



MVOTMA

Ministerio de Vivienda
Ordenamiento Territorial
y Medio Ambiente

JUL
2015

Evolución de la calidad en la cuenca del Santa Lucía 10 años de información

Montevideo, Julio 2015



Director Nacional de Medio Ambiente

Ing. Qco. Alejandro Nario

División Calidad Ambiental

Ing. Luis Reolón

Departamento Seguimiento de Componentes del Ambiente

Ing. Qca. Magdalena Hill

Departamento Evaluación Ambiental Integrada

Lic. Lizet De León

Redacción del Informe:

Lizet De León
Magdalena Hill

Responsable del Programa de Monitoreo:

Alejandro Cendón

Técnicos participantes:

Gabriel Yorda, Gerardo Balero, Javier Martínez, Guillermo Cervetto, Luis Borda, Malvina Masdeu

Análisis de Laboratorio: Dpto. Laboratorio Ambiental DINAMA

Jefa Laboratorio: Natalia Barboza

Participan Intendencias de:

Canelones, Lavalleja, Florida y San José

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVO DEL INFORME	4
DISEÑO DEL PROGRAMA DE MONITOREO.....	5
ÁREA DE ESTUDIO	5
METODOLOGÍA	7
RESULTADOS.....	15
RÍO SANTA LUCÍA.....	16
Parámetros físico-químicos del agua.....	17
Nutrientes	23
Parámetros microbiológicos del agua.....	29
Síntesis del río Santa Lucía	30
SANTA LUCÍA CHICO	31
Parámetros físico-químicos del agua.....	32
Nutrientes	38
Parámetros microbiológicos del agua.....	43
EMBALSE PASO SEVERINO.....	44
Parámetros físico-químicos del agua.....	44
Nutrientes	51
Parámetros microbiológicos del agua.....	55
SINTESIS de la cuenca del río Santa Lucía Chico	57
RIO SAN JOSÉ	57
Parámetros físico-químicos del agua.....	58
Parámetros microbiológicos del agua.....	68
Síntesis Río San José.....	69
ARROYOS CANELÓN GRANDE Y CANELÓN CHICO.....	70
Parámetros físico-químicos	71
Nutrientes	77
Parámetros microbiológicos	81
EMBALSE CANELÓN GRANDE	82
Parámetros físico-químicos	82
Nutrientes	87

Parámetros microbiológicos	91
Síntesis subcuenca Arroyo Canelón Grande y Canelón Chico	92
ARROYO COLORADO	93
Parámetros físico-químicos del agua	94
Nutrientes	99
Parámetros microbiológicos del agua	103
Síntesis de la subcuenca del Arroyo Colorado	104
COMPUESTOS ORGANICOS	105
Atrazina	106
Glifosato y AMPA	106
Endosulfán	106
AOX.....	106
Síntesis de agroquímicos y AOX	106
ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA	107
Aplicación del WQI.....	108
Aplicación del IQA.....	110
Aplicación del ICA-SL	112
Aplicación del IET	114
SÍNTESIS.....	120
BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA-	121

Calidad de Agua de la Cuenca del Río Santa Lucía.

INTRODUCCIÓN

El sistema "cuenca del Río Santa Lucía" es un ambiente complejo integrado por las subcuencas de los ríos Santa Lucía, Santa Lucía Chico, San José y sus afluentes. Constituyen uno de los sistemas fluviales más importantes del país por sus características ecológicas, su ubicación y su función. Entre otras características, es la fuente de agua potable para casi la mitad de la población nacional, incluyendo al área metropolitana de Montevideo y ciudades próximas, además de ser una fuente de agua de riego para la zona de actividad agroindustrial más intensa del país. El sistema del Río Santa Lucía se ve afectado por una serie de factores que constituyen "entradas" que impactan al sistema y determinan procesos de transformación que ocurren tanto en el territorio como en los cursos de agua. Las "salidas" constituyen los efectos visibles resultantes del proceso anterior y que a su vez, también mantienen el ciclo que determina las características de la cuenca del Río Santa Lucía.

Debido a la importancia de este sistema, el MVOTMA ha realizado esfuerzos por determinar el estado ambiental de la cuenca hidrográfica, evaluando los impactos a los que está sometido y tratando de estimar las respuestas que el sistema puede dar en diferentes escenarios. La complejidad de este sistema, asociado a las variaciones propias del ambiente (clima anual, ciclos climáticos, cambios en los sistemas productivos), hace que la evaluación de la calidad del agua, así como la estimación de las respuestas a diferentes impactos, constituya un trabajo de largo plazo y de múltiples instituciones.

Desde 2004 y hasta 2010, la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) ha colaborado con DINAMA mediante el desarrollo de dos grandes programas de evaluación integral de la cuenca del Río Santa Lucía (RSL). El primero de ellos (2004-2007)¹, realizando el diagnóstico de las condiciones logísticas, administrativas y técnicas para el desarrollo de un programa de monitoreo, así como realizando una primera evaluación de la calidad del agua mediante el estudio de los principales ríos. En base a los primeros resultados alcanzados, surgió el segundo programa (2008-2011²), que mostró resultados muy importantes referidos a los aportes puntuales y difusos de contaminantes de diferente tipo que afectan la calidad del agua del sistema RSL. De este programa surgió en 2011 un nuevo diseño de monitoreo (o rediseño) que se lleva adelante desde entonces y que se ha mantenido hasta la fecha, lo que permite evaluar en el largo plazo cual es la calidad del agua en la cuenca.

¹ JICA- MVOTMA, 2007 "PROYECTO SOBRE FORTALECIMIENTO DE LA CAPACIDAD DE GESTIÓN DE CALIDAD DE AGUA EN MONTEVIDEO Y ÁREA METROPOLITANA"

² <http://mvotma.gub.uy/calidad-del-agua.html>

A partir de junio de 2013 el MVOTMA pone en práctica en la cuenca hidrográfica del Río Santa Lucía un “Plan de acción para la protección de la calidad ambiental y la disponibilidad de las fuentes de agua potable”. Dicho Plan define dos zonas en la cuenca (ilustración 1) que ordenan las prioridades para su gestión, a efectos de adoptar las medidas tendientes a alcanzar los objetivos de calidad de aguas que se establecen para cada una:

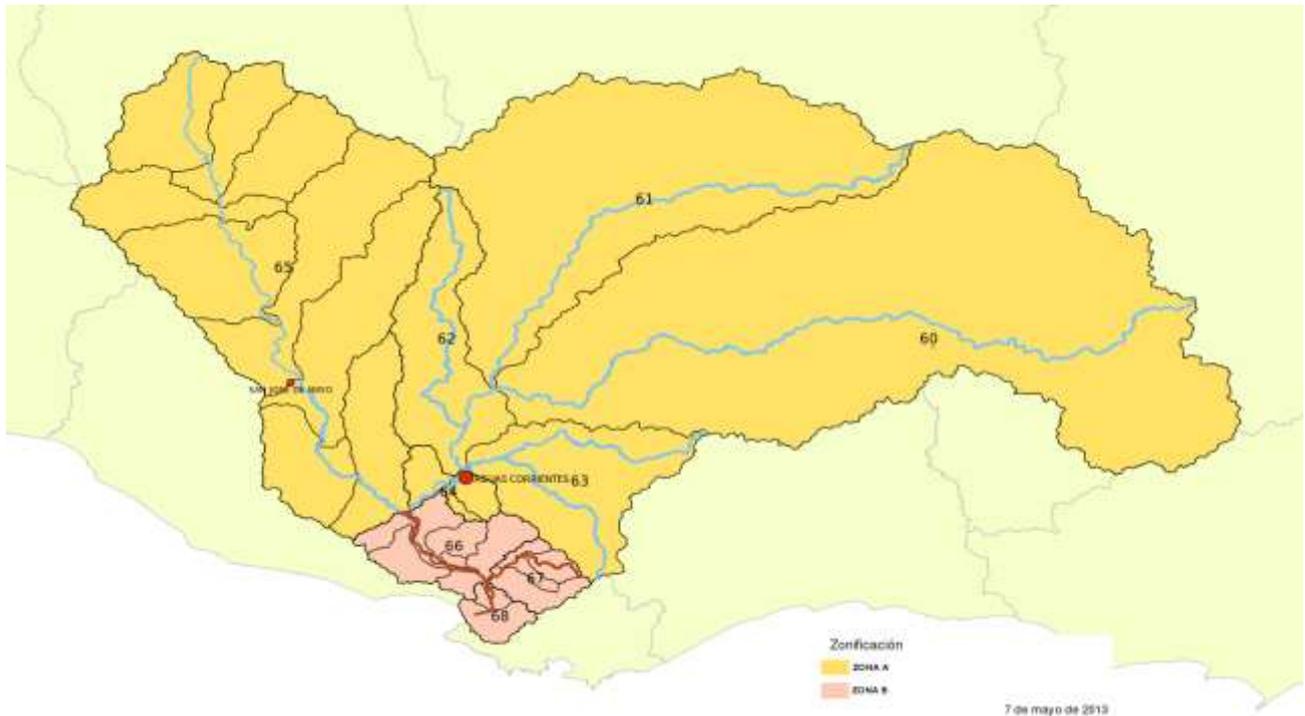


Ilustración 1. Zonas A (amarillo) y B (rosa) definidas para la gestión de la cuenca del sistema Río Santa Lucía.

ZONA (A): Objetivo de uso preponderante “Fuente de Agua Potable”.

ZONA (B): Objetivo de uso preponderante “Conservación de la flora y fauna hídrica”.

Esta zonificación será también tenida en cuenta en este informe en la evaluación de la calidad de agua de la cuenca.

OBJETIVO DEL INFORME

El objetivo de este trabajo es analizar y realizar una evaluación global de la calidad del agua del sistema cuenca del Santa Lucía, ordenada por subcuencas de orden 2, a través de los resultados de los programas de monitoreo de agua que lleva adelante la División Calidad Ambiental de DINAMA desde 2005 y hasta 2014, disponiéndolos para su divulgación.

DISEÑO DEL PROGRAMA DE MONITOREO

El programa de monitoreo actual surge en 2011 como mejora del primer programa de monitoreo realizado en la cuenca entre los años 2004 y 2010. El mismo se basa en las siguientes premisas de trabajo:

- Considerar como base de la información lo aprendido en los períodos previos de la Cooperación JICA-DINAMA.
- Dar continuidad a los datos obtenidos desde el programa inicial.
- Estructurar el nuevo programa en base a subcuencas hidrográficas.
- Involucrar a las Intendencias con mayor grado de compromiso.
- Estructurar el monitoreo en Niveles de acuerdo al objetivo de estudio.

Los niveles a los que refiere el rediseño, tienen relación con el tipo de información que se pretende obtener de los diferentes tipos de estaciones. En la Tabla 1 se detallan los niveles de monitoreo que se vienen ejecutando y los objetivos principales de cada uno.

Tabla 1. Niveles de Monitoreo de acuerdo con el objetivo del programa de vigilancia (JICA-DINAMA 2010, N°4)

Nivel 1 – Estaciones ubicadas a lo largo de los 4 cauces principales, para determinar la calidad de los ríos principales.
Nivel 2 – Estaciones ubicadas dentro o a la salida de subcuencas que se sabe reciben altas cargas hidráulicas o contaminantes
Nivel 3 – Estaciones ubicadas en los embalses Canelón Grande y Paso Severino
Nivel 4 – Estaciones ubicadas aguas arriba y aguas abajo de los puntos de interés relativos a la contaminación.

ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del Río Santa Lucía tiene una extensión de 13310 km² y es la tercera en importancia territorial del país. Está formada por los valles correspondientes a los ríos San José al Oeste, Santa Lucía Chico en el centro, Santa Lucía desde el Este y subcuencas menores correspondientes a los Arroyos Canelones (Grande y Chico) y Colorado (Figura 1).

De acuerdo con la organización del Programa de Monitoreo en niveles de muestreo, las estaciones fueron situadas en puntos estratégicos de las subcuencas, algunos de los cuales coinciden con los programas anteriores. En la Tabla 2 se indican las estaciones de muestreo y la subcuenca donde se

encuentran. Para facilitar la visualización, al inicio de los resultados de cada subcuenca, se presenta un esquema del curso de agua con sus correspondientes sitios de muestreo.

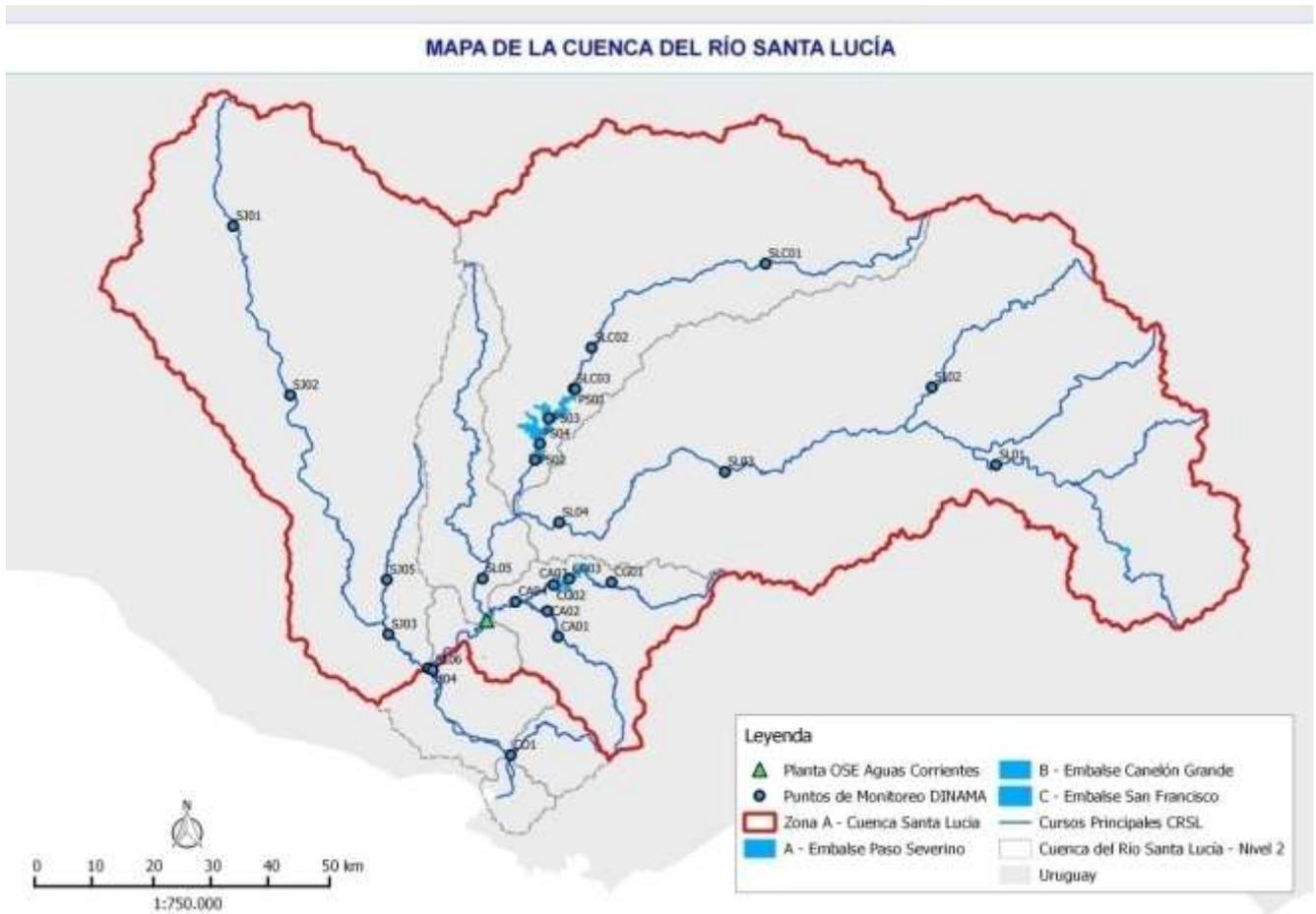


Figura 1. Cuenca del Río Santa Lucía diferenciando en las subcuencas que la componen y la ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad de agua consideradas para este informe.

Una descripción más detallada de las características de la cuenca hidrográfica del Río Santa Lucía, se puede consultar en Arocena y col. (2008)³ e Inda & Indarte (2009); sobre antecedentes de calidad de agua hay información en JICA-Dinama (2011)⁴ y Dinama, (2011)⁵, así como sobre el estado general de la cuenca y las medidas de protección para el cuidado de la calidad del agua (MVOTMA, 2015)⁶, se encuentra información disponible en la página web del MVOTMA.

³ DINAMA-F.Ciencias, 2008 (<http://limno.fcien.edu.uy>).

⁴

<http://mvotma.gub.uy/images/informes%20calidad%20ambiental/JICA%20CALIDAD%20DE%20AGUA%2001.pdf>

⁵ <http://www.mvotma.gub.uy/calidad-del-agua.html>

⁶ http://www.mvotma.gub.uy/images/estado_sl.pdf

METODOLOGÍA

Estaciones

En cada subcuenca se definieron estaciones de monitoreo que corresponden al Nivel 1; mientras que en algunas también se incluyeron estaciones de otros niveles según las características de la misma y el objetivo de estudio. En la Tabla 2 se indican los niveles de monitoreo realizados en cada subcuenca y la nomenclatura de las estaciones seleccionadas. En cada estación, las muestras de agua se tomaron en la superficie de la columna de agua.

