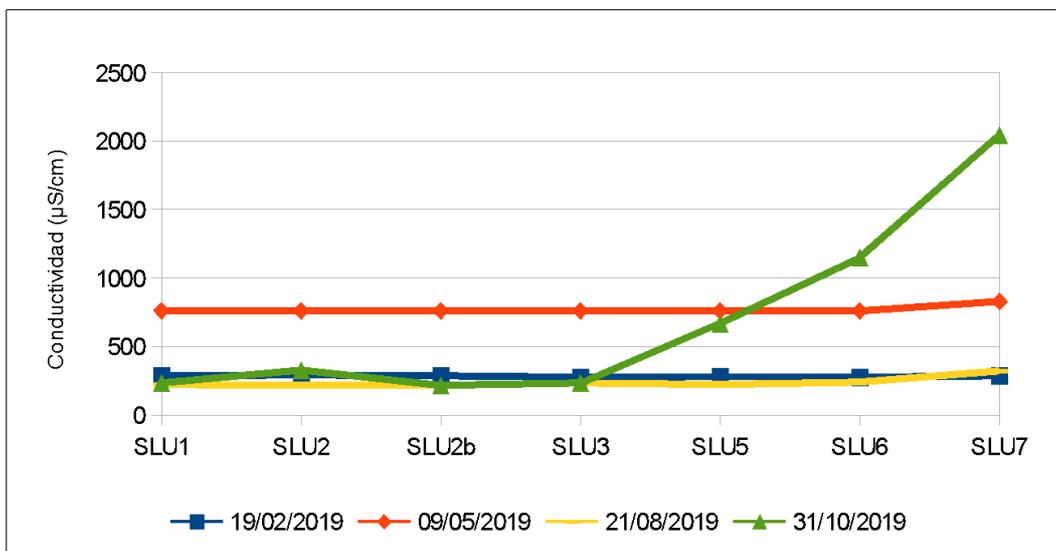


Figura 42. Conductividad en Río Santa Lucía en los muestreos del año 2019.

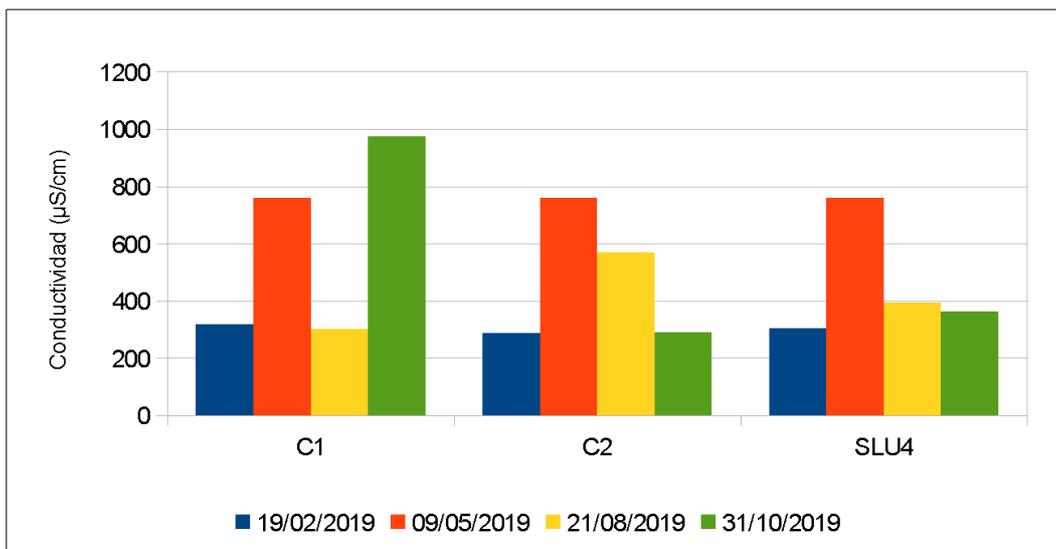


Figura 43. Conductividad en Afluentes del Río Santa Lucía en los muestreos del año 2019.

Salinidad

La salinidad refleja directamente el contenido de sales minerales disueltas siendo la principal en el agua marina el cloruro de sodio.

Al igual que la conductividad, en el Río Santa Lucía se observa su incremento en los sitios mas cercanos al contacto con el Río de la Plata.

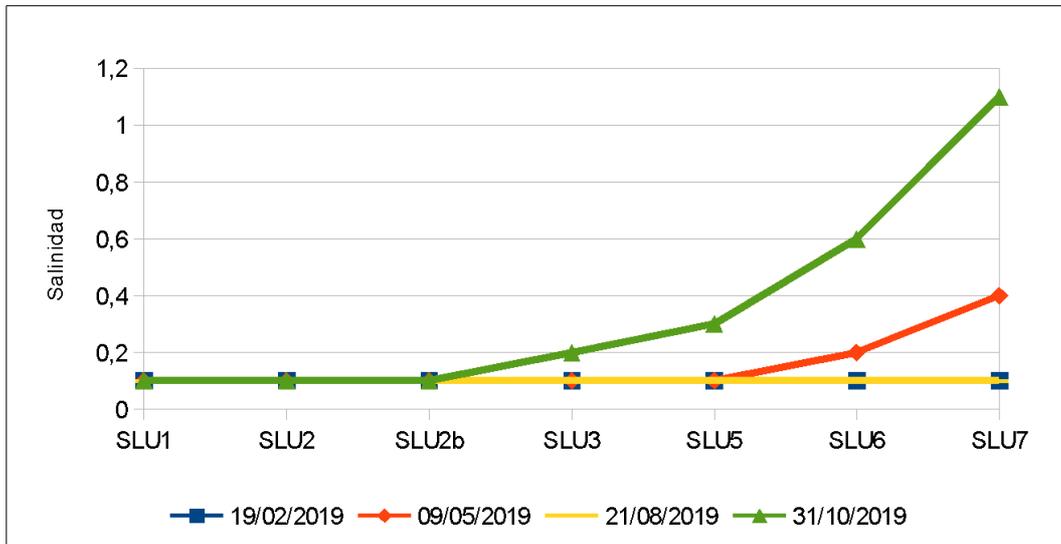


Figura 44. Salinidad en Río Santa Lucía en los muestreos del año 2019.

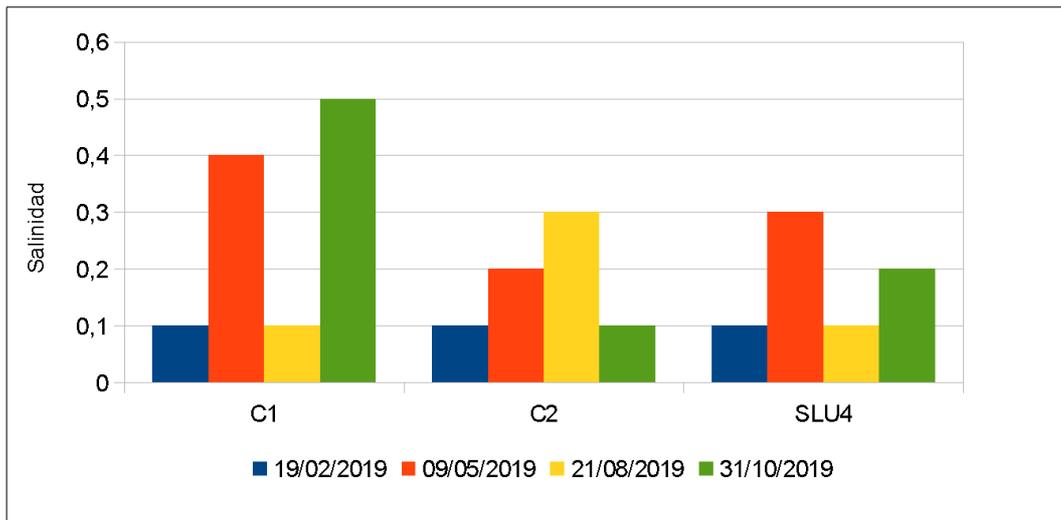


Figura 45. Salinidad en Afluentes del Río Santa Lucía en los muestreos del año 2019.

Se puede observar que el ingreso de agua del Río de la Plata es medido incluso hasta los sitios más alejados aguas arriba, alcanzando valores de conductividad y salinidad elevados.



Turbiedad

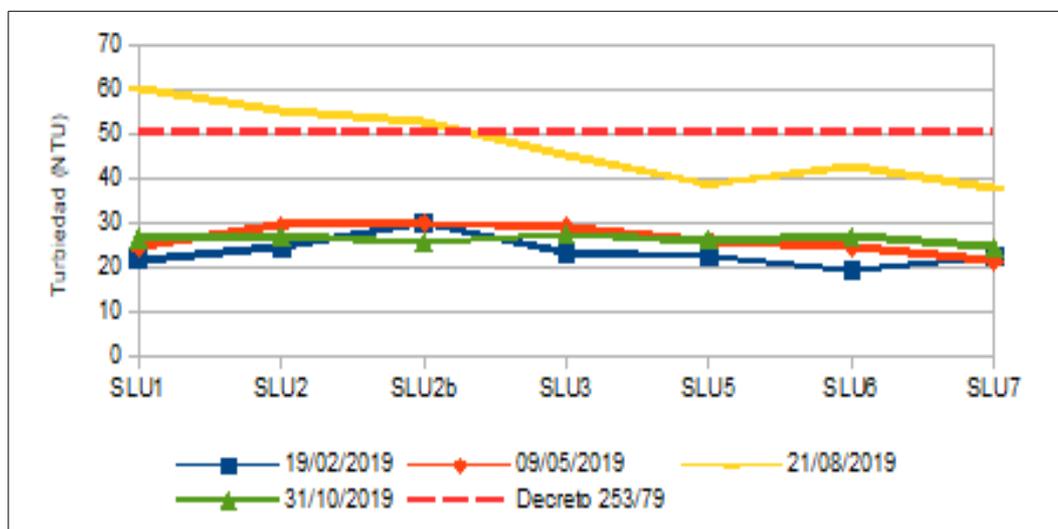


Figura 46. Turbiedad en Río Santa Lucía en los muestreos del año 2019.

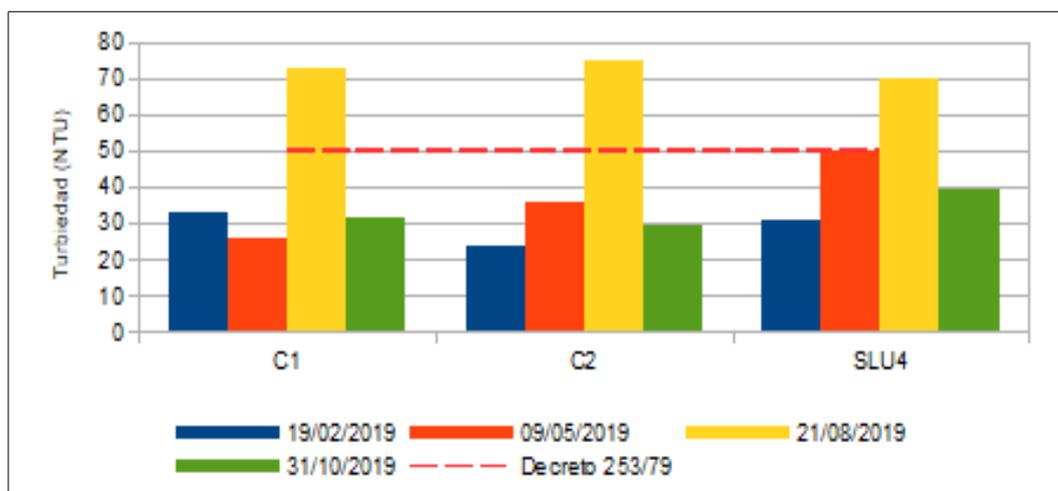


Figura 47. Turbiedad en Afluentes del Río Santa Lucía en los muestreos del año 2019.

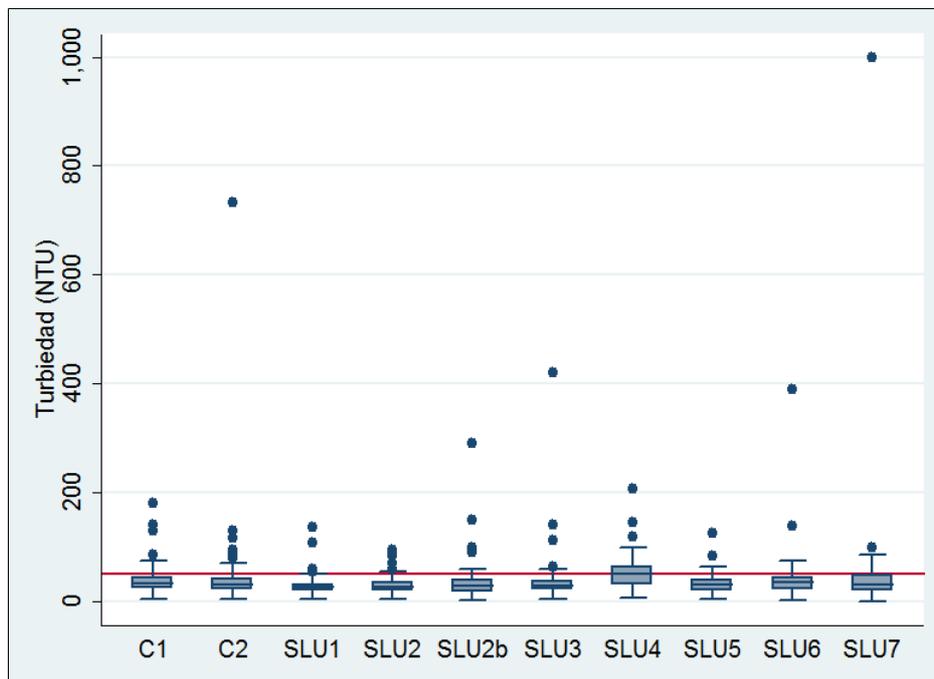


Figura 48. Turbiedad en Río Santa Lucía y Afluentes en todos los muestreos 2009 - 2019. La línea roja indica el valor de 50 NTU, límite establecido en el Decreto 253/79 para la Clase 3.

La turbiedad del agua de toda la cuenca baja del río Santa Lucía es muy variable y con gran frecuencia se registran valores por encima a los 50 NTU (límite del Decreto 253/79). En esta situación, el viento juega un papel preponderante ya que el mismo mezcla la columna de agua y resuspende el sedimento.

Caracterización de otros puntos relevantes respecto al A° Colorado

Se evalúan además los valores de Coliformes Fecales y Fósforo Total del A° Colorado aguas arriba, ya dentro del departamento de Canelones. Este tramo del arroyo atraviesa la ciudad de La Paz y es monitoreado por la Intendencia de este departamento.

También se evalúan los aportes del arroyo Las Piedras que limita las ciudades de Montevideo con Las Piedras y es monitoreado por este Servicio dentro del Programa de Monitoreo de Cuerpos de Agua de Montevideo (IM). (<https://montevideo.gub.uy/areas-tematicas/ambiente/calidad-de-agua/cursos-de-agua>).

Para realizar estas evaluaciones se tomó en cuenta que los datos de los muestreos coincidieran temporalmente de forma estacional debido a que las dos intendencias no tienen la misma frecuencia.

Ubicación de los sitios monitoreados en el A° Las Piedras:

LP1: Cno. Julio Sosa; LP2: Av. César Mayo Gutiérrez; LP3: Cno. El Cuarteador; LP4: Ruta Nº 5; LP5: Ruta Nº 36 – Cno. Melilla.

Ubicación de los sitios monitoreados en el A° Colorado en Canelones:

COL1: Puente Camino Chopín (a 100 m de R);

COL2: Puente R36.