Tabla 2. Nomenclatura y distribución de las estaciones de muestreo de acuerdo a la subcuenca donde se ubican y al Nivel de monitoreo

SUBCUENCA	Río Santa Lucía	Santa Lucía Chico	San José	Canelones	Colorado
Estaciones de Nivel 1	SL01	SLC01	SJ01	CA01	
	SL02	SLC02	SJ02	CA02	
	SL03	SLC03	SJ03	CA03=CG02	
	SL04	SLC04	SJ04	CA04	
	SL05				
	SL06				
Estaciones de Nivel 2			SJ05		CO01
Estaciones de Nivel 3		Paso Severino PS02 PS03 PS04		Canelón Grande CG01 CG03 CG02	

La ubicación geográfica de estos puntos se describe en la siguiente tabla:

CODIGO	LATITUD	LONGITUD
CA01	-34.538375	-56.261767
CA02	-34.498964	-56.281847
CA03	-34.4583	-56.2704
CA04	-34.484739	-56.341036
SJ01	-33.905422	-56.865969
SJ02	-34.166736	-56.759994
SJ03	-34.536294	-56.576414
SJ04	-34.588411	-56.502325
SL01	-34.2652	-55.4534
SL02	-34.146536	-55.574033
SL03	-34.281214	-55.954939
SL04	-34.361583	-56.260689

SL05	-34.449375	-56.402219
SL06	-34.590906	-56.493958
SLC01	-33.958594	-55.884044
SLC02	-34.091017	-56.203592
SLC03	-34.1547	-56.2358
CO1	-34.721983	-56.348
SJ05	-34.451769	-56.579936
PS01	-34.155092	-56.232878
PS02	-34.265367	-56.3067
PS03	-34.200756	-56.281608
PS04	-34.240139	-56.297608
CG01	-34.453678	-56.163114
CG02	-34.458578	-56.270375
CG03	-34.448867	-56.241611

Frecuencia

El monitoreo está diseñado para realizarse con una frecuencia bimestral, a fin de obtener seis datos al año. Sin embargo esta frecuencia no siempre pudo ser cumplida, por razones propias del monitoreo o razones ajenas al mismo.

Variables

Las variables de calidad de agua incluidas en este programa se presentan en la Tabla 3; fueron definidas en función de los resultados alcanzados en los programas previos desarrollados por DINAMA-JICA, en el que participaron instituciones nacionales y departamentales. Algunas están incluidas en el Decreto 253/79 y modificativos (Tabla 4), a las que se agregaron otras, por considerar que proporcionan información relevante para los objetivos del monitoreo. En tal sentido para el nitrato (NO_2) se consideró como valor de referencia el sugerido en el GESTA⁷-Agua como objetivo de calidad (límite máximo) para aguas superficiales la concentración 0,1 mgN/l. Para el fósforo total se tuvieron en cuenta dos valores de referencia. El valor estándar que establece el Decreto (0,025 mgP/l) y un valor guía sugerido por el GESTA-Agua para sistemas fluviales que no sean afluentes de sistemas lénticos, de 0,070 mgP/l. A partir de la campaña de julio de 2013 se inició el análisis de compuestos orgánicos asociados a actividades agrícola-ganaderas, y AOX como indicador de presencia de compuestos orgánicos halogenados. Los estándares utilizados en estos compuestos se encuentran en la Tabla 5.

⁷ Grupo Estandarización Ambiental-en tema AGUA. Propuesta de modificación del Decreto 253/79. Versión setiembre 2014. Documento de trabajo de circulación interna en DINAMA.

Tabla 3. Variables de calidad de agua incluidas en el Programa de Monitoreo de la Cuenca del Río Santa Lucía. Las variables con * se monitorean desde julio 2013.

Variables <i>in situ</i>	Análisis de Laboratorio
pH	Color
OD (% & mg/L)	Turbidez
Conductividad Eléctrica	Amonio
Temperatura	Nitrato
Salinidad	Nitrito
Hora de extracción	Grasas
Altura de Regla de DINAGUA	DBO5
Cianobacterias	Fósforo Total
Materiales flotantes	Cromo VI
Nivel del agua	Clorofila
	Feofitina
	Coliformes termotolerantes
	Atrazina *
	Endosulan (alfa, beta y sulfato)*
	AOX *
	Glifosato *
	AMPA *

Variables Físico-químicas. Del total de variables que se monitorean en el Programa, para este informe se incluyen resultados de temperatura, conductividad, pH, oxígeno disuelto, DBO5 y turbidez. Estas variables aportan información general del estado del agua y no son necesariamente indicadores de contaminantes pero pueden definir el comportamiento de otras variables.

Nutrientes: La concentración de nutrientes en el agua tiene incidencia directa en la capacidad del sistema de producir materia orgánica a partir de la producción primaria que realizan los organismos fotosintetizadores. Éstos son las plantas acuáticas y las algas, principalmente. El exceso de crecimiento de estos organismos es utilizado como indicador de un estado trófico elevado, conocido como eutrofización del curso de agua. En la cuenca del Santa Lucía se han registrado eventos de crecimiento masivo de cianobacterias, las que se incluyen dentro del grupo de microalgas por sus características fisiológicas y morfológicas. Estos crecimientos conocidos como floraciones algales o

floraciones de cianobacterias, tienen la capacidad de producir metabolitos secundarios que afectan la calidad del agua porque pueden ser aromáticos y/o tóxicos para animales y personas.

Una forma de conocer el riesgo de desarrollo de floraciones algales, se mide a través de la concentración de nutrientes en el agua, disponibles para ser asimilados por los productores primarios (en este caso, las algas). Los nutrientes analizados en este trabajo son compuestos de nitrógeno (nitrito, nitrato, amonio y nitrógeno total) y de fósforo (fosfato y fósforo total). Debido a que los diseños de los programas de monitoreo fueron adaptándose a las necesidades y objetivos de cada período de estudio entre 2005 y 2014, las series de datos están interrumpidas para algunas variables.

Tabla 4. Valores estándares de los parámetros de calidad de agua para la Clase 3 de acuerdo con el Decreto 253/79 y modificativos

PARÁMETRO	ESTÁNDAR
- OLOR	No perceptible
- MATERIALES FLOTANTES Y ESPUMAS NO NATURALES	Ausentes
- COLOR NO NATURAL	Ausente
- TURBIDEZ	Máx. 50 UNT
- pH	Entre 6,5 y 8,5
- OD	Mín. 5 mg/L
- DBO ₅	Máx. 10 mg/L
- ACEITES Y GRASAS	Virtualmente ausentes
- DETERGENTES	Máx. 1 mg/L en LAS
- SUSTANCIAS FENÓLICAS	Máx. 0,2 mg/L en C ₆ H ₅ OH
- AMONIACO LIBRE	Máx. 0,02 mg/L
- NITRATOS	Máx. 10 mg/L en N
- FÓSFORO TOTAL	Máx. 0,025 mg/L en P
- COLIFORMES FECALES	No se deberá exceder el límite de 2000 CF/100 mL en ninguna de al menos 5 muestras, debiendo la media geométrica de las mismas estar por debajo de 1000 CF/100 mL
- CIANURO	Máx. 0,005 mg/L
- ARSÉNICO	Máx. 0,005 mg/L
- CADMIO	Máx. 0,001 mg/L
- COBRE	Máx. 0,2 mg/L
- CROMO TOTAL	Máx. 0,05 mg/L
- MERCURIO	Máx. 0,0002 mg/L
- NÍQUEL	Máx. 0,02 mg/L
- PLOMO	Máx. 0,03 mg/L
- ZINC	Máx. 0,03 mg/L

Variables biológicas: incluye las bacterias y clorofila a. Las bacterias medidas como concentración de coliformes termotolerantes o fecales, son indicadores de contaminación potencialmente patógena y de presencia de efluentes domiciliarios o pecuarios.

La clorofila a, representa una forma de evaluar la presencia de organismos productores primarios, en este caso microalgas, entre las que se encuentran las cianobacterias, que pueden producir metabolitos que afectan la calidad del agua.

Una de las respuestas naturales a la alta concentración de nutrientes y baja turbidez puede verse en el crecimiento explosivo de microalgas, fenómeno conocido como floraciones o bloom. En condiciones adecuadas de luz, temperatura y nutrientes, las algas pueden alcanzar densidades muy importantes y hacerse visibles a simple vista, hecho que ocurre con frecuencia en sistemas de agua eutróficos, donde se visualizan acumulaciones de cianobacterias potencialmente tóxicas, que afectan la calidad del agua para múltiples usos. También pueden registrarse otros grupos de organismos que desarrollan floraciones algales no obstante las cianobacterias son las más frecuentes en nuestros ambientes.

Sustancias perjudiciales para la biota: incluye el cianuro, fluoruro y fenoles. Son sustancias con características químicas propias que su presencia, aún en concentraciones relativamente bajas, puede resultar tóxica tanto para los humanos como para peces y resto de la biota.

Metales: los metales son compuestos potencialmente tóxicos para la biota, según su concentración. Su origen puede ser natural o antrópico, y si bien en general es imprescindible su presencia en trazas para el metabolismo animal, en cantidades mayores generan toxicidad de diferentes características en los mismos.

Agroquímicos: Son compuestos de origen antrópico, utilizados para controlar plagas o mejorar la fertilidad de los suelos y de esa forma favorecer su productividad. Su presencia en el agua puede afectar la biota pero también puede favorecer los fenómenos de floraciones algales, ya sea por aporte de nutrientes a los sistemas acuáticos, tanto nitrogenados como fosforados, o por eliminación de competidores que controlen el desarrollo de especies no deseadas. Se describen los resultados de aquellos compuestos monitoreados que son utilizados mayoritariamente en la cuenca y cómo afectan a la calidad de agua. En la Tabla 5 se presentan los valores guía sugeridos para la modificación del Decreto 253/79 y los valores estándares vigentes en el Decreto para aguas Clase 3.

Atrazina (6-cloro-N-etil-N'-(1-metiletil)-triazina-2,4-diamina) - La atrazina es un herbicida que se utiliza para el control de malezas anuales y gramíneas perennes. No es reactiva ni inflamable y se disuelve en agua. Actúa por detenimiento de la fotosíntesis incorporándose a las plantas a través de las raíces. Cierta cantidad de atrazina puede entrar al aire luego de ser aplicada al suelo y desde el

suelo puede también ser arrastrada por el agua de lluvia hacia áreas cercanas, incluyendo arroyos, lagos u otras corrientes de agua. También puede migrar desde la superficie del suelo a capas del suelo más profundas y entrar al agua subterránea. La vida media de este compuesto en el suelo es de más de un año, y 60 a 100 días en agua.

La atrazina no tiende a acumularse en organismos vivientes tales como algas, bacterias, almejas o peces, y por lo tanto, no se acumula en la cadena alimentaria.

Glifosato y AMPA

El glifosato o N-(fosfonometil)glicina es uno de los herbicidas de amplio espectro de mayor uso a nivel mundial y en nuestro país. Frecuentemente se emplea en la agricultura porque es una forma sencilla y rentable de controlar malezas que de otro modo persistirían por muchos años.

El glifosato habitualmente se pulveriza en las malezas como una solución diluida, y se absorbe con rapidez en las plantas. Su acción bloquea una vía metabólica esencial para el crecimiento de la planta. Esta vía está presente en todas las plantas, pero no en los animales, lo que convierte al glifosato en un herbicida de amplio espectro muy eficaz y de baja toxicidad en los animales.

El glifosato se degrada con rapidez en agua (7 a 14 días) para convertirse en AMPA (ácido aminometilfosfónico), y luego, en sustancias de presencia natural tales como dióxido de carbono y fosfato⁸. El glifosato se une fuertemente al suelo y se degrada con rapidez. Dada su combinación de degradabilidad y capacidad de unirse fuertemente al suelo, el glifosato no se lixivia hasta las aguas subterráneas. El uso intensivo y la amplia aplicación propician su llegada a las aguas superficiales como resultado de deriva de la pulverización, escurrimiento, o carencias en las buenas prácticas agrícolas. Otras fuentes de AMPA en las aguas de superficie son los aditivos detergentes y los agentes secuestrantes, que se descargan directamente al medio ambiente a través de desagües y efluentes.

Endosulfán

El endosulfán es un plaguicida de uso restringido. Es particularmente eficaz contra áfidos, gusanos de la fruta, escarabajos, insectos que extraen jugos de las plantas, larvas de polillas y moscas blancas en

una variedad de cosechas. Se vende como una mezcla de dos formas diferentes de la misma sustancia (llamadas α - y β endosulfán). Se aplica en forma de rocío desde el aire o desde el suelo. El α - y el β -endosulfán pueden ser degradados en el aire por reacciones químicas. El sulfato de endosulfán puede ser degradado por la luz solar.

En el agua, el α - y el β -endosulfán se transforman en una sustancia menos tóxica, endosulfán diol. El sulfato de endosulfán es más resistente a degradación en el agua. En el suelo, el endosulfán se adhiere a partículas, lo que limita su movilización hacia el agua subterránea. El α - y el β endosulfán son degradados en el suelo; el sulfato de endosulfán es más resistente.

Respecto a su afectación a la biota y los seres vivos en general, es un compuesto bioacumulable, lo que lo hace peligroso cuando se constata su presencia en el agua.⁹

Haluros Orgánicos Adsorbibles

Los haluros orgánicos adsorbibles (AOX) son sustancias químicas orgánicas que contienen uno o varios átomos de un elemento halógeno (generalmente cloro, aunque existen compuestos formados con bromo, flúor e iodo). Se consideran una medida de la materia orgánica halogenada en una muestra de agua. Indican contaminación química sintética y son una medida de compuestos como trihalometanos, solventes orgánicos (tricloroetano, tetracloroetano, alcanos y alquenos halogenados), pesticidas y herbicidas clorados y bromados, bifenilos policlorados, compuestos aromáticos clorados (hexaclorobenceno y 2,4 diclorofenol), y sustancias húmicas parcialmente cloradas de alto peso molecular (GEMS/W 1994). Por lo tanto hasta en los ríos alejados de toda fuente de contaminación se puede encontrar un nivel relativamente elevado de AOX, ya que las setas o los mohos que descomponen el bosque (madera) producen ácidos clorados fenólicos y húmicos naturales.

El foco principal de contaminación de estos compuestos a nivel mundial, tiene su origen en la industria del papel, cuando se utiliza cloro para el blanqueo de las fibras de celulosa. Otras fuentes minoritarias de emisión se generan durante la desinfección con cloro del agua potable de las piscinas y de las aguas de proceso.

La mayoría de estos compuestos son tóxicos para los organismos acuáticos en concentraciones bajas, ya que son muy persistentes en el medio ambiente y con tendencia a bioacumularse, llegando incluso a transmitirse hasta el ser humano a través de la cadena alimenticia¹⁰.

⁹ http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts41.pdf

Tabla 5. Valores guía o estándar para compuestos orgánicos y referencias

Variable	Valor guía o estándar	Referencia
Atrazina	1.8 µg/l	Valor guía propuesto por GESTA-Agua *
Glifosato	65	Valor guía propuesto por GESTA-Agua *
AMPA	No se cuenta con valor estándar ni de referencia	
Endosulfan	0.02µg/l	Decreto 253/79
AOX	25 µg/l	República Federal de Alemania

*Se utiliza el valor de la propuesta GESTA Agua por no encontrarse este compuesto dentro de los regulados en el Decreto 253/79

Índices de calidad de agua.

Un índice de calidad de agua consiste, básicamente, en una expresión simple que combina y resume un conjunto de parámetros para dar cuenta del estado en que se encuentra un cuerpo de agua y cuya forma de expresarlo sea de fácil interpretación. El índice puede ser representado con un número, un rango, una palabra o un color en un mapa. Si bien los índices poseen menos información que los datos brutos de los diferentes parámetros, tienen la función de resumir y simplificar datos complejos, haciendo que la información que transmite sea fácilmente entendible por el público, los medios de comunicación, los usuarios y los responsables de la gestión de los recursos.

En base al informe de Consultoría de Quintans (2015)¹¹ ampliado, se presentan los resultados de la aplicación de los siguientes índices en todo el sistema Cuenca del Santa Lucía:

1. WQI (*water quality index* de la National Sanitation Foundation de EEUU), por ser uno de los más ampliamente difundidos y aceptados.
2. IQA-CETESB (*Índice de Qualidade das Águas- Brasil*). Índice desarrollado por la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental de Brasil (CETESB, 2006) que modificó el WQI-NSF a condiciones propias para la evaluación de la calidad del agua de ríos con destino para abastecimiento a la población.

¹⁰(<http://www.prtr-es.es/Compuestos-Orgánicos-Halogenados-AOX,15627,11,2007.html>)

¹¹ Quintans, F. 2015. Aplicación de índices de calidad de agua al sistema Cuenca del Santa Lucía. Informe de Consultoría. MVOTMA-DINAMA-DCA. Proyecto PNUD-URU/14/001.

3. Índice de Calidad de Agua para la cuenca del Río Santa Lucía (ICA-SL), desarrollado por la Facultad de Ciencias (2008), a partir de información de toda la cuenca del Santa Lucía.

4. Índice de Estado Trófico (IET) de Lamparelli (2004) para ríos del Estado de San Pablo (Brasil). Este índice se basa en rangos de concentración de fósforo total, clorofila a, nitrógeno total y en la profundidad de transparencia. Para la cuenca de estudio, el parámetro aplicable fue el fósforo total.

Logística de muestreo

La realización de los muestreos está a cargo del Departamento Seguimiento de Componentes del Ambiente (DSCA) y éste coordina con el Laboratorio de la DINAMA y con las Intendencias Departamentales (Direcciones de Higiene o Gestión Ambiental según corresponda) de los Departamentos de la cuenca hidrográfica: Canelones, Florida, Lavalleja y San José. Los mismos se realizan durante 4 días en una semana, cada dos meses.

Participan en las tareas de muestreo dos técnicos de DINAMA-DSCA que van al campo, un técnico de apoyo en Montevideo y los técnicos del Dpto. de Laboratorio Ambiental de DINAMA en la recepción y análisis del material.