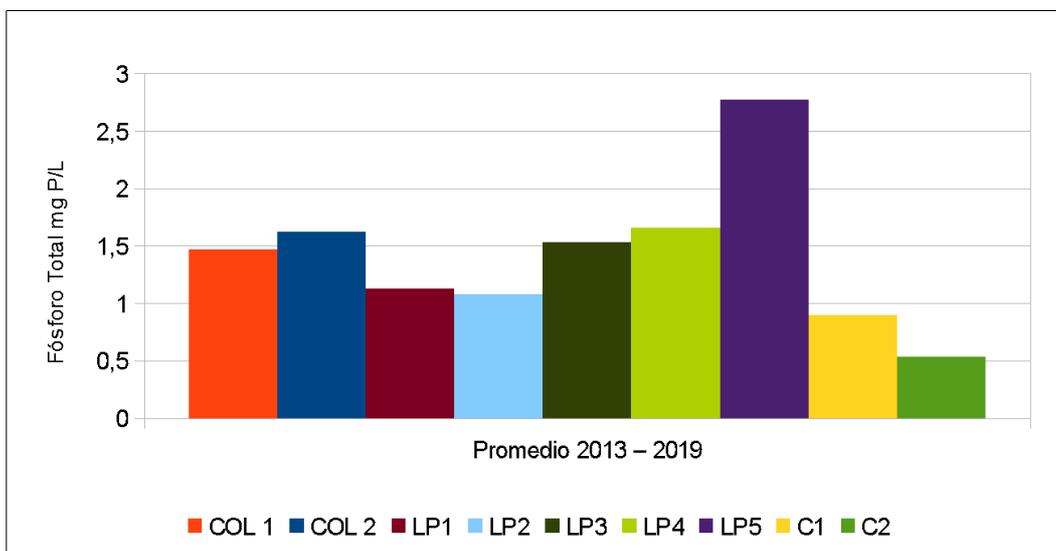


Figura 49. Promedio de Fósforo Total en puntos relevantes respecto al A° Colorado en los muestreos realizados desde los años 2013 al 2019.

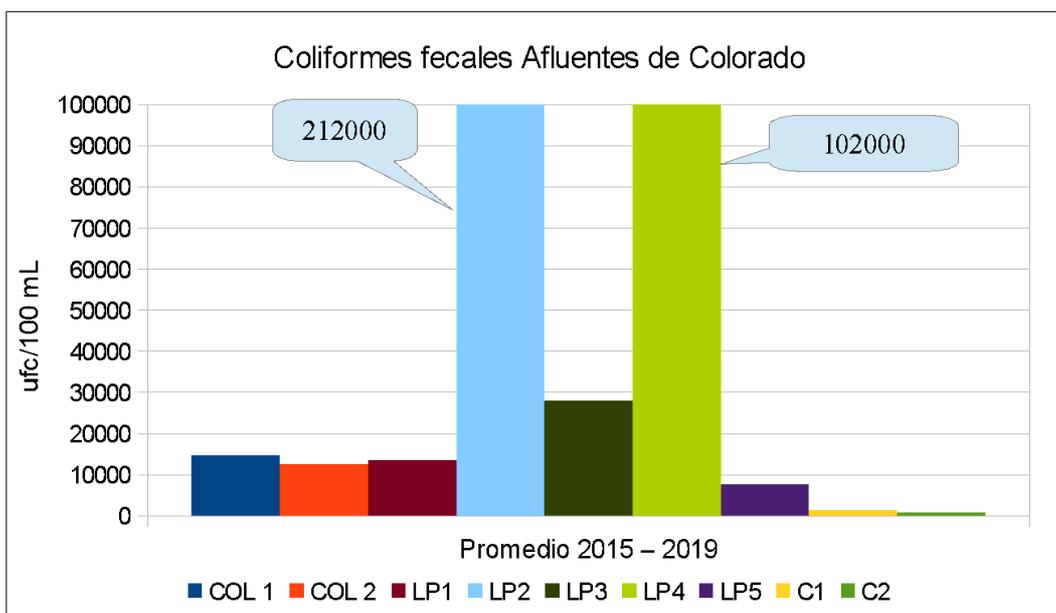


Figura 50. Promedio de Coliformes Fecales en puntos relevantes respecto al A° Colorado en los muestreos realizados desde los años 2013 al 2019.

Se puede observar que un posible impacto de Fósforo Total y Coliformes Fecales que recibe el A° Colorado en los sitios C1 y C2 evaluados en este monitoreo, podrían provenir del A° Las Piedras (atraviesa la ciudad con este nombre) y en menor medida del A° Colorado de su tramo proveniente del departamento de Canelones. De todos modos se desconoce si entre estos sitios existe algún otro aporte puntual.

**Resultados analíticos en sedimentos***Plomo y Cromo*

De las 18 campañas de muestreo de sedimentos en el período 2009 – 2019 surge que todos los valores promedio de cromo en sedimentos se encuentran por debajo del ISQG (Tabla 4). Sólo en tres oportunidades se superó dicho valor: en la estación SLU1 donde se obtuvo un valor puntual de 42 mg/kg el 26 de junio de 2013, en la estación SLU7 el 23 de julio de 2015 donde se obtuvo un valor puntual también de 42 mg/kg y también en SLU7 en la campaña del 16 de agosto de 2016 donde el valor puntual obtenido fue de 39 mg/kg. En el caso del plomo, ninguno de los valores puntuales supera el valor de 35 mg/kg que se establece como ISQG.

	Cromo (mg/Kg)	Plomo (mg/Kg)
ISQG (interim sediment quality guidelines)	37,3	35
PEL (probable effect levels)	90	91,3

Tabla 3. Valores guía de cromo y plomo para sedimentos de cursos de agua dulce “Canadian Sediment Quality Guidelines for the protection of Aquatic Life”

	SLU1	SLU2	SLU2b	SLU3	SLU4	SLU5	SLU6	SLU7	C1	C2
Pb (mg/kg)	7,2	6,1	4,0	5,2	9,5	9,6	6,6	4,3	7,9	6,4
Cr (mg/kg)	19,5	15,9	9,3	14,2	19,1	19,6	18,2	17,5	15,2	17,9

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

Tabla 4. Resultados promedio de Pb y Cr de los sedimentos, señalando con códigos de colores, los distintos niveles en relación a los valores guía de Canadá para la protección de la vida acuática.

Los metales cromo y plomo en sedimentos presentan valores aceptables para la normativa aplicada.



Bioensayos

Los bioensayos son una herramienta ecotoxicológica que permite determinar el riesgo por agentes contaminantes conocidos o no, que se encuentran en el ambiente (Castillo-Morales, 2004). Por tanto, permiten evaluar los efectos de las sustancias tóxicas, estén o no identificadas, sobre la biota.

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 attenuata* (cnidario) y *Daphnia magna* (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. attenuata* ha mostrado una gran sensibilidad frente a la contaminación producto de la degradación de la materia orgánica.

El agua del humedal presenta niveles no relevantes de toxicidad, predominando las categorías leve y no tóxica, en los tres bioensayos realizados durante 2019. Dichos resultados además, son consistentes con la serie histórica de más de 10 años de monitoreo en agua, por lo cual se espera un bajo riesgo ecotoxicológico.

En el sedimento, sólo se realiza el bioensayo con *Vibrio fischeri*. Los resultados obtenidos son semejantes a los observados para las muestras de agua, por lo cual las conclusiones son equivalentes en ambas matrices.

Materiales y Métodos

Los organismos utilizados en los bioensayos del presente estudio son: *Vibrio fischeri* (Bacteria), *Hydra attenuata* (Cnidario) y *Daphnia magna* (Crustáceo).

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).

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).

Ambos bioensayos (*H. attenuata* y *D. magna*) se aplican a muestras líquidas de salinidad menor a 1 UPS.

En el Anexo I se detallan las adaptaciones de los protocolos y se dan referencias sobre la sensibilidad de los ensayos.

Adicionalmente se realiza un testeo con un organismo procarionta mediante el Sistema Microtox®. Este bioensayo examina el efecto tóxico de las muestras (tanto en agua como en sedimento), 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).

Actualmente se aplican los bioensayos ya descritos de *H. attenuata*, *D. magna* y *V. fischeri* 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.

Los resultados para los ensayos de *H. attenuata*, *D. magna* y *V. fischeri* se expresan en Unidades de Toxicidad (UT) determinadas a partir de la fórmula: $UT = 100 / CL50$, donde CL50 es la Concentración Letal al 50% estimada en el bioensayo (Castillo-Morales, 2004). En el caso del ensayo de *V. fischeri* la estimación de efecto corresponde a la Concentración de Inhibición al 50% (CI50%) de la emisión de luz de la bacteria.

Por consiguiente, los valores más altos de UT corresponden a una mayor toxicidad.

La Tabla 6 presenta las categorías correspondientes de acuerdo a las UT y siguiendo el criterio propuesto por Coleman y Qureshi (1985). Para facilitar y guiar la interpretación se utiliza en los resultados una escala de color que va desde el rojo para mayor toxicidad al verde en el caso de muestra no tóxica (Tabla 7).

Concentración Letal 50%	Unidad de Toxicidad	Categoría Toxicológica
$CL50 \leq 25$	$UT \geq 4$	Muy Tóxico
$25 < CL50 \leq 50$	$2 \leq UT < 4$	Tóxico
$50 < CL50 \leq 75$	$1,33 \leq UT < 2$	Moderadamente Tóxico
$75 < CL50 < 100$	$1,0 < UT < 1,33$	Levemente Tóxico
$CL50 \geq 100$	$UT \leq 1$	No Tóxico

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

Resultados de bioensayos en agua

Las muestras de agua del humedal del río Santa Lucía no registran niveles de toxicidad o lo hacen en una magnitud leve para los tres bioensayos aplicados (Tablas 8; 9; 10).

Se destaca que sólo se obtiene un nivel levemente tóxico en una muestra de fondo del arroyo Colorado en el ensayo de Daphnia (Tabla 9).

Sitios	Profundidad	N	Mediana de UT	Mínimo de UT	Máximo de UT
SLU1	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
SLU2	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
SLU2b	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
SLU3	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
SLU4	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
SLU5	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
SLU6	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
SLU7	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
C1	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
C2	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00

Tabla 8. Resultados del bioensayo de Hydra en agua del humedal del río Santa Lucía y arroyo Colorado en el año 2019.



Sitios	Profundidad	N	Mediana de UT	Mínimo de UT	Máximo de UT
SLU1	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
SLU2	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
SLU2b	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
SLU3	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
SLU4	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
SLU5	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
SLU6	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
SLU7	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
C1	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.15
C2	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00

Tabla 9. Resultados del bioensayo de *Daphnia* en agua del humedal del río Santa Lucía y arroyo Colorado en el año 2019.

Sitios	Profundidad	N	Mediana de UT	Mínimo de UT	Máximo de UT
SLU1	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
SLU2	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
SLU2b	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
SLU3	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
SLU4	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
SLU5	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
SLU6	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
SLU7	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
C1	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00
C2	Superficie	4	1.00	1.00	1.00
	Fondo	4	1.00	1.00	1.00

Tabla 10. Resultados del bioensayo de *Vibrio fischeri* en agua del humedal del río Santa Lucía y arroyo Colorado en el año 2019.

Las figuras 51 a 53 muestran los gráficos de la distribución de los valores de UT en agua por año y para cada sitio de muestreo.

Se observa que en toda la serie temporal estudiada, el rango de valores está comprendido entre 1 y 1,15 predominando por tanto los niveles leves o no tóxicos.

Se destaca para el ensayo de *Hydra* que siendo la misma muy sensible a compuestos nitrogenados producto de la degradación de la materia orgánica, no presenta valores importantes de toxicidad en toda la serie de datos. Sin embargo, *Daphnia* y *Vibrio* presentan valores de UT



correspondientes a niveles leves con mayor frecuencia que Hydra. Dicha observación de toxicidad leve, no tiene aún una explicación que se fundamente en los datos físico-químicos relevados ó en la sospecha de alguna fuente de contaminación puntual.



Figura 51. Los gráficos de cajas y línea muestran la distribución de los valores de UT en agua para el ensayo de Hydra para la serie de años estudiada y por sitio de muestreo.



Figura 52. Los gráficos de cajas y línea muestran la distribución de los valores de UT en agua para el ensayo de Daphnia para la serie de años estudiada y por sitio de muestreo.

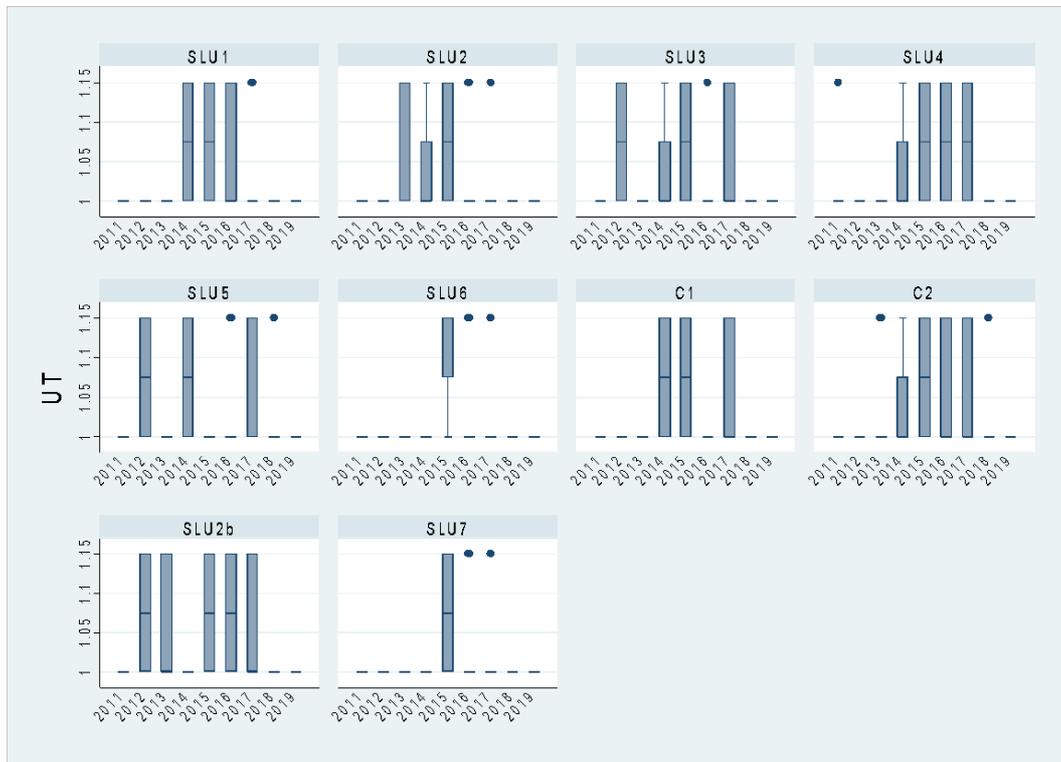


Figura 53. Los gráficos de cajas y línea muestran la distribución de los valores de UT en agua para el ensayo de *Vibrio* para la serie de años estudiada y por sitio de muestreo.

Resultados de bioensayos en sedimentos

Con el ensayo de *V. fischeri* en elutriado de sedimento se registran niveles leves de toxicidad durante el año 2019 para el humedal (Tabla 11). Dichos niveles se encuentran sobre el límite de cuantificación del ensayo (% de inhibición de luz mayor a 17%) pero sin una buena estimación de la concentración de inhibición 50%, por ser niveles muy leves de toxicidad.

Tres sitios (SLU5, SLU7 y C2) no presentan toxicidad en ninguna de sus muestras durante 2019 (Tabla 11).



Sitios	N	Mediana de UT	Mínimo de UT	Máximo de UT
SLU1	2	1.07	1.00	1.15
SLU2	2	1.15	1.15	1.15
SLU2b	2	1.07	1.00	1.15
SLU3	2	1.07	1.00	1.15
SLU4	2	1.15	1.15	1.15
SLU5	2	1.00	1.00	1.00
SLU6	2	1.15	1.15	1.15
SLU7	2	1.00	1.00	1.00
C1	2	1.15	1.15	1.15
C2	2	1.00	1.00	1.00

Tabla 11. Resultados del bioensayo de *Vibrio fischeri* en elutriado de sedimento del humedal del río Santa Lucía y arroyo Colorado en el año 2019.