RESULTADOS

En este capítulo, se presentan los resultados de las variables ambientales medidas *in situ* y de las analizadas en el laboratorio, en los diferentes muestreos realizados en el período 2005- 2014 según se detalla en cada caso. En primer lugar se presentan los resultados correspondientes a la Zona A que incluye las subcuencas de los ríos Santa Lucía (alto y medio), Santa Lucía Chico, San José y Arroyo Canelón Grande. Luego se presentan los resultados de la Zona B, que incluye la subcuenca del Arroyo Colorado (ver Ilustración 1). En cada caso, se presenta la información por subcuencas de orden 2, incluyendo los embalses del río Santa Lucía Chico del arroyo Canelón Grande. Al final de cada subcuenca se sintetizan los resultados más destacados.

El análisis de las variables se presenta en el siguiente orden: físico-químicos, nutrientes y coliformes. Los resultados de la clorofila a, se incluyen al final de los físico-químicos y antes de los nutrientes a fin que el lector pueda vincularlos con unos y otros.

Los resultados de los agroquímicos, metales y AOX se colocaron luego de los físico-químicos por subcuencas debido a que se cuenta con pocos registros por cuenca y evaluarlos todos juntos facilita su lectura.

Los resultados de la aplicación de los índices de calidad de agua y estado trófico se presentan en el final del capítulo a fin de facilitar la comparación de los diferentes resultados obtenidos.

RÍO SANTA LUCÍA

En la subcuenca del río Santa Lucía el programa de monitoreo comenzó en diciembre 2004 con el Programa JICA-DINAMA. Gracias a ello algunas estaciones cuentan con 10 años de datos. A partir de 2011 se rediseñó el programa, agregando otras estaciones en sitios estratégicos que cuentan con 5 años de datos. En la Figura 2 se muestran las estaciones de monitoreo cuyos resultados serán presentados en este informe, mientras que en la Figura 3 se esquematiza la ubicación de dichas estaciones en relación a la llegada de afluentes del río.



Figura 2- Ubicación de estaciones en la subcuenca del Río Santa Lucía



Figura 3. Esquema con la ubicación de las estaciones de monitoreo de Nivel 1 en la subcuenca del río Santa Lucía indicando los principales afluentes

Las estaciones del tramo más alto de esta subcuenca son SL01 sobre el curso principal y aguas abajo de la ciudad de Minas y SL02 en el arroyo Casupá, antes de la desembocadura, y se ubican en la parte relativamente alta de la cuenca.

Parámetros físico-químicos del agua.

La temperatura del agua mostró variaciones interanuales con oscilaciones entre conjuntos de años y una tendencia general al incremento a partir de 2013 (Figura 4). El rango para el período 2005-2014 estuvo entre 7 y 29 °C, con una mediana de 19 °C (n=304). La variación espacial de la temperatura no mostró diferencias importantes entre los sitios, mientras que todos los sitios mostraron la misma variación temporal durante los 10 años. Los años más fríos fueron 2006 y 2010, mientras que los más cálidos fueron 2005, 2007 y 2012 hasta la fecha (Figura 4).

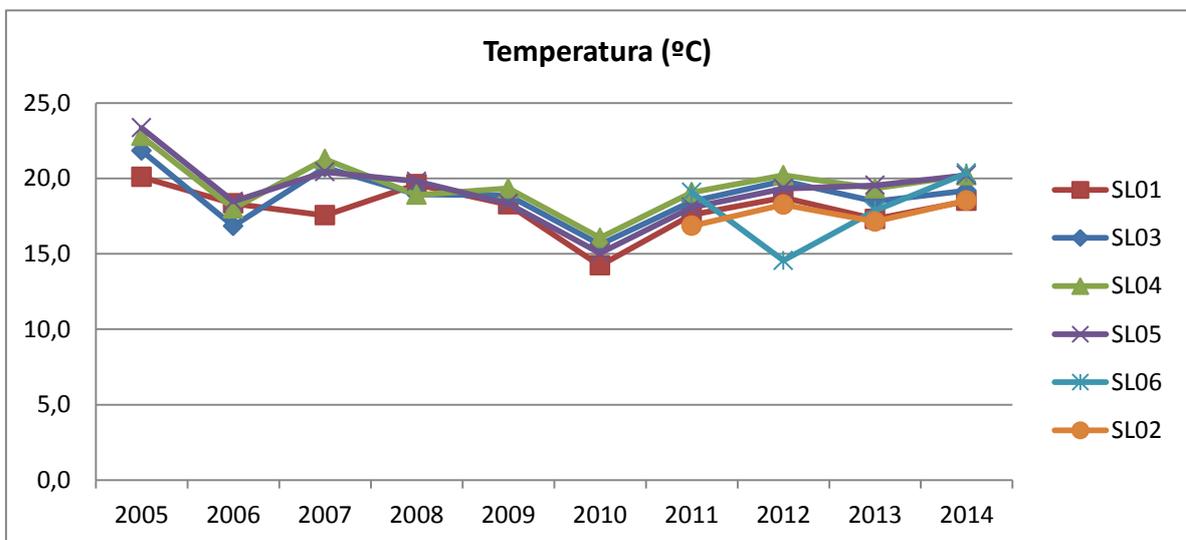


Figura 4- Variación espacial y temporal de la temperatura promedio anual del agua en el Río Santa Lucía.

La conductividad del agua mostró una gran amplitud en los 10 años, con valores entre 10 y 4300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y una mediana de 237 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ($n=276$). En la Figura se observa que la variación de la conductividad promedio anual del agua fue similar en todas las estaciones para cada año, con la excepción del 2011. En dicho año se registraron altos valores de conductividad en las estaciones próximas a la desembocadura, con el máximo valor de 4300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la estación SL06 que determinó un promedio anual para ese año de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dicha estación se encuentra aguas arriba de la desembocadura del Río San José, en una zona arenosa y de bañados, en el curso principal. Fuera de esto, la conductividad mostró tendencias cíclicas con menores valores en 2006, 2009 y 2014; mientras que los mayores promedios anuales se registraron en 2008 y 2011 (Figura 5).

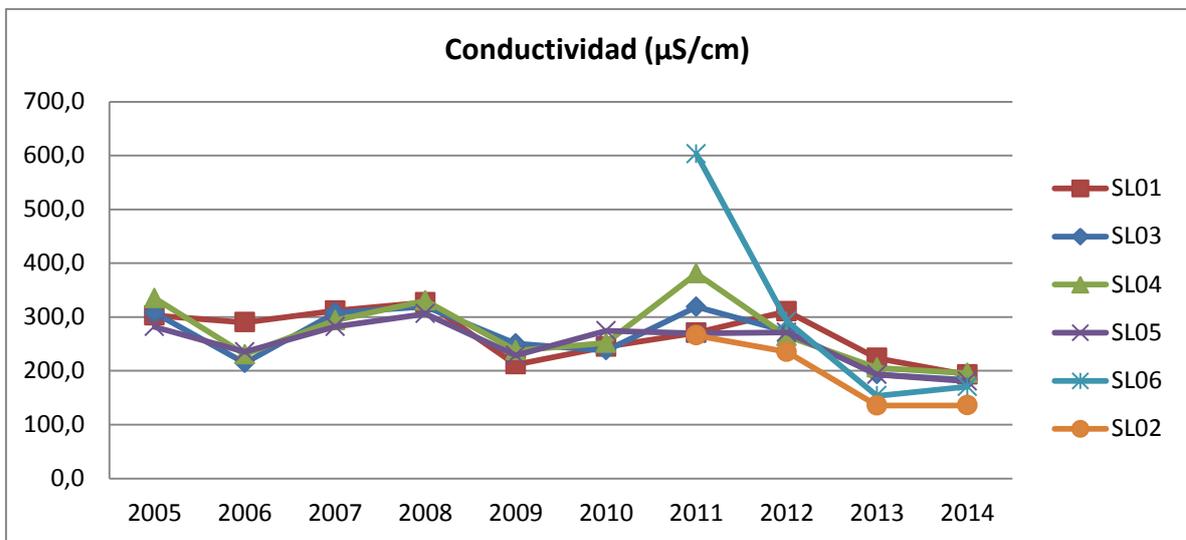


Figura 5-. Variación espacial y temporal de la conductividad promedio anual del agua en el Río Santa Lucía

El pH registró una variación entre 5,4 y 8,9, con una mediana de 7,6 ($n=283$), durante 10 años de monitoreo. Tomando como referencia el rango de cumplimiento que indica el Decreto 253/79 (entre 6,5 y 8,5), prácticamente todas las muestras analizadas cumplieron con este estándar de calidad (Figura). Solo 6,7% de los valores estuvieron por encima o debajo de los límites estándares.

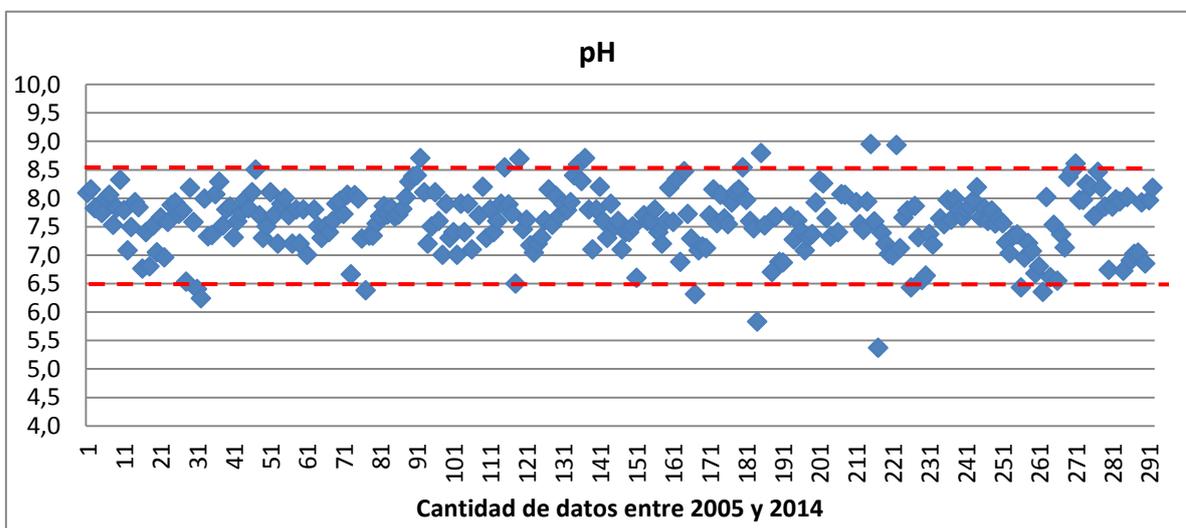


Figura 6. Rango de variación del pH del río Santa Lucía en las 6 estaciones de monitoreo durante 10 años de muestreo. Las líneas punteadas indican el rango estándar de pH establecido en la legislación (6,5-8,5) para aguas naturales (Clase 3).

La variación espacial y temporal del pH en el Río Santa Lucía mostró diferencias entre los sitios y entre los años. Los años que registraron los valores promedio menores fueron 2008 y 2012; mientras que los mayores fueron 2005 y 2013. Se observa una tendencia decreciente del pH entre 2005 y 2008 y una creciente a partir de 2012 (Figura 7).

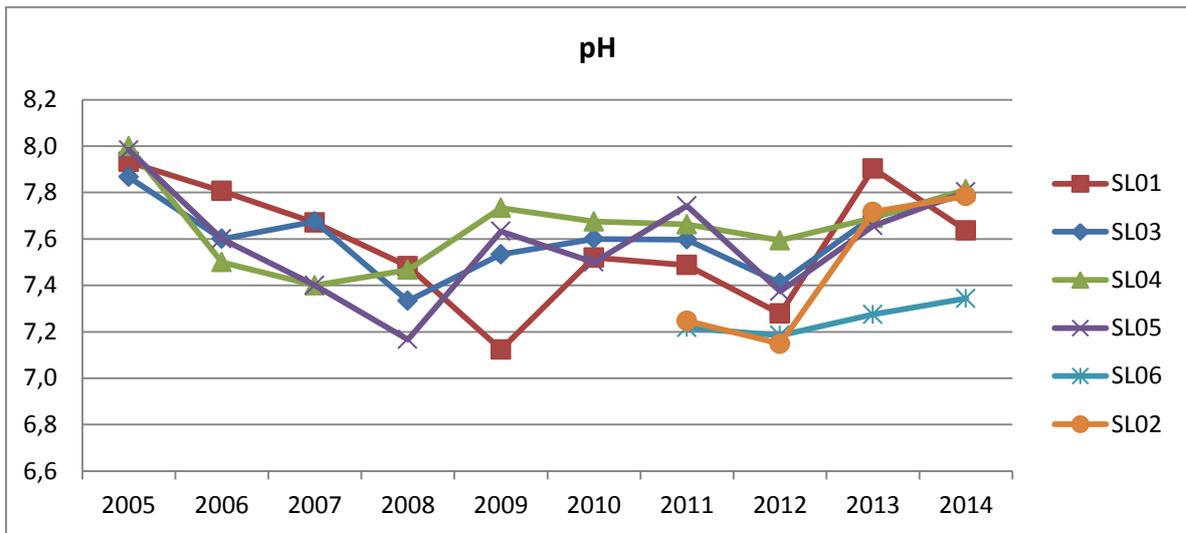


Figura 7. Variación espacial y temporal del pH (promedio anual por estación de monitoreo) en el Río Santa Lucía.

La concentración de oxígeno en el agua, como valor absoluto (mgO_2/l), presentó un rango entre 3 y 13 mg/l , con una mediana de 7,9 mg/l ($n= 279$) para 10 años de datos. Solo 11 datos registraron valores inferiores a 5 mg/l que indica el valor estándar del Decreto 253/79, lo que representa el 3,9 % de incumplimiento en el total de los registros obtenidos (Figura).

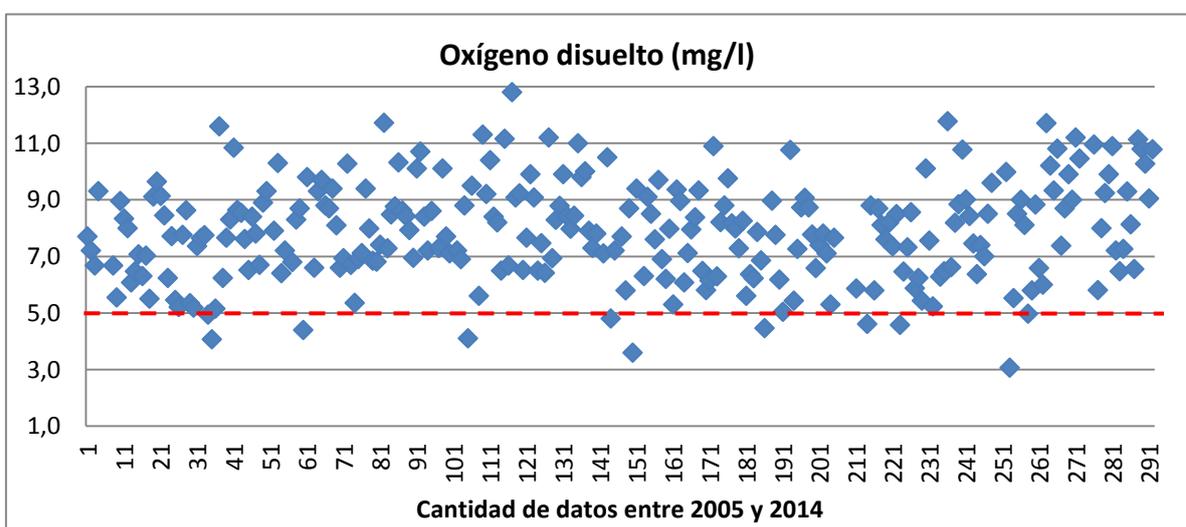


Figura 8. Rango de concentración de oxígeno disuelto del río Santa Lucía en las 6 estaciones de monitoreo durante 10 años de muestreo. La línea punteada indica el estándar (valor ≥ 5 mg/l) establecido en la legislación para aguas naturales (Clase 3).

Los valores promedios anuales fueron siempre superiores al valor estándar (indicando buen nivel de oxígeno en el ambiente). Las mayores variaciones se observaron entre las estaciones de monitoreo (variación espacial) y no entre los años de estudio (variación temporal). La estación SL01 en la zona más aguas arriba del área de estudio registró los menores valores posiblemente debido a efectos puntuales; en la SL04 antes de la desembocadura del Santa Lucía Chico en el curso principal, se registraron los valores mayores (Figura 9), mostrando la capacidad de recuperación del sistema.

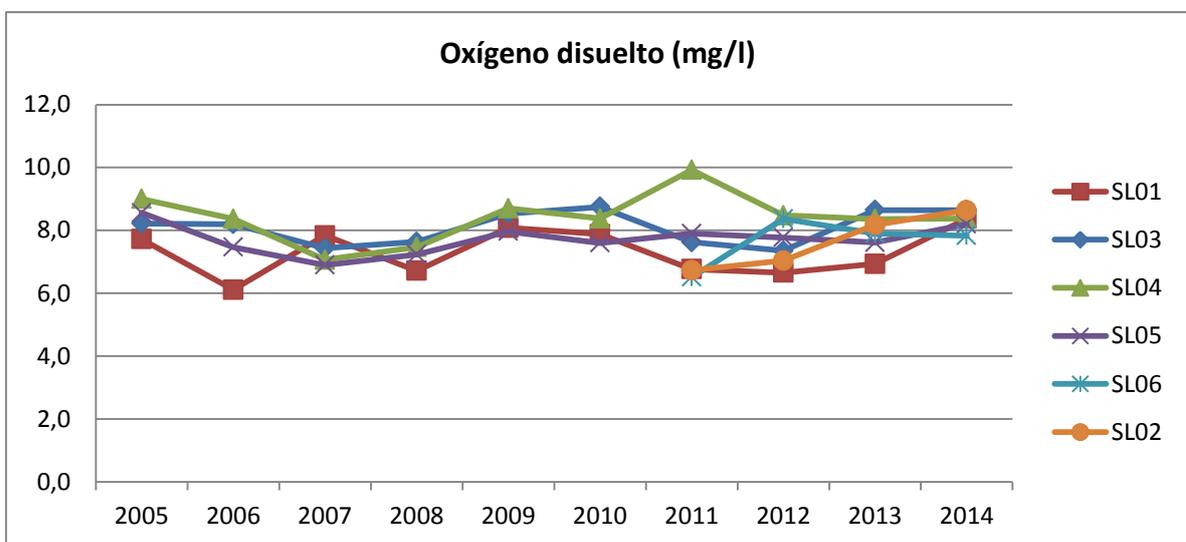


Figura 9. Variación espacial y temporal de la concentración promedio anual de oxígeno disuelto (mg O₂/l) en cada estación de monitoreo en el río Santa Lucía.