La figura 54 muestra los gráficos de la distribución de los valores de UT en elutriado de sedimento por año y para cada sitio de muestreo, con el bioensayo de *Vibrio fischeri*. Se observa que en toda la serie temporal estudiada el rango de valores está comprendido entre 1 y 1,15 predominando por tanto los niveles leves a no tóxicos.

Se concluye por lo tanto que los resultados en agua y sedimento indican un bajo riesgo ecotoxicológico, soportado por la información de una serie de 10 años de seguimiento.

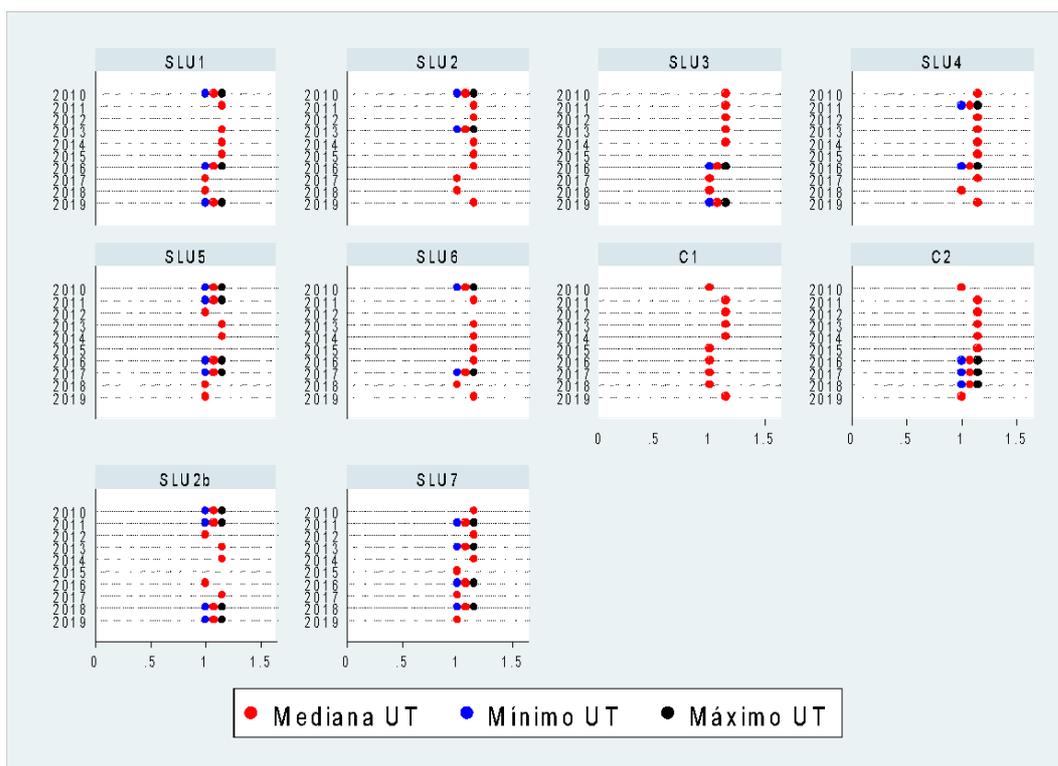


Figura 54. Los gráficos de cajas y línea muestran la distribución de los valores de UT en sedimento para el ensayo de *Vibrio fischeri* para la serie de años estudiada y por sitio de muestreo.



CONCLUSIONES

En general el comportamiento del curso de agua es variable en los distintos momentos del año ya lo largo del cauce. En esto se observa un comportamiento marcadamente diferenciado en los puntos C1 y C2 y se puede ver que son los que se encuentran más afectados y que presentan mayor frecuencia de incumplimiento de la normativa aplicada para su evaluación.

Como resumen de los distintos parámetros estudiados:

El Nitrógeno Total en la mayoría de los sitios evaluados supera el límite de referencia y es C1 en donde se alcanza las mayores concentraciones.

Se detectó la presencia de Amoníaco Libre (NH₃) en el 2019 en el sitio C1 en el muestreo de octubre e históricamente se registró algún valor muy elevado en C1 y en C2.

El Fósforo Total supera ampliamente los límites establecidos en todos los sitios y todos los años desde el comienzo del monitoreo y especialmente se observa que se mantiene estable a lo largo de todo el curso hasta su desembocadura.

La clorofila *a* (indicador indirecto de presencia de algas y cianobacterias), superó el límite establecido solamente en un sitio en el 2019 en verano y los registros históricos indican que en C1 es donde aumenta su concentración siempre.

En el muestreo de mayo se registró un sensible aumento de Coliformes Fecales en todos los sitios del Río Santa Lucía, superando el límite en SLU6, (debido a alguna descarga puntual) en la zona.

El Fósforo Total que proviene de aguas arriba de los sitios C1 y C2 podría ser aportado en gran medida por el Arroyo Las Piedras, detectado principalmente en los sitios LP2, LP4 y LP5 del Monitoreo de Cuerpos de Agua de la IM, de todos modos se desconoce si existe algún otro ingreso puntual al medio.

En términos generales, todo el curso del río Santa Lucía presenta valores de oxígeno en promedio aceptables. Sin embargo en C1 y C2, dependiendo del período del año, se pueden encontrar valores inferiores a 5 mg/L.

La conductividad y salinidad por lo general aumentan hacia la desembocadura dependiendo de la dinámica del Río de la Plata. De todos modos, en los muestreos del 2019, todos los registros se corresponden a agua típica de río.

La turbiedad del sistema depende principalmente de los sedimentos en suspensión, por eso, es muy frecuente medir valores que superan el límite del Decreto.

Los niveles de cromo y plomo presentes en los sedimentos son aceptables para la normativa aplicada (Canadian Sediment Quality Guidelines for the protection of Aquatic Life).

El índice de Estado Trófico aplicado, que utiliza el Fósforo Total como único indicador, cataloga a todos los sitios de monitoreo en el 2019 como Supereutróficos, alcanzando el peor nivel (Hipereutrófico) en C1.



Bibliografía

- Cacho, C., Rodríguez, A., Risso, J., Sienna, D., Saona, G. & Yafalian, M. 2016. Programa de monitoreo de cuerpos de agua de Montevideo. Informe Anual 2016. Servicio de Evaluación de la Calidad y Control Ambiental; Departamento de Desarrollo Ambiental; Intendencia de Montevideo.
- Castillo-Morales, G. (Ed.) Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones. México: IMTA, 2004. Canadá: IDRC, 2004;189 pp.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment) (1995) ,*Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life* <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/226>
- Diaz-Baez, M.C. & Perez, J.B. 2000. Intralaboratory experience with a battery of bioassays: Colombia experience. *Environmental Toxicology* 15(4): 297-303.
- Environment Canada. Biological test method: Toxicity test using luminescent bacteria. Report EPS 1/RM/24; november 1992. 55p.
- Espínola, J.C., Saona, G. & Arriola, M. 2005. Evaluación de la toxicidad de las principales cuencas hídricas del departamento de Montevideo. *AMBIOS* . (año 5; nº 15; 15-22) (año 5; nº 16; 19-23).
- Guilhermino, L., Diamantino, T., Silva, M.C. & A. M. V. M. Soares, A.M.V.M. 2000. Acute Toxicity Test with *Daphnia magna*: An Alternative to Mammals in the Prescreening of Chemical Toxicity? *Ecotoxicology and Environmental Safety* 46: 357-362.
- Karntanut, W. & Pascoe, D. 2002. The toxicity of copper, cadmium and zinc to four different Hydra (Cnidaria: Hydrozoa). *Chemosphere* 47: 1059 -1064.
- Lamparelli, Marta. 2004. Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento. Tesis de Doctorado, Universidad de San Pablo. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-20032006-075813/publico/TeseLamparelli2004.pdf>
- Mansour, S.A., Abdel-Hamid, A.A., Ibrahim, A.W., Mahmoud, N.H. & Moselhy, W.A. 2015. Toxicity of some pesticide, heavy metals and their mixtures to *Vibrio fischeri* Bacteria and *Daphnia magna*: Comparative study. *Journal of Biology and life Science* 6(2) 221-240.
- Mariani, L., De Pascale, D., Faraponova, O., Tornambé, A., Sarni, A., Giuliani, S., Ruggiero, G., Onorati, F. & Magaletti, E. 2006. The Use of a Test Battery in Marine Ecotoxicology: The Acute Toxicity of Sodium Dodecyl Sulfate. *Environmental Toxicology* 21(4) 373 – 379.
- MTA-Mesa Técnica del Agua. Documento N° 1. Informe de Asesoría. Establecimiento de niveles guía de indicadores de estado trófico en cuerpos de agua superficiales. Marzo de 2017
- Pardos, M., Benninghoff, Ch., Guéguena, C., Richard Thomasa, R., Dobrowolskib, J. & Dominik, J. 1999. Acute toxicity assessment of Polish wastewater with a microplate-based *Hydra attenuata* assay: a comparison with the Microtox test. *The Science of the Total Environment* 243/244: 141-148
- Pica-Granados, Y., Trujillo, G.D. & Hernández, H.S. 2000. Bioassay standardization for water quality monitoring in Mexico. *Environmental Toxicology* 15(4): 322-330.
- Ronco, A., Sobrero, C., Grassi, V., Kaminski, L., Massolo, L. & Mina, L. 2000. WaterTox bioassay intercalibration network: results from Argentina. *Environmental Toxicology* 15(4): 287-296.



Teodorovic, I., Planojevic, I., Knezevic, P., Radak, S & Nemet, I. 2009. Sensitivity of bacterial vs. *Daphnia magna* toxicity to metals. Cent. Eur. J. Biol. 4(4) 482-492.

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.

UNE-EN ISO11348-3. Calidad de agua - Determinación del efecto inhibitor de muestras de agua sobre la luminiscencia de *Vibrio fischeri* (Ensayo de bacterias luminiscentes). Parte: Método utilizando bacterias liofilizadas (ISO 11348-3: 2007).



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 acá está elaborado solo en base a la concentración de fósforo total, por lo que muestra su expresión más conservadora.

El fósforo es un nutriente relevante en la determinación del estado trófico. Por su menor proporción en el ambiente es el limitante del crecimiento de plantas, algas y cianobacterias. Permite determinar el estado trófico de un cuerpo de agua de forma sencilla y de fácil lectura a partir de un único parámetro: el fósforo total.

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.dinama.gub.uy/indicadores_ambientales/ficha/oan-indice-estado-trofico/



ANEXO 2 - Adaptaciones de los protocolos de bioensayos

1- Adaptaciones del Protocolo para el Bioensayo de *Hydra attenuata*.

El ensayo de *Hydra attenuata* fue implementado con adaptaciones respecto de la propuesta original de Trottier *et al.* (1997), ellas se indican en la tabla A1.

El medio de cultivo es la adaptación que se aparta más de la pauta original, siendo un medio no estándar. Sin embargo durante los ya casi 20 años de aplicación los resultados son satisfactorios, ausencia de mortalidad en los controles y buena sensibilidad.

Se realiza el ensayo en placas de 6 pozos (10mL por pozo) utilizando 15 hydras por tratamiento en lugar de 9, dicha adaptación le da mayor potencia y precisión a los resultados de las estimaciones estadísticas de la CL50%.

La propuesta original de Trottier *et al.* (1997) incluye mediciones de efecto a 24, 48, 72 y 96 horas. Desde que se implementó el ensayo en nuestro Laboratorio se optó por realizar una única medida a las 48 horas. Esto permite maximizar y optimizar la ejecución de análisis dadas las capacidades logísticas actuales.

Características originales	Adaptaciones
Medio de cultivo: Cloruro de calcio (2,94g), buffer TES (2,2g), EDTA (0,08g), agua destilada (20L)	Medio de cultivo: agua dura comercial
Microplacas de cultivo celular de 12 pozos (4mL)	Ídem o microplacas de 6 pozos (10mL)
Tratamiento: 3 réplicas en pozos de 4mL con 3 hydras por pozo	Tratamiento: ídem o 3 réplicas en pozos de 10mL con 5 hydras por pozo
Transferencia de hydras utilizando cajas de Petri	Transferencia de hydras absorbiendo medio excedente
Ensayo agudo de 96 horas, estático y sin alimentación durante el mismo	Ensayo agudo de 48 horas, estático y sin alimentación durante el mismo

Tabla A1. Se comparan las características originales del ensayo de *Hydra attenuata* (Trottier *et al.*, 1997) con las adaptaciones realizadas en el Laboratorio de Bioensayos.

2- Adaptaciones del Protocolo de Bioensayo de *Daphnia magna*.

Los protocolos originales tomados como referencia son UNE-EN ISO6341/1996 y UNE-EN ISO6341/2012 (Tabla A2). A partir de la norma ISO 6341/2012 el agua dura natural no contaminada puede ser utilizada como medio de cultivo y de dilución para el ensayo por lo cual no se considera actualmente una adaptación.

Para la alimentación se complementa las algas unicelulares con levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) con una concentración de 5g/L, dicha adaptación permite compensar las deficiencias de vitaminas y de micronutrientes.

Hasta diciembre de 2019 se consideró como medida de efecto la muerte por ausencia de peristaltismos internos bajo lupa binocular, siguiendo la técnica descrita en Castillo-Morales (2004). A partir de enero de 2020 se adoptó la pauta de la norma ISO6341/2012 y se considera efecto la inhibición del movimiento por falta de desplazamiento.

Cada tratamiento se realiza con 3 réplicas en lugar de 4, bajo las mismas condiciones de volumen



y densidad de individuos.

La reducción en el número de réplicas permite tener un mayor número de individuos para el procesamiento de más muestras y mantener una sensibilidad y potencia estadística aceptable.

Ésta adaptación es la más reciente (julio de 2017) dado que con anterioridad sólo se realizaban 2 réplicas.

El protocolo ISO 6341/2012 recomienda aireación en el caso que la muestra presente una saturación de oxígeno menor a 40%, dichos niveles son raros en las muestras que se analizan habitualmente en nuestro Laboratorio. Se verifica que se alcanza niveles mayores de oxígeno simplemente agitando la muestra previo al sembrado del ensayo.

La corrección de pH no es recomendada por la ISO 6341/2012 si bien puede ser aplicada en el caso de variaciones durante el ensayo.

Nuestro laboratorio ha optado por no realizar dicha corrección para evaluar el efecto global de la matriz lo cual incluye el efecto del pH en los organismos de ensayo.

Características originales	Adaptaciones
Alimento: algas unicelulares y suplementación con vitaminas y selenito	Alimento: algas unicelulares y levadura de cerveza
Tratamiento: 4 réplicas en recipientes de 10mL con 5 daphnias cada uno	Tratamiento: 3 réplicas en microplaca de 10mL por pozo con 5 daphnias cada uno
La medida de efecto es la inmovilidad	Ídem actualmente, pero fue la muerte hasta 2019
Aireación en caso de bajo nivel de oxígeno (< 40%)	Sin aireación
Puede realizarse corrección de pH	Sin corrección de pH

Tabla A2. Se comparan las características del ensayo de *Daphnia magna* (ISO 6341/2012) con las adaptaciones realizadas en el Laboratorio de Bioensayos.

3- Sensibilidad de los bioensayos de *Vibrio fischeri*, *Hydra attenuata* y *Daphnia magna*.

Existe suficiente evidencia que muestra una mayor sensibilidad (menor valor de CL50% ó CE50%) en la exposición a metales para *D. magna* respecto de *V. fischeri* (Teodorovic *et al.*, 2009; Mansour *et al.*, 2015), ver además Tabla A3.