Los niveles de la Demanda Bioquímica de Oxígeno cumplieron con el estándar que establece el Decreto 253/79 en todos los casos analizados (Figura 10). Solo el 0,9 % de los valores mostraron una concentración igual al límite de calidad permitido (10 mg/l). La cantidad de datos que muestran concentraciones iguales en los niveles 5 y 2 mgO₂/l, se explican porque se tomaron como valores absolutos los límites de cuantificación (LC) reportados como resultados de laboratorio.

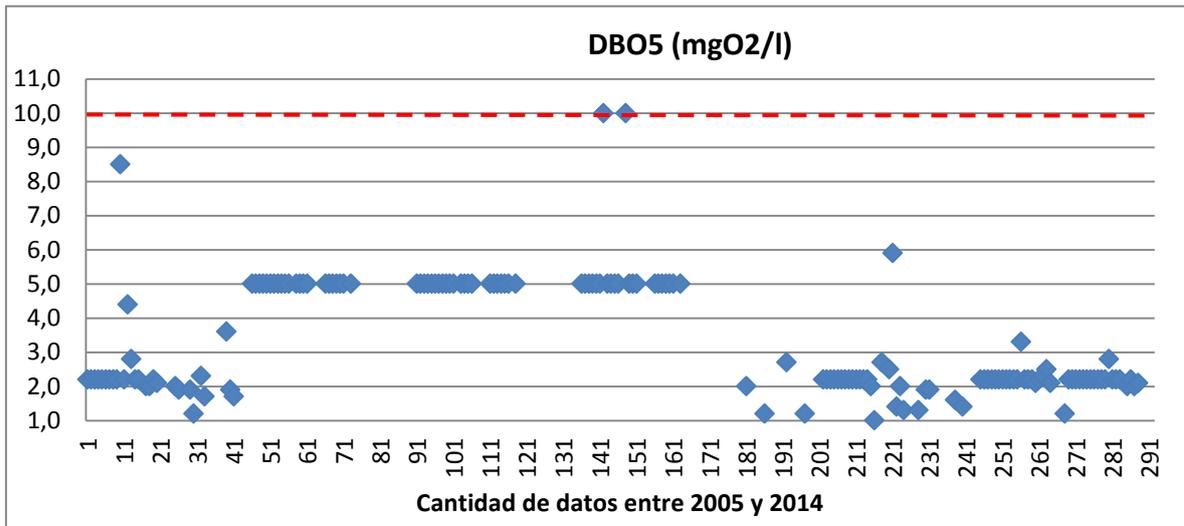


Figura 10. Rango de variación de la DBO5 del río Santa Lucía en las 6 estaciones de monitoreo durante 10 años de muestreo. La línea punteada indica el estándar (valor <math>< 10 \text{ mgO}_2/\text{l}</math>) establecido en la legislación para aguas naturales (Clase 3).

Los valores promedios anuales de la DBO5 registraron variaciones entre estaciones y entre los años analizados (Figura 11). La estación SL01, situada aguas arriba del curso principal (pero aguas abajo de la ciudad de Minas) fue la única monitoreada durante todo el período de estudio. Las tendencias que muestran los resultados se deben a cambios en los límites de detección (LD) y de cuantificación (LC) aplicados en los análisis más que a lo ocurrido en el ambiente.

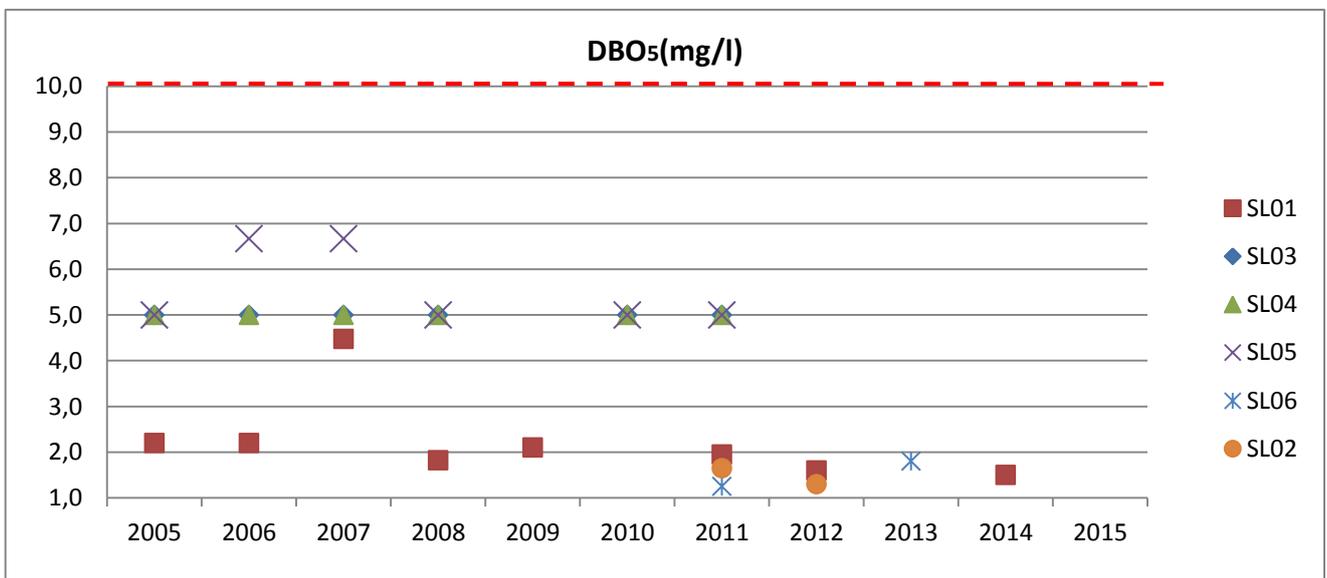


Figura 11. Variación espacial y temporal de la DBO5 promedio anual ($\text{mg O}_2/\text{l}$) en cada estación de monitoreo en el río Santa Lucía. La línea punteada indica el estándar ($\leq 10 \text{ mg/l}$) establecido en la legislación para aguas naturales (Clase 3).

Los niveles de turbidez del agua mostraron valores entre 1 y 110 UNT, con una mediana de 11 UNT (n=271) durante los 10 años de monitoreo. Se registraron 8 valores que superaron el estándar (50 UNT), lo que representa casi el 3% de incumplimiento en todo el período (Figura 12).

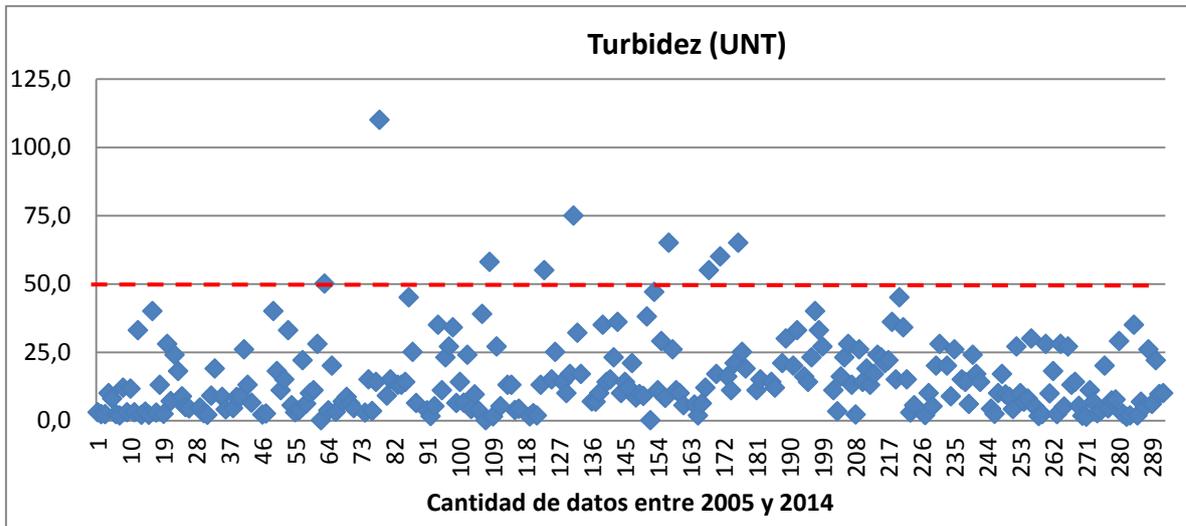


Figura 12. Variación de la turbidez del agua del río Santa Lucía en las 6 estaciones de monitoreo durante 10 años de muestreo. La línea punteada indica el estándar (≤ 50 UNT) establecido en la legislación para aguas naturales (Clase 3).

En el análisis del promedio anual por estación de monitoreo, se observan variaciones temporales de la turbidez del agua. Hacia 2009 se registraron incrementos de la variable, al igual que hacia 2013 y 2014; mientras que los menores valores en general para todas las estaciones de monitoreo se registraron en 2011 (Figura). Por otra parte, las estaciones SL01 y SL02, ubicadas en las zonas aguas arriba, mostraron los niveles de turbidez promedio anual menores; mientras que SL04, SL05 y SL06 mostraron los valores más altos, y se ubican hacia las zonas más bajas de la cuenca (Figura 2).

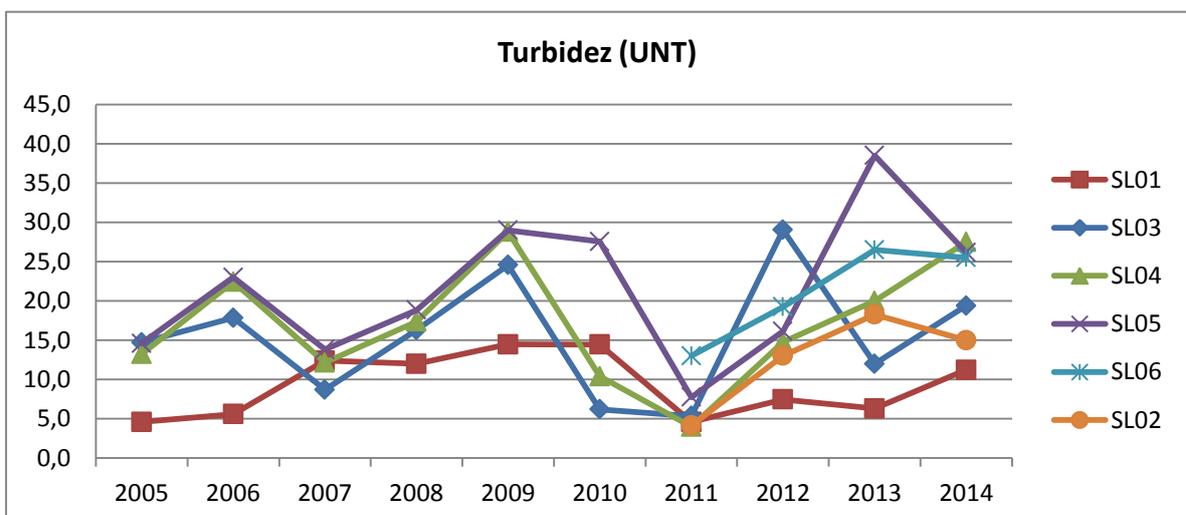


Figura 13. Variación espacial y temporal de la Turbidez promedio anual (UNT) en cada estación de monitoreo en el río Santa Lucía.

La concentración de clorofila en el curso principal del río Santa Lucía no tiene registros constantes en los programas de monitoreo que se llevan adelante. Por lo tanto, en la Figura 14 se observan las concentraciones promedio anuales para algunas estaciones durante 2009 y 2010. Entre ambos períodos el parámetro se incrementó en todas las estaciones, y muy especialmente en la SL01. No obstante, los niveles de clorofila alcanzados fueron bajos y estuvieron por debajo que cualquier valor que indique una alerta por alta concentración (por ejemplo 10 ug/l de OMS, 1999¹²).

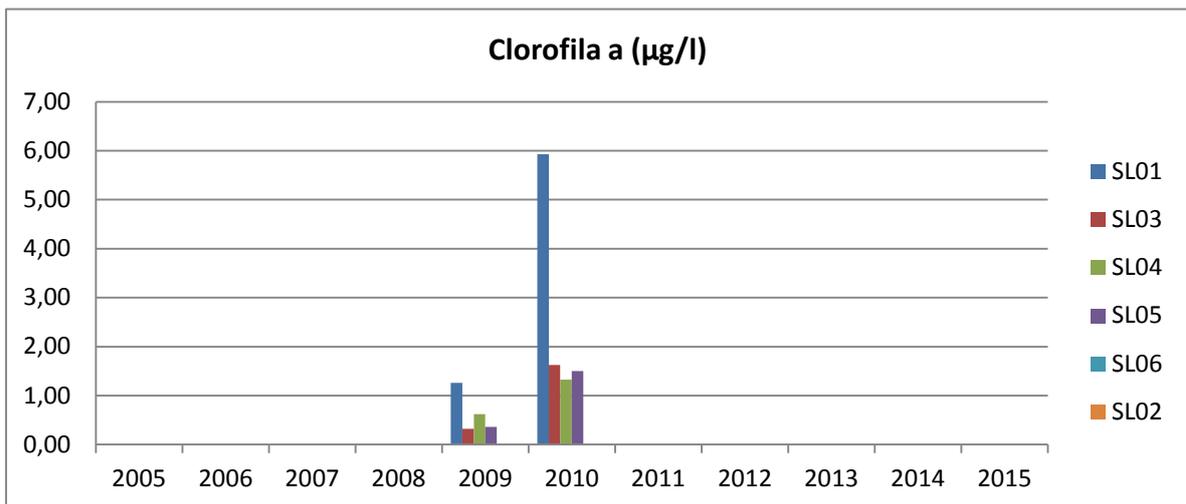


Figura 14. Variación espacial y temporal de la clorofila a, promedio anual, en cada estación de monitoreo en el río Santa Lucía.

Nutrientes

Los nutrientes analizados en este trabajo son compuestos de nitrógeno (nitrato, nitrito, amonio y nitrógeno total) y de fósforo (fosfato y fósforo total). Debido a que los diseños de los programas de monitoreo fueron adaptándose a las necesidades y objetivos de cada período de estudio entre 2005 y 2014, las series de datos están interrumpidas en algunas variables.

Nitrato

Entre los compuestos de nitrógeno, el nitrato (NO₃) registró concentraciones entre 0,01 y 1,30 mgNO₃-N/l, con una mediana de 0,25 mg/l (n=283). Los niveles estuvieron siempre dentro del estándar de calidad de 10 mg/l que establece el Decreto 253/79, y aún del nuevo valor propuesto de 5 mg/l, en todos los casos analizados (Figura 1). El cumplimiento de este parámetro de calidad fue del 100 % en 10 años de monitoreo.

¹² Chorus, I.& J. Bartram. 1999. Toxic cyanobacteria in water. WHO-OMS. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/toxcyanbegin.pdf

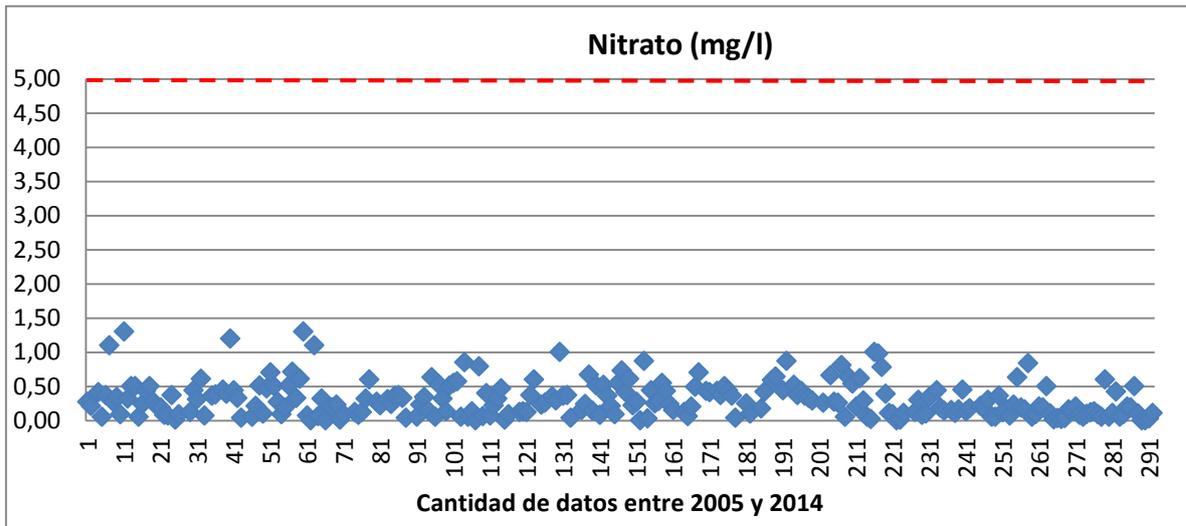


Figura 1. Variación de la concentración de nitrato del agua del río Santa Lucía en las 6 estaciones de monitoreo durante 10 años de muestreo. La línea punteada indica el estándar (valor máximo 10 mgNO₃-N/l y nuevo valor propuesto de 5 mg/l) establecido en la legislación para aguas naturales

En la variación espacial y temporal del parámetro, se observó que los promedios anuales de concentración de nitrato por estación de muestreo muestran una importante caída en 2011. Esto puede estar asociado con el bajo número de datos en esos años (n=2 y 3 por estación de muestreo). Exceptuando 2011, la tendencia en la concentración de NO₃ mostró una disminución entre 2007-2008 y 2010 con un nuevo incremento hacia 2013. Las estaciones que mostraron mayores concentraciones promedio anuales fueron SL01 al inicio del período de estudio, SL03 en 2008 y 2009, y SL06 en 2012 y 2013 (Figura 16).