Sin embargo, con los compuestos orgánicos la comparación de sensibilidad *D. magna* vs. *V. fischeri* depende de la naturaleza química, por ejemplo dentro de los pesticidas (Chlorpyrifos-Methyl, Profenofos y Triazophos) resulta *D. magna* más sensible (Mansour *et al.*, 2015) y *V. fischeri* es más sensible ante detergentes como el dodecilsulfato sódico (Mariani *et al.*, 2015).

El ensayo con *H. attenuata* es generalmente más sensible en muestras ambientales (agua de arroyos o lagos) donde se reconoce contaminación producto de la degradación de la materia orgánica (Espínola *et al.*, 2005; Cacho *et al.*, 2016) y niveles altos de amonio (Pardos *et al.*, 1999).



Familia Química	Sustancia (mg/L)	<i>Vibrio fischeri</i>	<i>Daphnia magna</i>	<i>Hydra sp.</i>
Metales	Pb	5,8 ^b ; 36 ^c	0,4-208 ^a	****
	Cr ⁺⁶	18,7 ^c	0,8-1,4 ^a ; 0,15-0,17 ^d	20,55 ^d ; 0,15 ^e
	Zn ⁺²	1,4-2,7 ^b ; 2,2-4,6 ^c	1,8 ^a	13,0 ^d ; 25-35 ^d
	Cd ⁺²	4,5 ^b ; 52,5 ^c	0,2-0,3 ^a	0,38-1,4 ^d
	Cu	2,8 ^b	0,0002 ^a	0,046-0,12 ^d
Orgánicas	Fenol	13-26 ^f	9,1 ^a	****
	DSS ^{&}	1,4-3,1 ^b	45,9 ^a ; 19,1 ^d	****
	Anilina	488 ^b	0,9 ^a ; 0,16 ^d	****

Tabla A3. Valores de CL50% ó CE50% en mg/L del metal activo o del compuesto orgánico. a) ensayo de 24 horas; b) ensayo de 15 minutos; c) ensayo de 30 minutos; d) ensayo 48h; e) ensayo 96h; f) ensayo de 5 minutos; &) Dodecilsulfato sódico.

DATOS DE CAMPO

Fecha	Sitio	Temp (°C)	Secchi (cm)	pH	Salinidad	Conductiv. (µS/cm)	OD (mg/L)	OD (%sat)	NH4 (mg/L N-NH4)	PT (mgP/L)	NT (mgN/L)	DBO5 (mg/L)	SST (mg/L)	Turb (NTU)	Coliformes fec. (ufc/100mL)	Clorofila a (µg/L)	Feofitina (µg/L)	NH3 (mg/L)
21/08/2019	SLU1 Sup	10,9	20	7,4	0,1	221,1	8,4	76,1	<0,2	0,453	2,05	3	<25	60	1500			0,0009
21/08/2019	SLU1 Fondo	10,9		7,3	0,1	224,8	8,4	76,1		0,442	1,6		<25	60	1600			
21/08/2019	SLU2 Sup	10,8	30	7,6	0,1	219,2	8,7	79,1	<0,2	0,429	2,47	4	<25	55	1100	0,5	2,5	0,0014
21/08/2019	SLU2 Fondo	10,8		7,7	0,1	219,0	8,7	76,8		0,435	1,89		49	55	2600			
21/08/2019	SLU2b Sup	10,6	20	7,6	0,1	219,3	8,4	75,4	<0,2	0,366	2,34	3	<25	50	1100	1,1	0,1	0,0016
21/08/2019	SLU2b Fondo	10,6		7,4	0,1	219,6	8,4	75,1		0,401	2,2		<25	55	1400			
21/08/2019	SLU3 Sup	10,6	20	7,5	0,1	232,4	9,8	87,9	<0,2	0,355	1,57	>3	<25	45	760	0,5	0,6	0,0013
21/08/2019	SLU3 Fondo	10,5		7,5	0,1	233,5	9,3	83,3		0,34	1,83		<25	45	920			
21/08/2019	SLU4 Sup	9,7	20	7,5	0,1	394,2	7,5	66,4	<0,2	0,405	2,32	4	28	70	1400	1,6	0,3	0,0011
21/08/2019	SLU4 Fondo	9,7		7,4	0,1	395,1	7,7	67,9		0,407	2,02		31	70	1300			
21/08/2019	SLU5 Sup	10,4	30	7,5	0,1	221,3	10,1	91,5	<0,2	0,304	1,59	>3	<25	38	570			0,0013
21/08/2019	SLU5 Fondo	10,2		7,5	0,1	222,1	9,6	86,5		0,309	1,38		<25	39	680			
21/08/2019	SLU6 Sup	10,4	40	7,5	0,1	232,6	9,4	83,9	<0,2	0,311	1,64	3	<25	40	700	0,0	0,4	0,0013
21/08/2019	SLU6 Fondo	10,4		7,5	0,1	244,7	9,3	83,3		0,289	1,3		<25	45	940			
21/08/2019	SLU7 Sup	10,2	30	7,6	0,1	296,1	9,2	82,3	<0,2	0,287	2,02	>3	<25	37	700			0,0014
21/08/2019	SLU7 Fondo	10,2		7,6	0,1	349,2	9,5	85,0		0,278	1,44		<25	38	500			
21/08/2019	C1 Sup	10,7	30	7,7	0,1	284,0	7,1	63,9	<0,2	0,732	2,53	5	46	75	2000	4,8	1,2	0,0019
21/08/2019	C1 Fondo	10,4		7,7	0,1	320,1	6,5	58,6		0,747	2,72		42	70	1700			
21/08/2019	C2 Sup	10,2	20	7,7	0,3	568,4	6,5	57,9	<0,2	0,596	1,35	>3	25	70	2200	4,8	1,6	0,0018
21/08/2019	C2 Fondo	10,2		7,5	0,3	568,2	6,2	56,2		0,581	1,32		34	80	2500			
31/10/2019	SLU1 Sup	19,7	35	7,6	0,1	234,0	7,8	85,0	0,34	0,249	1,52	>3	<25	25	30			0,0047
31/10/2019	SLU1 Fondo	19,6		6,9	0,1	234,0	7,5	81,6		0,234	1,71		<25	28	20			
31/10/2019	SLU2 Sup	19,6	30	7,6	0,1	235,0	8,1	88,0	<0,2	0,255	1,87	>3	<25	25	50			0,0028
31/10/2019	SLU2 Fondo	19,6		7,2	0,1	235,0	7,4	80,7		0,258	1,74		<25	29	20			
31/10/2019	SLU2b Sup	19,6	35	7,6	0,1	233,0	8,1	87,9	<0,2	0,236	1,48	>3	<25	25	31	1,1	0,1	0,0030
31/10/2019	SLU2b Fondo	19,5		7,0	0,1	233,0	7,6	83,0		0,253	1,4		<25	26	20			
31/10/2019	SLU3 Sup	19,5	35	7,6	0,2	335,0	7,8	85,2	<0,2	0,242	1,35	>3	<25	27	40			0,0027
31/10/2019	SLU3 Fondo	19,5		7,0	0,1	298,0	7,5	81,7		0,251	1,36		<25	28	40			
31/10/2019	SLU4 Sup	19,2	25	7,5	0,2	366,0	7,0	75,9	<0,2	0,319	1,6	>3	<25	39	130	8,5	2,3	0,0024
31/10/2019	SLU4 Fondo	19		7,0	0,2	358,0	7,1	78,0		0,319	1,59		<25	39	180			
31/10/2019	SLU5 Sup	19,4	30	7,5	0,3	613,0	7,7	83,8	<0,2	0,245	1,61	>3	<25	25	40	1,6		0,0024
31/10/2019	SLU5 Fondo	19,1		7,0	0,4	724,0	7,8	84,8		0,231	1,15		<25	27	30			
31/10/2019	SLU6 Sup	18,8	30	7,5	0,6	1129,0	8,2	88,2	<0,2	0,212	1,13	>3	<25	25	30	0,5	1,0	0,0024
31/10/2019	SLU6 Fondo	18,8		6,9	0,6	1168,0	8,2	88,8		0,207	1,25		<25	29	50			
31/10/2019	SLU7 Sup	18,6	40	7,4	1,1	2024,0	9,5	101,6	0,21	0,2	1,4	>3	<25	25	50	1,1	0,4	0,0017
31/10/2019	SLU7 Fondo	18,5		6,7	1,1	2066,0	8,8	94,5		0,189	1,47		<25	24	40			
31/10/2019	C1 Sup	20,3	25	7,9	0,5	970,0	4,7	52,6	1,17	1,236	7,22	10	30	28	280	49,1	33,9	0,0398
31/10/2019	C1 Fondo	20		7,6	0,5	979,0	3,6	40,1		1,227	10,63		<25	35	250			
31/10/2019	C2 Sup	19,6	25	7,6	0,1	289,0	7,4	80,6	<0,2	0,326	2,57	3	<25	28	150	6,9	6,9	0,0029
31/10/2019	C2 Fondo	19,4		7,2	0,1	292,0	6,7	73,0		0,33	1,74		<25	30	210			