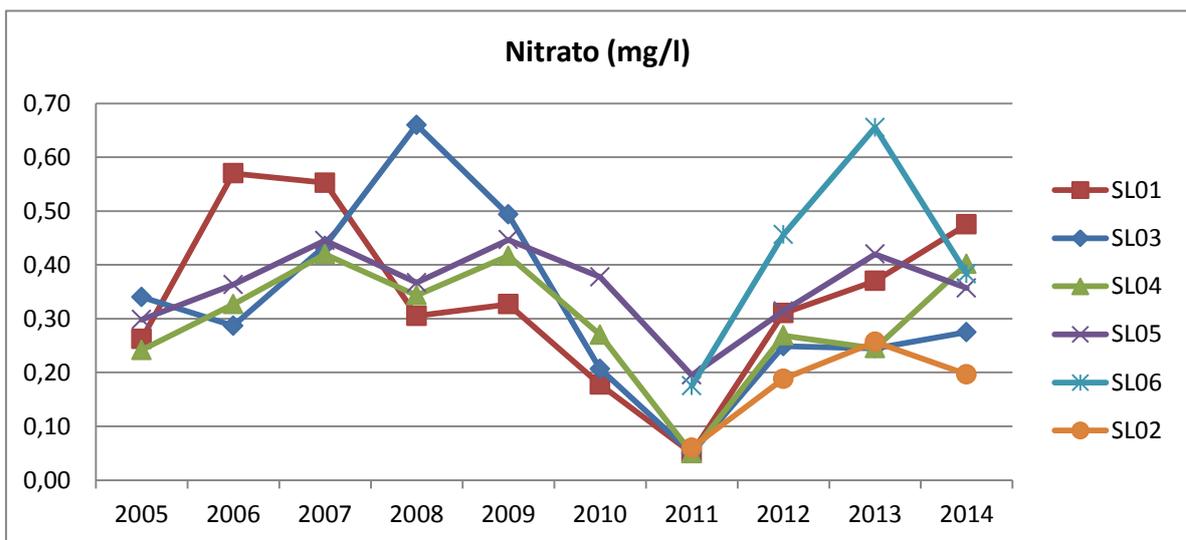


Figura 16. Variación espacial y temporal de concentración de Nitrato, promedio anual (mgNO₃-N/l) en cada estación de monitoreo en el río Santa Lucía

Nitrito

El Decreto 253/79 no tiene estándar para esta variable, pero en la propuesta de modificación del mismo se ha incorporado un valor guía de calidad, que lo establece en $\leq 0,1$ mg NO_2^- -N/l. La concentración de NO_2^- durante los 10 años de monitoreo en el río Santa Lucía, mostró valores entre ND (no detectables) y 1,5 mg/l, con un valor de mediana de 0,006 mg/l ($n= 274$). En base a este valor guía, se registraron 21 datos de NO_2^- por encima de 0,1 mg/l, que representan el 6,7 % de los casos (Figura 2).

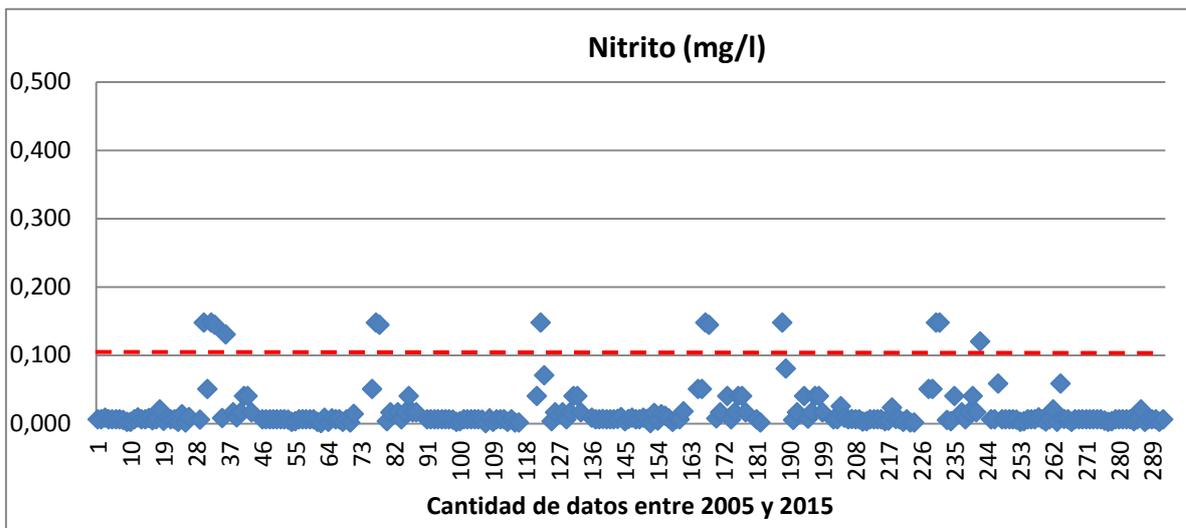


Figura 2. Variación de la concentración de nitrito del agua del río Santa Lucía en las 6 estaciones de monitoreo durante 10 años de muestreo. La línea punteada indica el valor guía sugerido para la modificación del Decreto 253/79 (valor máximo 0,1 mg NO_2^- -N/l) para aguas naturales

La variación espacial de nitrito mostró similitud entre los valores promedios de las estaciones monitoreadas entre 2005 y 2010. A partir de 2011 los promedios anuales aumentaron sus diferencias entre las estaciones y en 2013 mostraron tendencias opuestas entre SL01 y el resto.. Temporalmente, los valores estuvieron por debajo de 0,01 mg/l hasta 2011 y registraron en 2012 un importante incremento de la concentración de nitrito en todas las estaciones, no obstante los valores promedio estuvieron por debajo del valor guía (0,1 mg/l) en todas las muestras. En años subsiguientes, los niveles de nitrito se mantuvieron más altos y con oscilaciones interanuales (Figura 3).

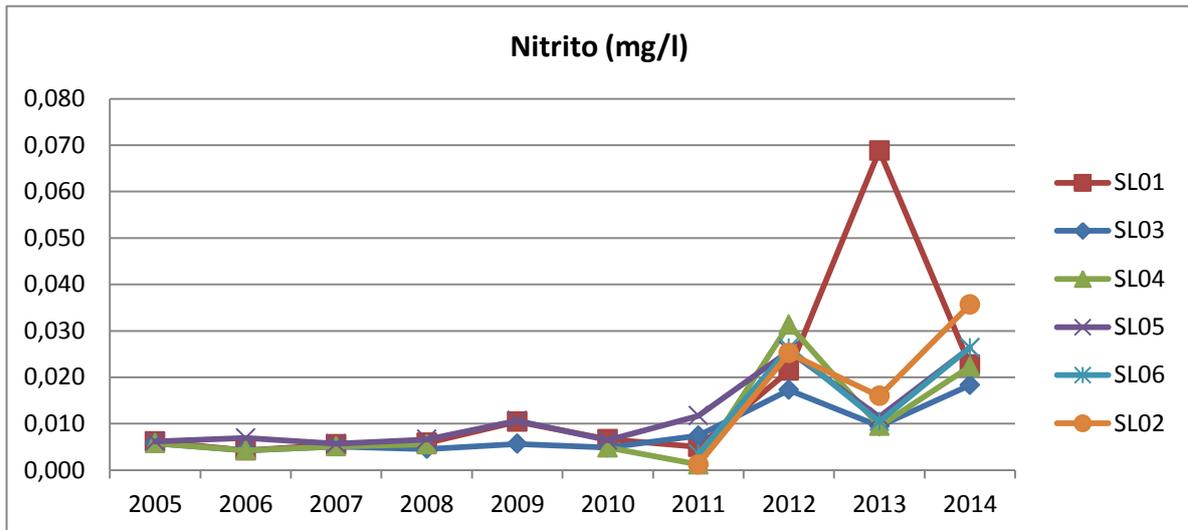


Figura 3. Variación espacial y temporal Nitrito promedio anual (mgNO₂-N/l) en cada estación de monitoreo en el río Santa Lucía

El amonio (NH₄) no está contemplado en la legislación como tal, sino como un compuesto derivado, el amoníaco libre (NH₃). La concentración de amonio en el río Santa Lucía estuvo entre no detectable y 0,55 mg/l, con 0,03 mg/l de mediana (n=269). La variación temporal fue mayor que la espacial, excepto en 2011, 2013 y 2014 (Figura 4). En el primer período de estudio (2005-2010) los registros mostraron mayor similitud en los promedios anuales entre las estaciones, a diferencia del segundo período (2011-2014).

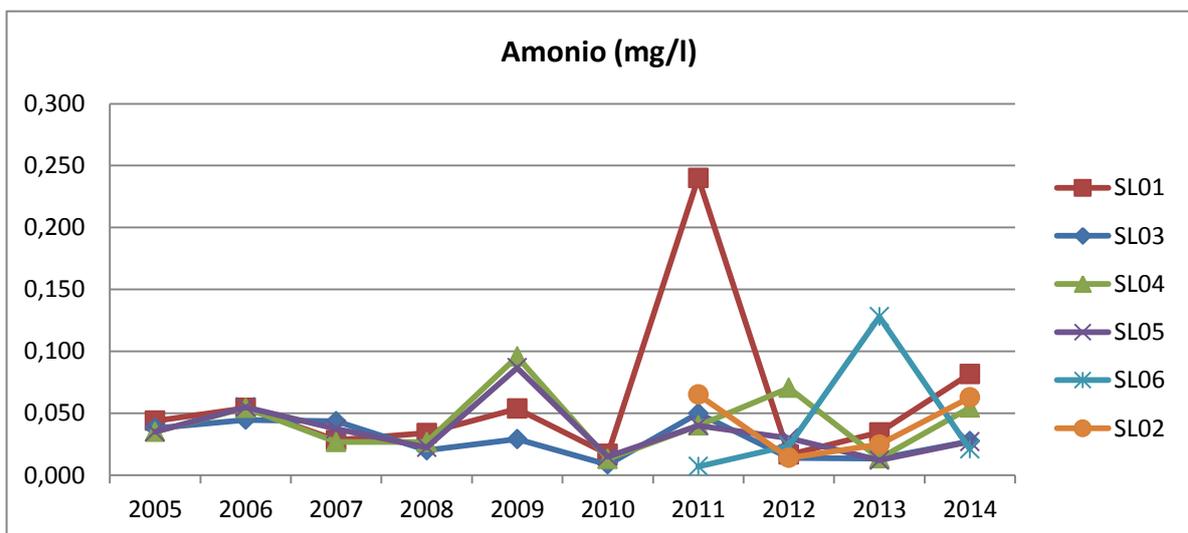


Figura 4. Variación espacial y temporal de la concentración de amonio (NH₄) promedio anual en cada estación de monitoreo en el río Santa Lucía

El nitrógeno total cuenta con resultados parciales a lo largo del programa de monitoreo de calidad de agua. En las estaciones donde se han mantenido los registros, se observa una tendencia creciente en la concentración promedio anual. La estación SL04, ubicada al final del tramo superior del río (antes

de la confluencia con el Santa Lucía Chico) y la SL05 situada en el curso principal aguas abajo de la desembocadura del Arroyo La Virgen, mostraron los mayores incrementos en la concentración de este parámetro (Figura 5). Si bien se requiere la verificación a través de análisis complementarios de información, este incremento podría estar mostrando la acumulación en los cuerpos de agua de compuestos nitrogenados provenientes de las diversas fuentes (puntuales y difusas) desde la cuenca.

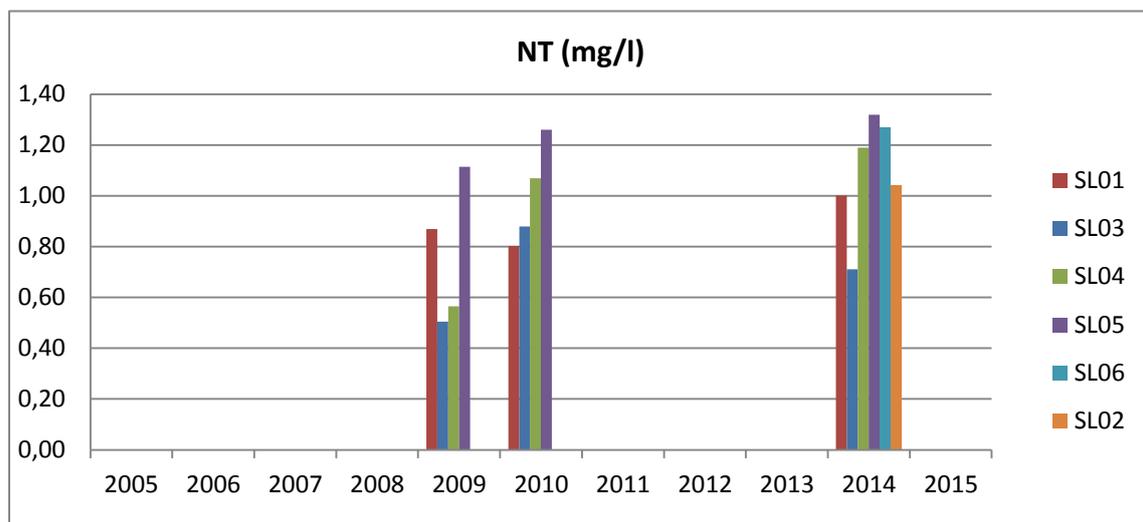


Figura 5. Variación espacial y temporal de la concentración de nitrógeno total (NT) promedio anual en cada estación de monitoreo para los años que cuentan con información en el Río Santa Lucía

La concentración de PT en el curso principal del río Santa Lucía entre 2005 y 2014 estuvo entre 0,01 y 1,10 mg/l, con un valor promedio de 0,130 mg/l (n=276). Según la legislación vigente, la concentración de este nutriente debe ser inferior a 0,025 mg/l en cursos de agua natural; mientras que está en discusión una propuesta de actualización de este valor a 0,070 mg/l.

De acuerdo con los resultados obtenidos en 10 años de monitoreo, el 83 % de los resultados no cumplió con el valor estándar de 0,025 mg/l de PT, y el 72 % no cumplió con el valor de 0,070 mg/l (Figura 6). Por lo tanto, este parámetro representa uno de los factores indicadores de estado eutrófico de los cursos de agua más significativo y necesario de controlar.

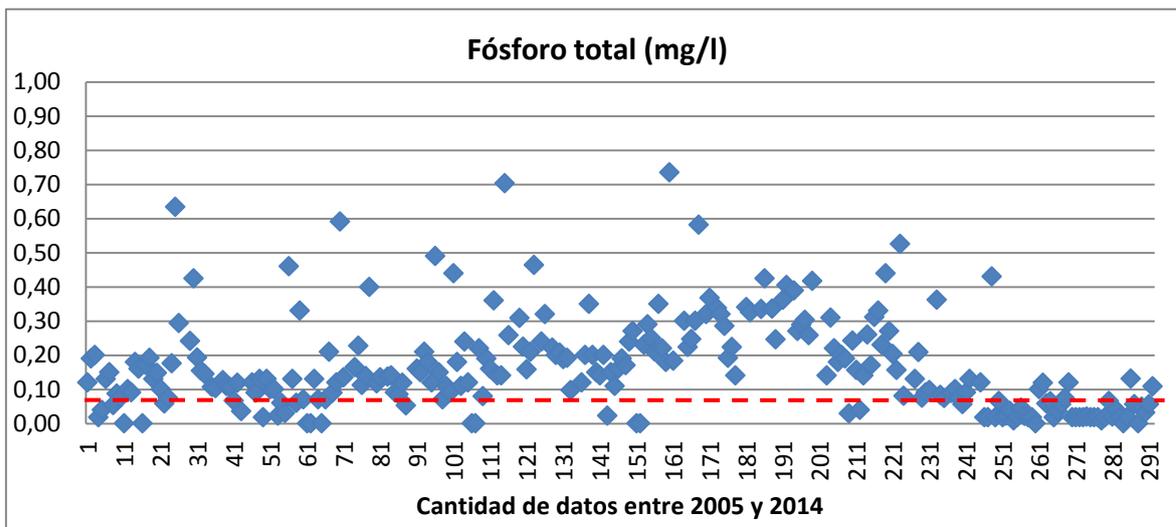


Figura 6. Variación de la concentración de fósforo total del agua del río Santa Lucía en las 6 estaciones de monitoreo durante 10 años de muestreo. La línea punteada indica el valor guía sugerido para la modificación del Decreto 253/79 (valor máximo 0,07 mgP/l) para aguas naturales

La concentración de PT en el tiempo, puede separarse en dos períodos. Hasta 2011 en que los valores promedio anuales fueron en general más bajos y similares entre las estaciones del curso principal con una tendencia creciente aguas abajo; y a partir de dicho año en que se registraron los valores mayores y sostenidos hasta 2013, presentando un leve descenso en el 2014 (Figura 7). En 2011 solo se tuvieron dos resultados de enero y marzo, de ahí que el valor promedio no sea representativo de todo el año. Las estaciones del curso alto (más aguas arriba) registraron las concentraciones promedio menores respecto a las estaciones SL04 (al cierre de la alta cuenca), SL05 (aguas abajo de la desembocadura del Arroyo La Virgen y de la ciudad de Santa Lucía) y SL06 (casi en la confluencia con el Río San José).

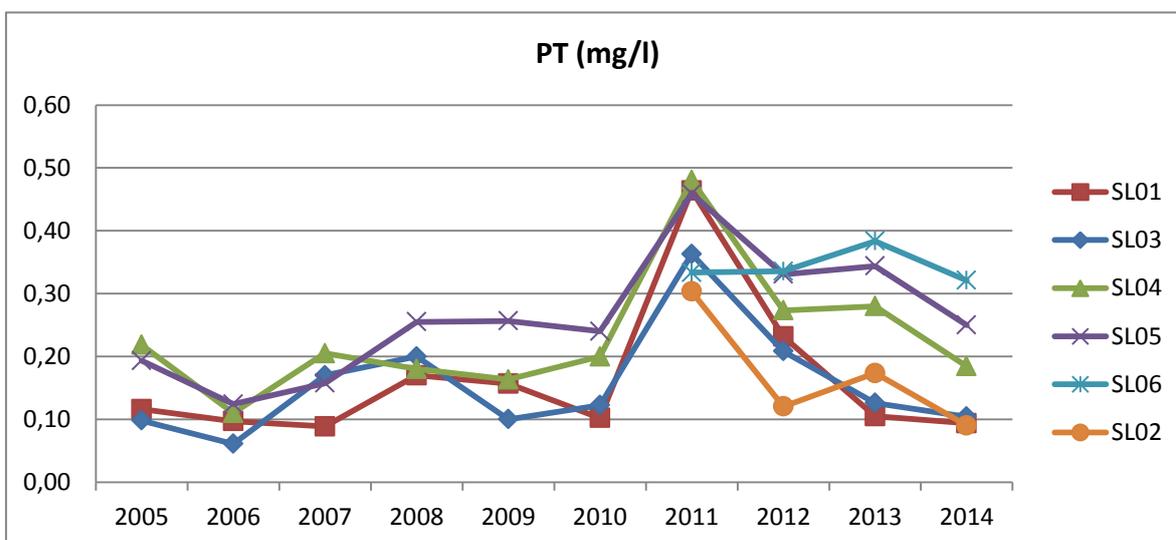


Figura 7. Variación espacial y temporal del fósforo total promedio anual en el Río Santa Lucía.

Parámetros microbiológicos del agua

La concentración promedio de coliformes termotolerantes para el período de estudio fue de 880 ufc/100ml, con valores máximos que llegaron a 20000 ufc/100 ml. De acuerdo con la legislación vigente, el valor estándar de calidad indica concentraciones puntuales menores a 2000 ufc/100ml; Se obtuvieron 154 datos durante el período de estudio en las 6 estaciones de monitoreo. El 11 % de los valores no cumplió con el estándar de calidad, o sea, superó los 2000 ufc/100 ml (Figura 8).

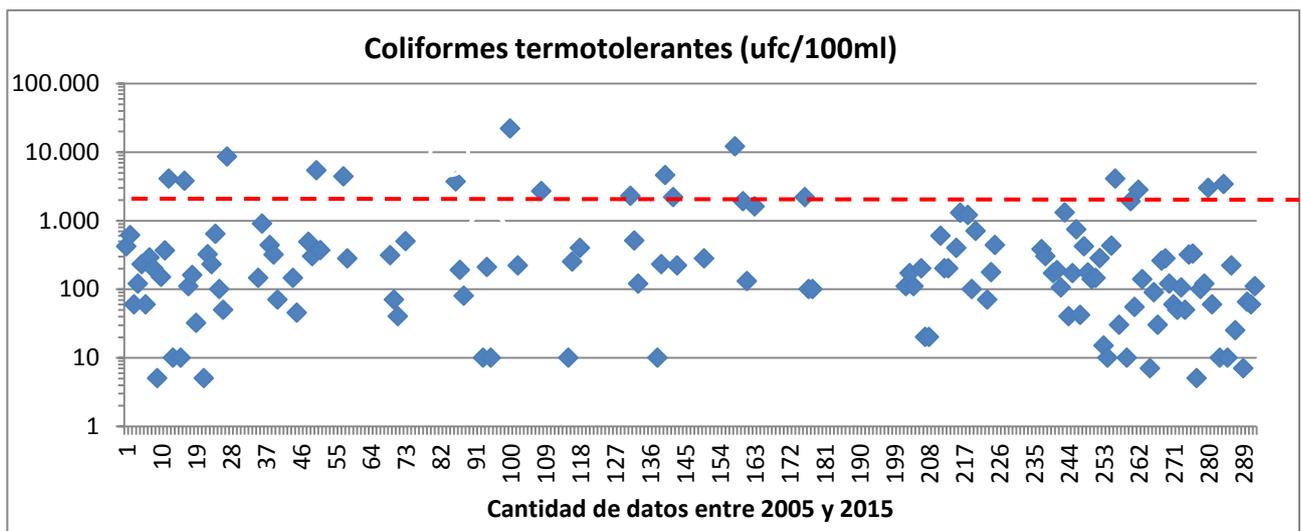


Figura 8. Variación de la concentración de coliformes termotolerantes del río Santa Lucía en las 6 estaciones de monitoreo durante 10 años de muestreo. La línea punteada indica el valor estándar del Decreto 253/79 (valor máximo 2000 ufc/100ml) para aguas naturales

La variación espacial y temporal no mostró tendencias claras entre las estaciones de muestreo ni en el tiempo. En todas se registraron oscilaciones con concentraciones por encima y debajo del valor estándar. Excepto en SL02, sobre el arroyo Casupá, que presentó valores siempre en cumplimiento del estándar de calidad (Figura 9).

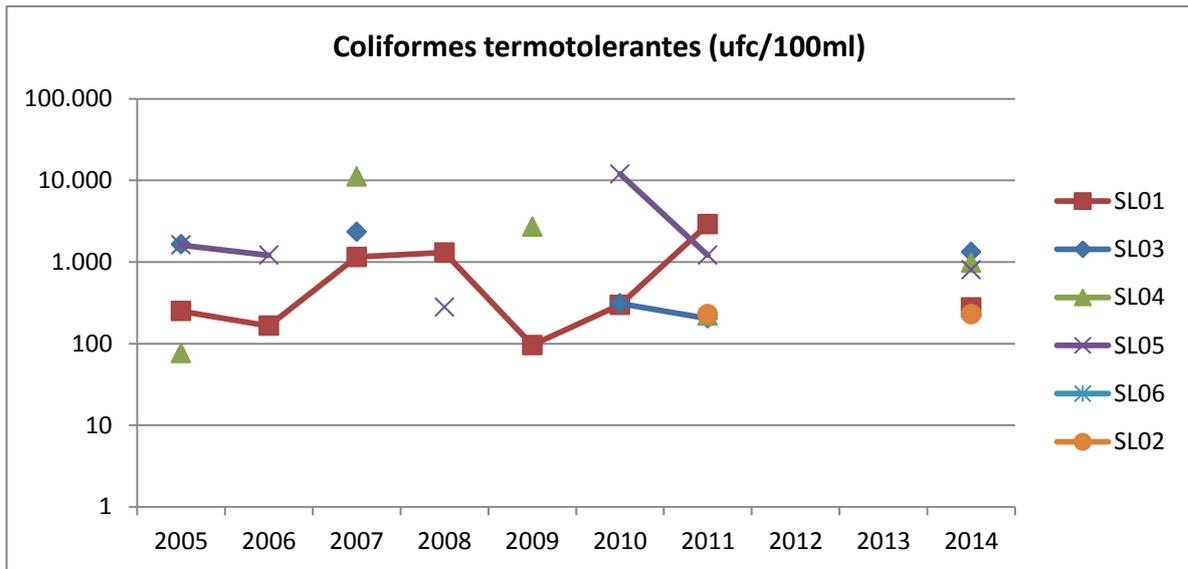


Figura 9. Variación espacial y temporal de la concentración promedio anual de coliformes termotolerantes (ufc/100 ml) en cada estación de monitoreo para los años que cuentan con información en el Río Santa Lucía

Síntesis del río Santa Lucía

El río Santa Lucía fue monitoreado entre 2005 y 2010 a través de 24 muestreos y entre 2011 y 2014 con 20 muestreos. En este informe se procesaron los resultados de 13 variables, consideradas las más relevantes para este objetivo, de las cuales 7 tienen valores de referencia estándar en el Decreto 253/79 y 1 un valor guía propuesto para ser incluido en la modificación del Decreto.

De las 8 variables con valores de calidad de referencia, 6 tuvieron una frecuencia de cumplimiento superior al 90% de los registros (pH, turbidez, oxígeno disuelto, DBO₅, nitrato y nitrito), coliformes termotolerantes cumplió con el estándar en el 89% de los resultados y fósforo total el 18%. Si se considera el valor guía 0,070 mg/l, el cumplimiento fue del 29%. Según estudios previos y complementarios a este trabajo, el PT proviene principalmente de aportes difusos desde la cuenca hidrográfica.

De los resultados se puede afirmar que el curso principal del río Santa Lucía muestra mayores niveles de calidad, en relación a los estándares, en su tramo alto y van disminuyendo hacia los tramos medio y bajo de la cuenca. No obstante, las oscilaciones en los niveles de las variables de calidad de agua seleccionadas, mejorando sus valores aguas abajo de sitios, o luego de períodos, con niveles de no cumplimiento de calidad, indican que el curso principal del río tiene capacidad de recuperarse (resiliencia). Por lo cual la aplicación de medidas de recuperación y preservación de la calidad del agua tienen alta probabilidad de ser efectivas.

SANTA LUCÍA CHICO

Para el análisis de la evolución de la calidad del agua en la cuenca del Río Santa Lucía Chico, se consideraron los resultados obtenidos durante el programa JICA-DINAMA (2005-2010) y Rediseño-DINAMA (2011-2015). Se incluyen las estaciones del curso principal y del embalse Paso Severino (Figura 10). Las estaciones F2 aguas arriba de la ciudad de Florida, y F5, aguas abajo del embalse Paso Severino, pertenecen a la primera etapa del programa de monitoreo (Figura 11).

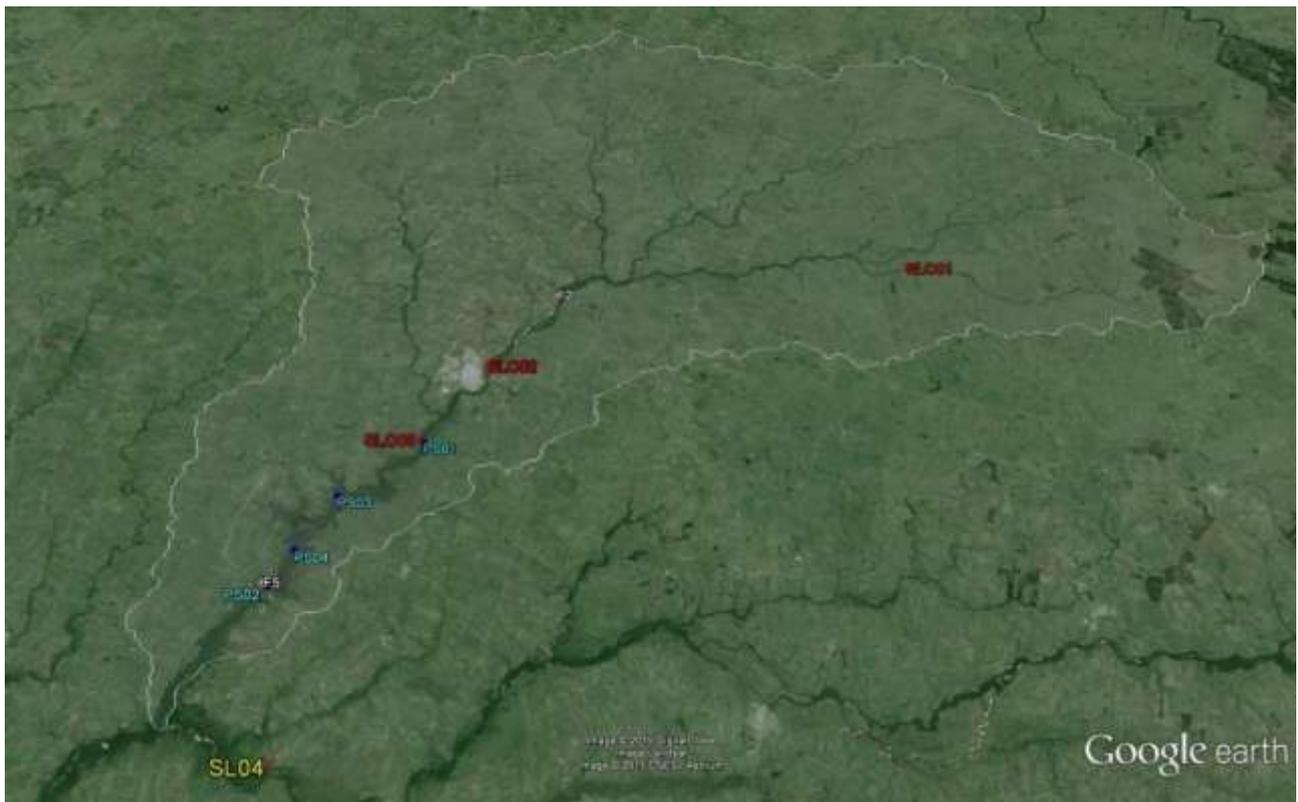


Figura 10- Cuenca del río Santa Lucía Chico con ubicación de las estaciones de monitoreo en el curso principal y en el Embalse Paso Severino

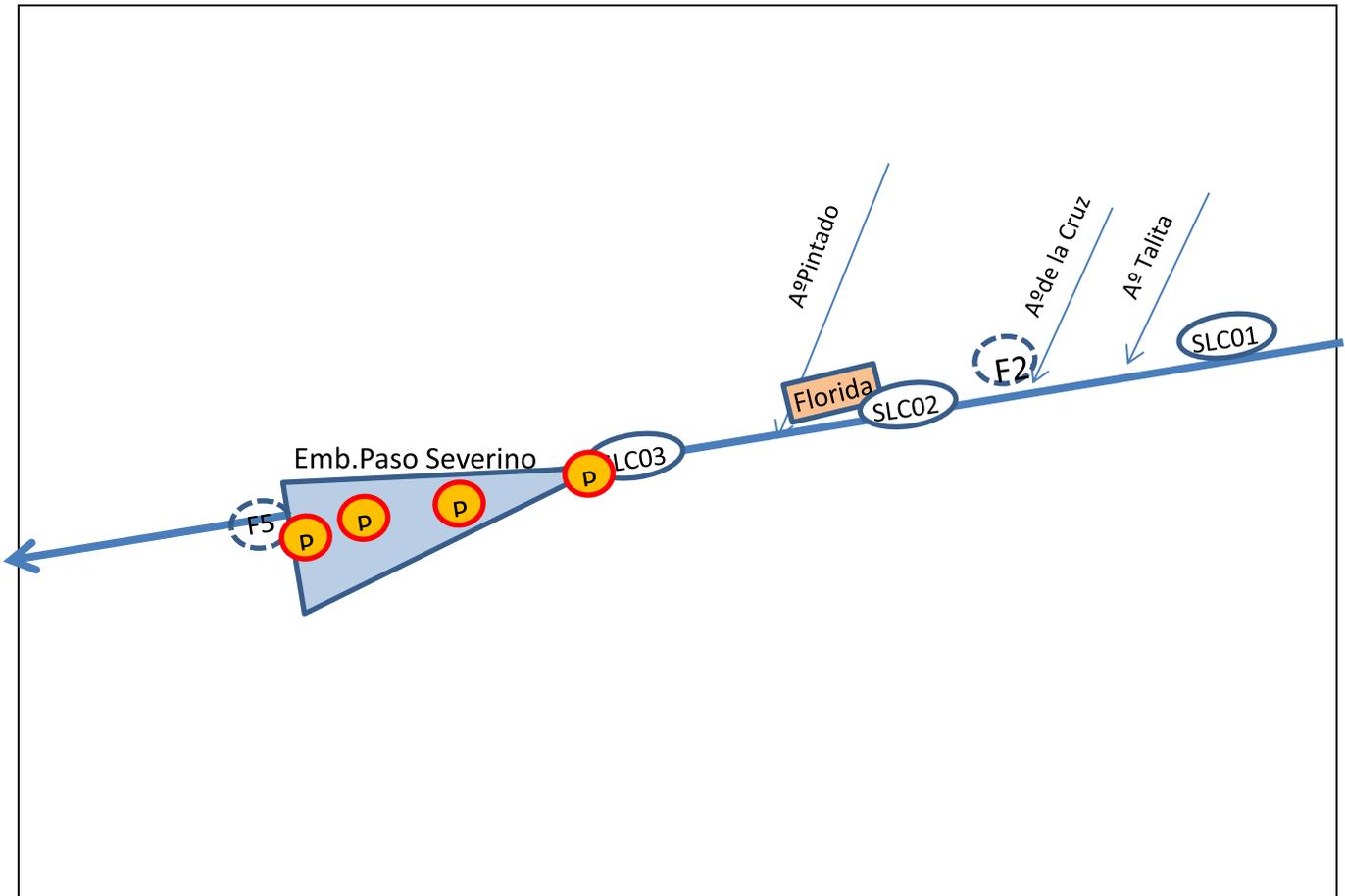


Figura 11. Esquema con la ubicación de las estaciones de monitoreo en la subcuenca del río Santa Lucía Chico indicando las correspondientes al nivel 1 del cauce principal (círculos azules) y el nivel 3 del embalse Paso Severino (círculos amarillos). Las estaciones de líneas punteadas corresponden al Programa Jica (2005-2010).