Fecha	Sitio	Temp (°C)	Secchi (cm)	pH	Salinidad	Conductiv. (µS/cm)	OD (mg/L)	OD (%sat)	NH4 (mg/L N-NH4)	PT (mgP/L)	NT (mgN/L)	DBO5 (mg/L)	SST (mg/L)	Turb (NTU)	Coliformes fec. (ufc/100mL)	Clorofila a (µg/L)	Feofitina (µg/L)	NH3 (mg/L)
08/21/2019	SLU1 Sup	10.9	20	7.4	0.1	221.1	8.4	76.1	<0,2	0.453	2.05	3	<25	60	1500			0.0009
08/21/2019	SLU1 Fondo	10.9		7.3	0.1	224.8	8.4	76.1		0.442	1.6		<25	60	1600			
08/21/2019	SLU2 Sup	10.8	30	7.6	0.1	219.2	8.7	79.1	<0,2	0.429	2.47	4	<25	55	1100	0.5	2.5	0.0014
08/21/2019	SLU2 Fondo	10.8		7.7	0.1	219.0	8.7	76.8		0.435	1.89		49	55	2600			
08/21/2019	SLU2b Sup	10.6	20	7.6	0.1	219.3	8.4	75.4	<0,2	0.366	2.34	3	<25	50	1100	1.1	0.1	0.0016
08/21/2019	SLU2b Fondo	10.6		7.4	0.1	219.6	8.4	75.1		0.401	2.2		<25	55	1400			
08/21/2019	SLU3 Sup	10.6	20	7.5	0.1	232.4	9.8	87.9	<0,2	0.355	1.57	>3	<25	45	760	0.5	0.6	0.0013
08/21/2019	SLU3 Fondo	10.5		7.5	0.1	233.5	9.3	83.3		0.34	1.83		<25	45	920			
08/21/2019	SLU4 Sup	9.7	20	7.5	0.1	394.2	7.5	66.4	<0,2	0.405	2.32	4	28	70	1400	1.6	0.3	0.0011
08/21/2019	SLU4 Fondo	9.7		7.4	0.1	395.1	7.7	67.9		0.407	2.02		31	70	1300			
08/21/2019	SLU5 Sup	10.4	30	7.5	0.1	221.3	10.1	91.5	<0,2	0.304	1.59	>3	<25	38	570			0.0013
08/21/2019	SLU5 Fondo	10.2		7.5	0.1	222.1	9.6	86.5		0.309	1.38		<25	39	680			
08/21/2019	SLU6 Sup	10.4	40	7.5	0.1	232.6	9.4	83.9	<0,2	0.311	1.64	3	<25	40	700	0.0	0.4	0.0013
08/21/2019	SLU6 Fondo	10.4		7.5	0.1	244.7	9.3	83.3		0.289	1.3		<25	45	940			
08/21/2019	SLU7 Sup	10.2	30	7.6	0.1	296.1	9.2	82.3	<0,2	0.287	2.02	>3	<25	37	700			0.0014
08/21/2019	SLU7 Fondo	10.2		7.6	0.1	349.2	9.5	85.0		0.278	1.44		<25	38	500			
08/21/2019	C1 Sup	10.7	30	7.7	0.1	284.0	7.1	63.9	<0,2	0.732	2.53	5	46	75	2000	4.8	1.2	0.0019
08/21/2019	C1 Fondo	10.4		7.7	0.1	320.1	6.5	58.6		0.747	2.72		42	70	1700			
08/21/2019	C2 Sup	10.2	20	7.7	0.3	568.4	6.5	57.9	<0,2	0.596	1.35	>3	25	70	2200	4.8	1.6	0.0018
08/21/2019	C2 Fondo	10.2		7.5	0.3	568.2	6.2	56.2		0.581	1.32		34	80	2500			
10/31/2019	SLU1 Sup	19.7	35	7.6	0.1	234.0	7.8	85.0	0.34	0.249	1.52	>3	<25	25	30			0.0047
10/31/2019	SLU1 Fondo	19.6		6.9	0.1	234.0	7.5	81.6		0.234	1.71		<25	28	20			
10/31/2019	SLU2 Sup	19.6	30	7.6	0.1	235.0	8.1	88.0	<0,2	0.255	1.87	>3	<25	25	50			0.0028
10/31/2019	SLU2 Fondo	19.6		7.2	0.1	235.0	7.4	80.7		0.258	1.74		<25	29	20			
10/31/2019	SLU2b Sup	19.6	35	7.6	0.1	233.0	8.1	87.9	<0,2	0.236	1.48	>3	<25	25	31	1.1	0.1	0.0030
10/31/2019	SLU2b Fondo	19.5		7.0	0.1	233.0	7.6	83.0		0.253	1.4		<25	26	20			
10/31/2019	SLU3 Sup	19.5	35	7.6	0.2	335.0	7.8	85.2	<0,2	0.242	1.35	>3	<25	27	40			0.0027
10/31/2019	SLU3 Fondo	19.5		7.0	0.1	298.0	7.5	81.7		0.251	1.36		<25	28	40			
10/31/2019	SLU4 Sup	19.2	25	7.5	0.2	366.0	7.0	75.9	<0,2	0.319	1.6	>3	<25	39	130	8.5	2.3	0.0024
10/31/2019	SLU4 Fondo	19		7.0	0.2	358.0	7.1	78.0		0.319	1.59		<25	39	180			
10/31/2019	SLU5 Sup	19.4	30	7.5	0.3	613.0	7.7	83.8	<0,2	0.245	1.61	>3	<25	25	40	1.6		0.0024
10/31/2019	SLU5 Fondo	19.1		7.0	0.4	724.0	7.8	84.8		0.231	1.15		<25	27	30			
10/31/2019	SLU6 Sup	18.8	30	7.5	0.6	1129.0	8.2	88.2	<0,2	0.212	1.13	>3	<25	25	30	0.5	1.0	0.0024
10/31/2019	SLU6 Fondo	18.8		6.9	0.6	1168.0	8.2	88.8		0.207	1.25		<25	29	50			
10/31/2019	SLU7 Sup	18.6	40	7.4	1.1	2024.0	9.5	101.6	0.21	0.2	1.4	>3	<25	25	50	1.1	0.4	0.0017
10/31/2019	SLU7 Fondo	18.5		6.7	1.1	2066.0	8.8	94.5		0.189	1.47		<25	24	40			
10/31/2019	C1 Sup	20.3	25	7.9	0.5	970.0	4.7	52.6	1.17	1.236	7.22	10	30	28	280	49.1	33.9	0.0398
10/31/2019	C1 Fondo	20		7.6	0.5	979.0	3.6	40.1		1.227	10.63		<25	35	250			
10/31/2019	C2 Sup	19.6	25	7.6	0.1	289.0	7.4	80.6	<0,2	0.326	2.57	3	<25	28	150	6.9	6.9	0.0029
10/31/2019	C2 Fondo	19.4		7.2	0.1	292.0	6.7	73.0		0.33	1.74		<25	30	210			