Se analizarán los resultados de las estaciones fluviales (cauce principal) en primer lugar y luego los resultados del embalse.

Parámetros físico-químicos del agua

La temperatura del agua en el período de estudio estuvo entre 7 y 29 °C, con una mediana de 18°C (n=184). El año con menor temperatura promedio anual para todas las estaciones fue 2010, mientras que los años más cálidos fueron 2008, 2012 y 2014 (Figura 12). Especialmente, la estación PS01=SLC03 mostró diferencias en la temperatura promedio anual respecto al resto de las estaciones fluviales. Los valores anuales fueron menores en este sitio, posiblemente debido a que se trata de una estación con una hidrodinámica diferente por encontrarse en la cola del embalse.

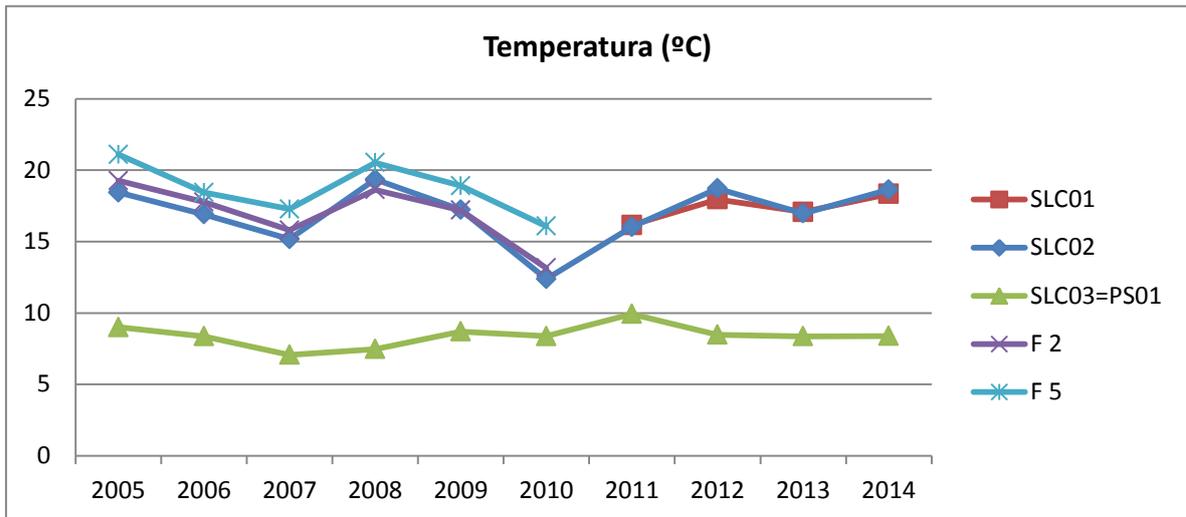


Figura 12. Variación espacial y temporal de la temperatura promedio anual del agua en cada estación de monitoreo en el Río Santa Lucía Chico.

La conductividad del agua registró valores entre 77 y 595 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con una mediana de 240 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ($n=184$). Se registraron variaciones temporales, con períodos de mayor conductividad del agua en 2008, 2011 y 2012; mientras que la menor conductividad promedio para todo el sistema se registró en 2009, 2013 y 2014 (Figura 13). Se observa una tendencia a la disminución de la conductividad del agua en el tiempo a partir de 2011. La estación aguas abajo de la ciudad de Florida y en la cola del embalse (SLC03=PS01) registró los promedios más altos de conductividad, mientras que la estación aguas abajo del embalse (F5), que fuera monitoreada entre 2005 y 2010, presentó los registros más bajos.

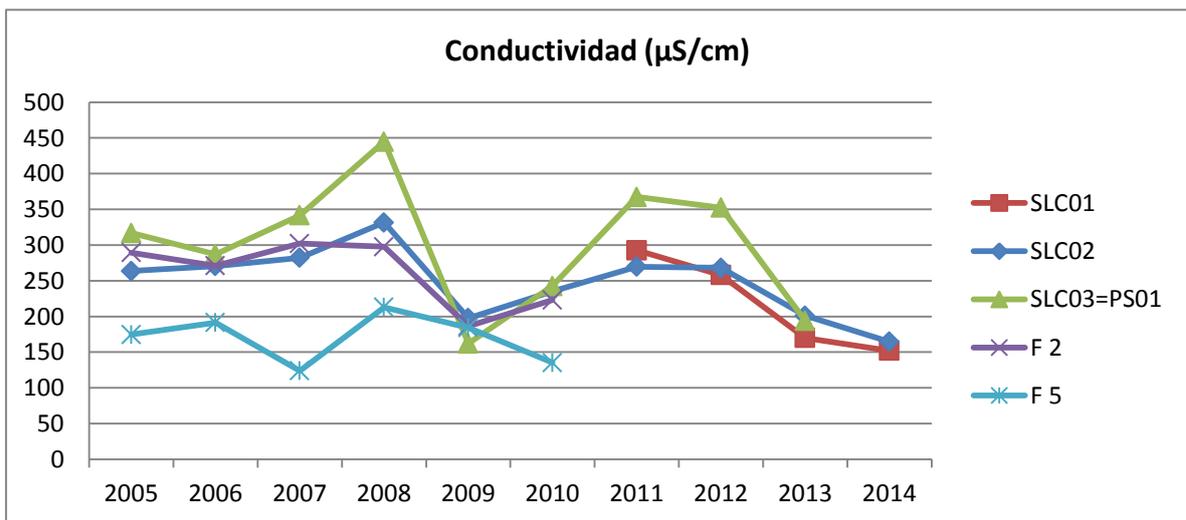


Figura 13. Variación espacial y temporal de la conductividad promedio anual ($\mu\text{S}/\text{cm}$) del agua en cada estación de monitoreo en el Río Santa Lucía Chico.

El pH presentó niveles entre 6 y 9, con una mediana de 7,6 ($n=171$). Como se observa en la Figura 14, la casi totalidad de los registros cumplió con el estándar de calidad que establece el Decreto 253/79,

habiéndose constatado valores fuera del rango en el 9% de los registros durante 10 años de mediciones.

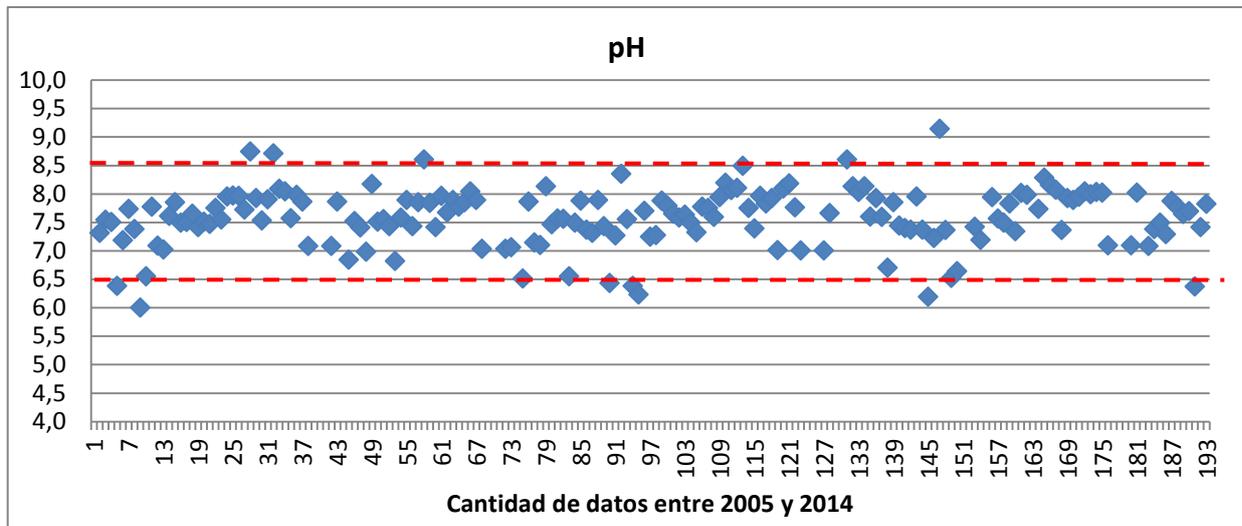


Figura 14. Variación del pH del río Santa Lucía Chico en las 5 estaciones de monitoreo del curso principal durante 10 años de muestreo. Las líneas punteadas indican el rango del estándar del Decreto 253/79 (6,5 a 8,5) para aguas naturales.

En la variación espacial y temporal del pH del río Santa Lucía Chico, se observó similar comportamiento entre todas las estaciones del cauce principal, con valores mayores en la estación aguas abajo de Florida en 2008 y 2009, respecto a los demás sitios (Figura 15). No obstante, en ningún caso las diferencias pueden considerarse de alarma ya que están dentro del rango de calidad y en niveles esperables para cuerpos de agua naturales.

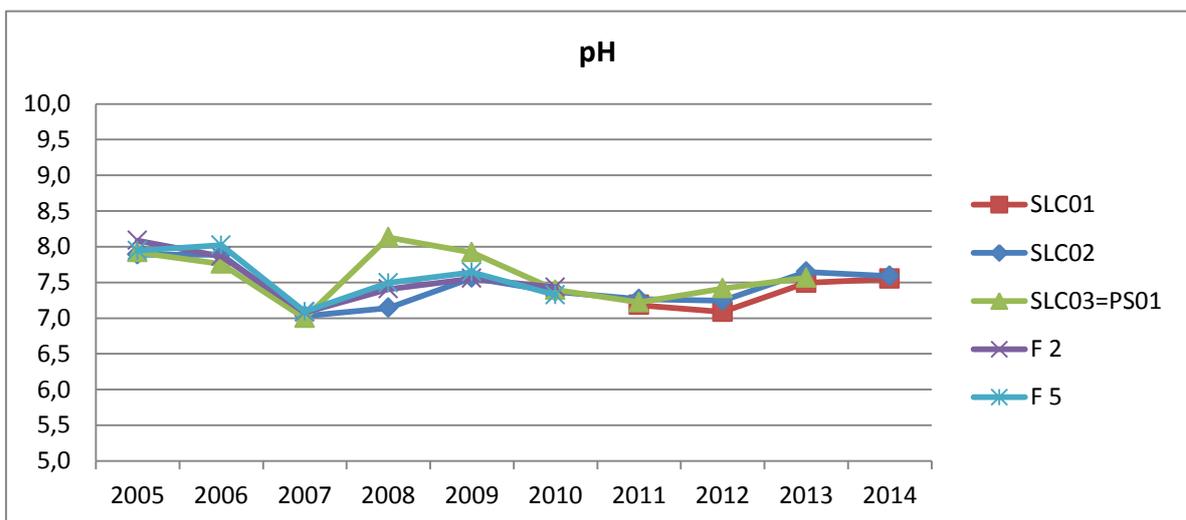


Figura 15. Variación espacial y temporal del pH promedio anual del agua en cada estación de monitoreo en el Río Santa Lucía Chico.

La concentración de oxígeno disuelto en el agua del río Santa Lucía Chico presentó niveles entre 3,6 y 11,4 mg/l, con una mediana de 7,4 mg/l (n=124). La cantidad de registros que no cumplieron con el

estándar de calidad de 5 mg/l representó el 11% del total de los datos obtenidos en 10 años de monitoreo (Figura 16). Los sitios que mostraron valores menores al estándar con mayor frecuencia fueron SLC02 (4 registros) y SLC03 (6 registros), aguas arriba y abajo de Florida, respectivamente y siempre en muestreos de verano.

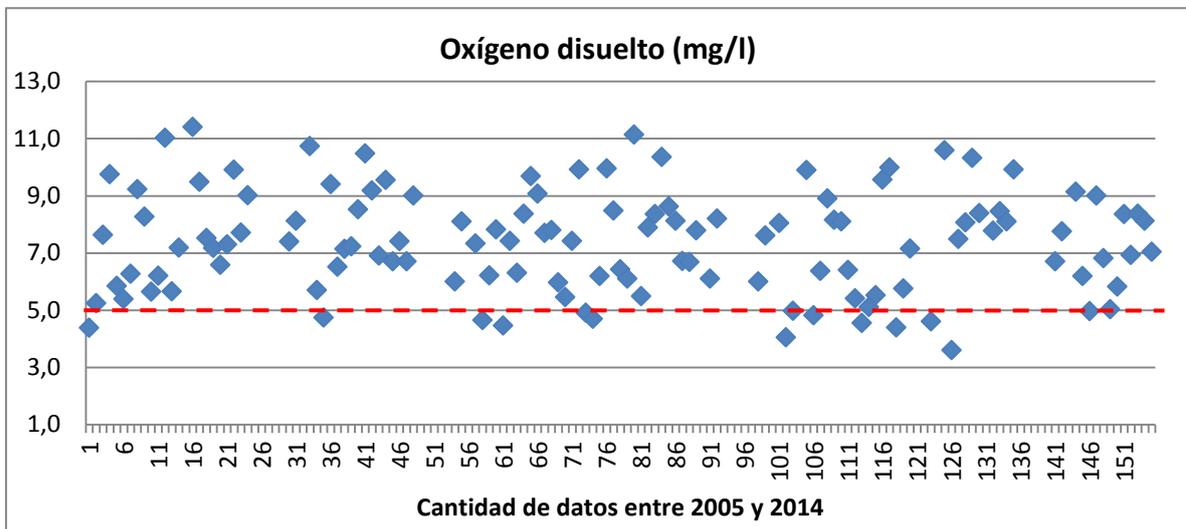


Figura 16. Variación de la concentración de oxígeno disuelto en el río Santa Lucía Chico en las 5 estaciones fluviales de monitoreo durante 10 años de muestreo. La línea punteada indica el valor estándar del Decreto 253/79 (valor mínimo 5 mg/l) para aguas naturales.

Las variación espacial y temporal del OD en el curso de agua mostró variaciones similares entre las estaciones a lo largo del tiempo, aunque diferencias en sus concentraciones promedio (Figura 17). La concentración promedio anual en todas las estaciones de monitoreo presentó valores siempre superiores al límite de calidad, indicando que si bien hay registros puntuales de bajos niveles de oxígeno, el sistema presenta en general buenas condiciones de oxigenación del agua en todo el período de estudio para todos los sitios analizados.

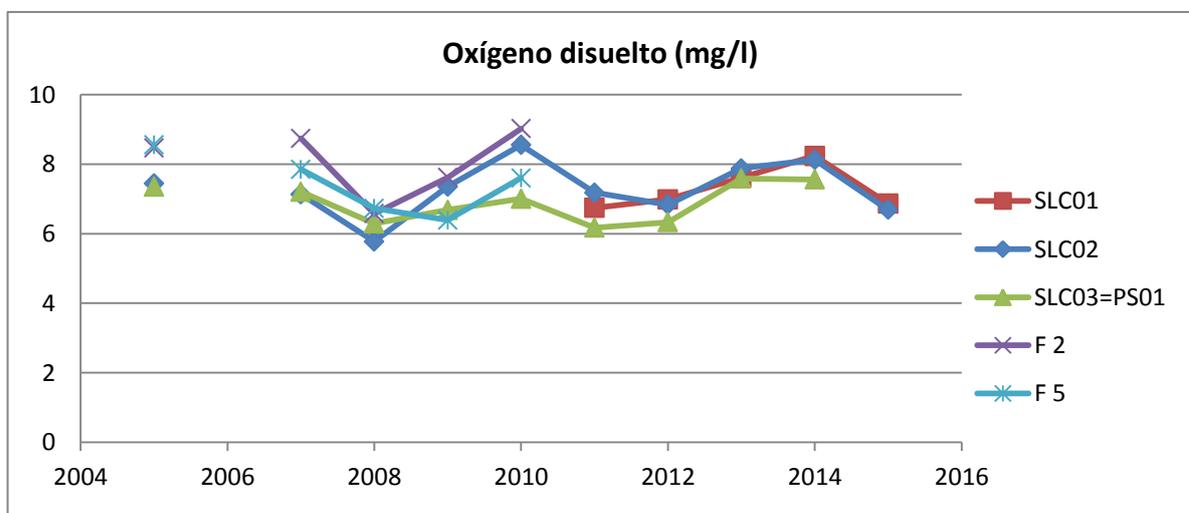


Figura 17. Variación espacial y temporal de la concentración promedio anual de oxígeno disuelto del agua en cada estación de monitoreo en el Río Santa Lucía Chico.

La demanda bioquímica de oxígeno analizada en el río Santa Lucía Chico registró valores desde no detectables hasta 12 mg/l, con una mediana de 2,2 (n=137), para 10 años de monitoreo. Tomando como referencia de calidad el valor de la mediana, la mayor cantidad de registros por encima de éste pertenecen a la estación SLC03 y se dieron en todas las estaciones del año. La legislación establece un estándar de calidad para la DBO5 ≤ 10 mg/l, la cual se cumplió en el 98% de los registros (Figura 18).

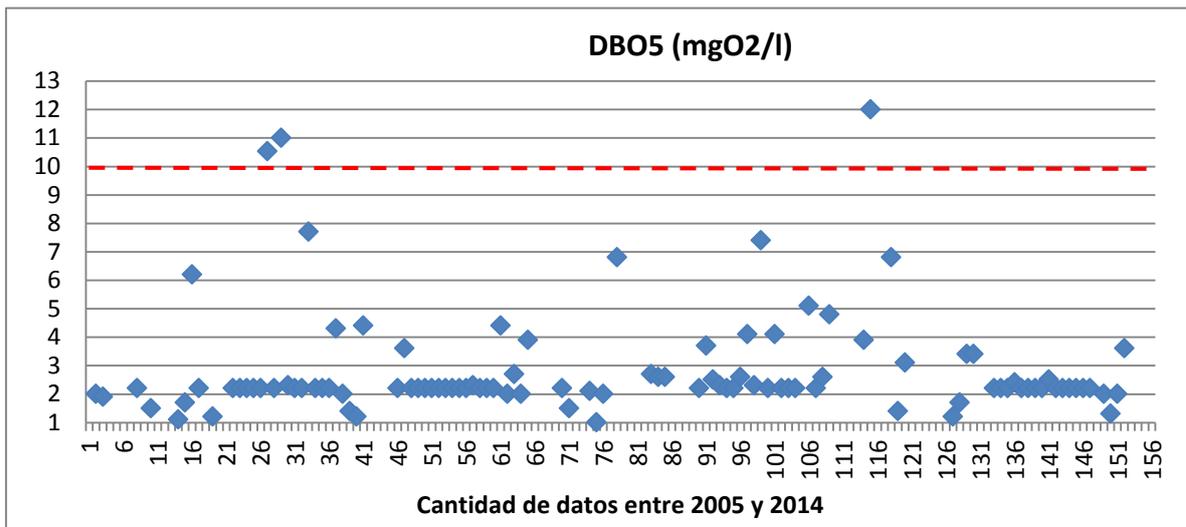


Figura 18. Variación de la demanda bioquímica de oxígeno del río Santa Lucía Chico en las 5 estaciones de monitoreo del curso principal durante 10 años de muestreo. La línea punteada indica el estándar del Decreto 253/79 (valor máximo 10 mgO2/l) para aguas naturales.

La variación espacial y temporal de la DBO5 del río Santa Lucía Chico, mostró diferencias leves en los valores promedio anual entre los sitios de muestreo y entre los años. En todos los sitios se registró una caída entre 2005 y 2010, cuando se registraron los menores valores promedio. A partir de 2011 la DBO5 registró oscilaciones dentro de valores absolutos inferiores a 5 mg/l, lo que se observa en la Figura 19 como valores promedio anual bajos (<3 mg/l), con excepción de SLC03 que en 2011 (n=2) registró un valor de DBO5 promedio de 8 mg/l.

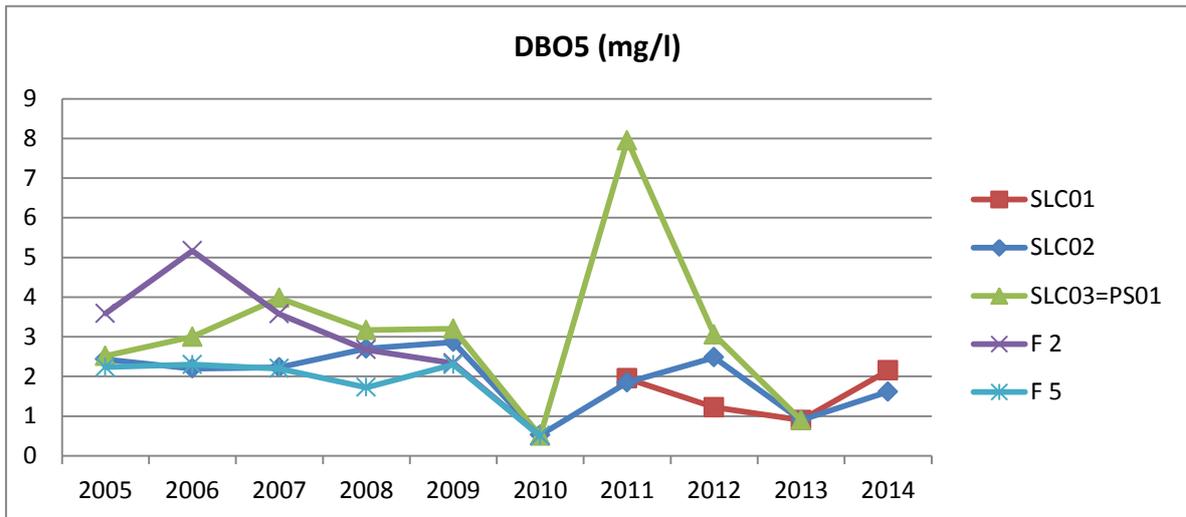


Figura 19. Variación espacial y temporal de la DBO5 promedio anual del agua en cada estación de monitoreo en el Río Santa Lucía Chico.

La turbidez del agua del curso principal del río entre 2005 y 2014 estuvo entre 2 y 50 UNT, con una mediana de 12 UNT (n=130). La totalidad de los registros estuvo dentro del rango de cumplimiento del Decreto 253/79 establecido en 50 UNT (Figura 20).

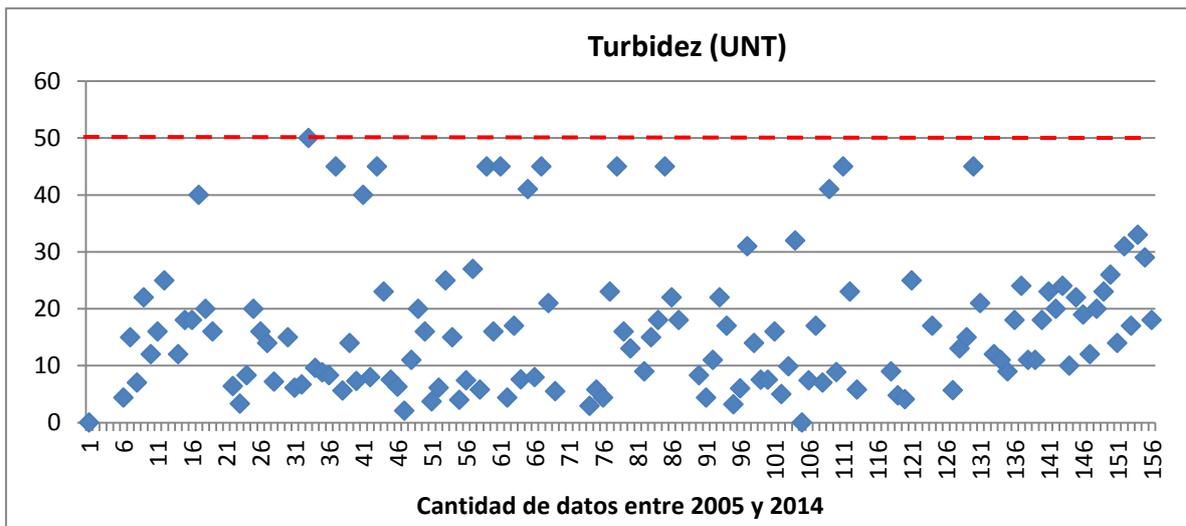


Figura 20. Variación de la turbidez del río Santa Lucía Chico en las 5 estaciones de monitoreo del curso principal durante 10 años de muestreo. La línea punteada indica el valor estándar del Decreto 253/79 (≤ 50 UNT) para aguas naturales

La variación espacial y temporal de la turbidez muestra una tendencia creciente en el tiempo, sin considerar la ausencia de datos de 2011 (Figura 21). Uno de los factores que podría estar asociado al incremento de la turbidez son los sólidos disueltos en el agua, cuyo origen puede ser diverso y entre las diversas fuentes la erosión del suelo es una de ellas. No obstante existen otras fuentes que deben ser investigadas antes de afirmar la causa de esta tendencia creciente.

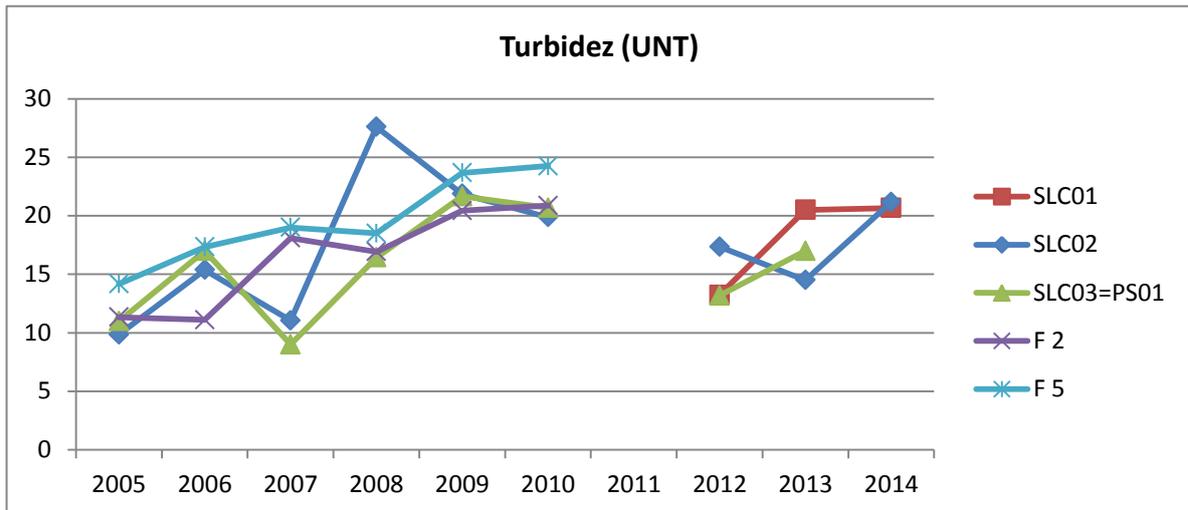


Figura 21. Variación espacial y temporal de la turbidez promedio anual del agua en cada estación de monitoreo en el Río Santa Lucía Chico.

Los niveles de clorofila registrados en este sistema fueron bajos, con un solo valor importante en la estación SLC03 en 2012. La concentración del pigmento estuvo entre 0,1 y 144 $\mu\text{g/l}$, con una mediana de 1,3 $\mu\text{g/l}$ ($n=36$). La variación temporal fue más marcada debido al incremento sucesivo de la concentración de clorofila entre 2009 y 2012 en la estación de ingreso de agua al embalse Paso Severino (Figura 22).

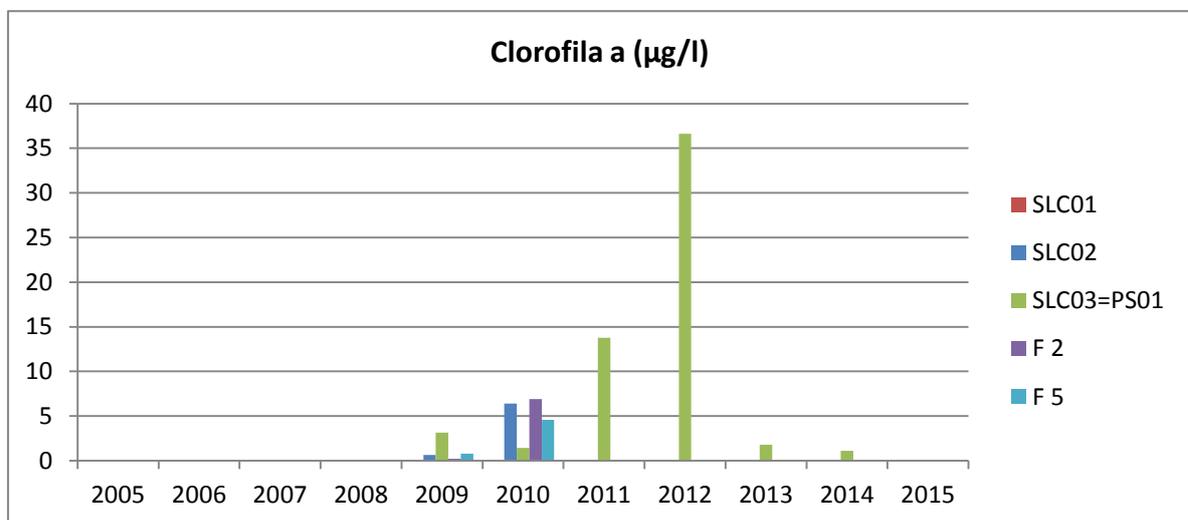


Figura 22. Variación espacial y temporal de la concentración promedio anual de clorofila a en las estaciones de monitoreo en el Río Santa Lucía Chico.

Nutrientes

La concentración de nitrato en el agua superficial del curso principal estuvo entre 0.02 y 2.4 mg/l , con una mediana de 0,28 mg/l ($n=135$). En el total de los registros se observa un incremento de los niveles y mayor amplitud del rango hacia las estaciones de la represa Paso Severino. La totalidad de los registros estuvo dentro del rango de calidad que establece el Decreto 253/79 (10 mg/l), y también

presentó valores inferiores al valor guía de calidad propuesto como modificación del Decreto (5 mg/l). Por lo cual, dicho parámetro cumplió con el estándar de calidad durante los 10 años de monitoreo (Figura 23).

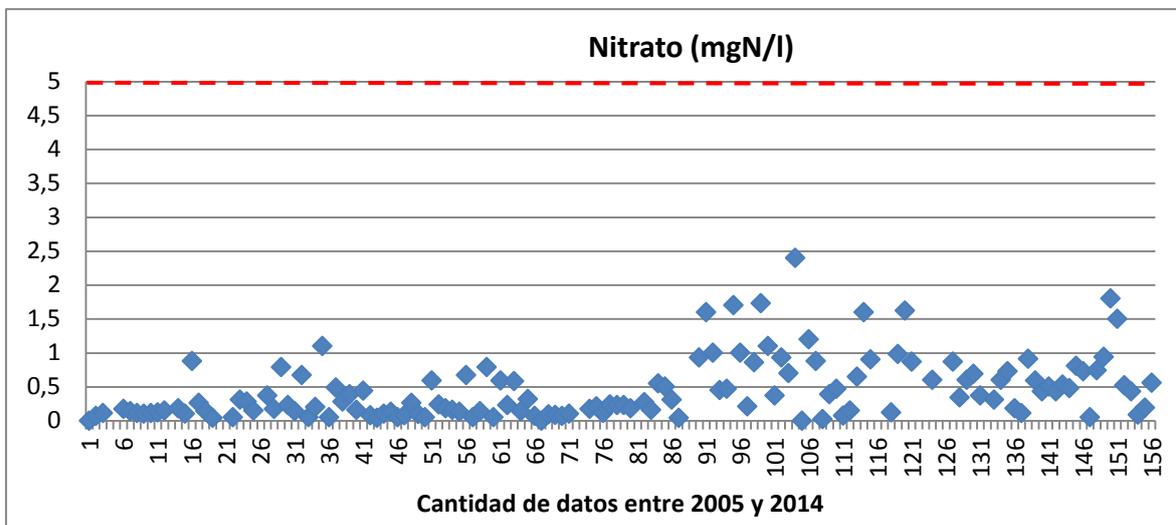


Figura 23. Variación de la concentración de nitrato del río Santa Lucía Chico en las 5 estaciones de monitoreo del curso principal durante 10 años de muestreo. La línea punteada indica el valor guía sugerido para la modificación del Decreto 253/79 (valor máximo 5 mg/l) para aguas naturales.

La variación espacial y temporal de la concentración de nitrato en el río Santa Lucía Chico mostró diferencias entre los sitios y entre los años de estudio. La estación SLC03, aguas abajo de la ciudad de Florida, registró la mayor amplitud en la concentración de esta variable, con valores promedio anual entre 0,3 y 1,4 mg/l, claramente superiores a los valores promedio anual del resto del río (Figura 24). Entre 2008 y 2010 se registró una caída en la concentración de nitrato en todas las estaciones, pero luego esta situación se revirtió en los años sucesivos.

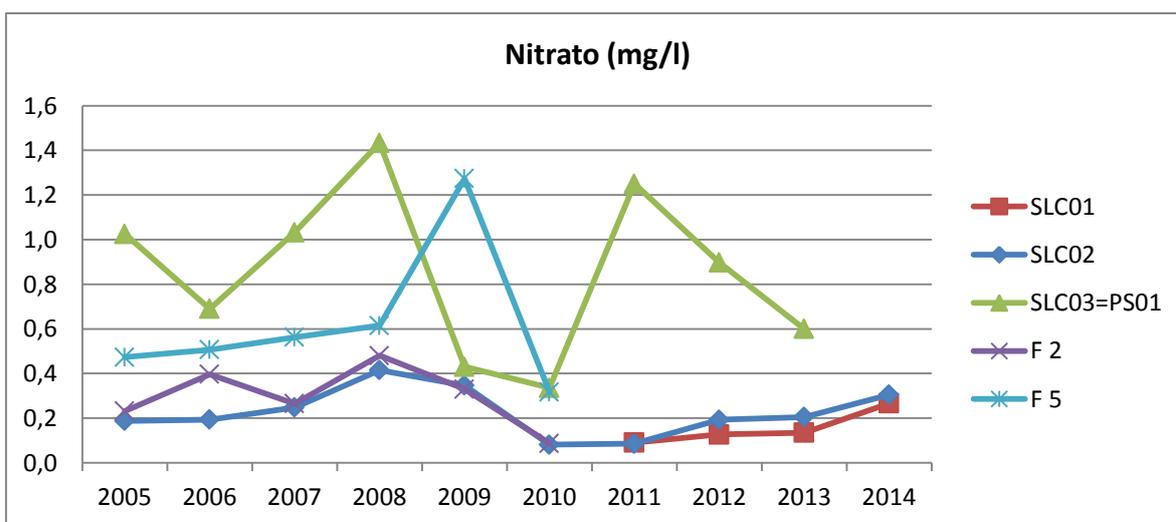


Figura 24. Variación espacial y temporal de la concentración de nitrato promedio anual del agua en cada estación de monitoreo en el Río Santa Lucía Chico.

La concentración de nitrito también mostró gran amplitud, con un rango entre 0,001 y 1,47 mg/l y una mediana de 0,009 mg/l (n=134). El valor guía de calidad que establece la propuesta de modificación del Decreto es de 0,1 mg/l. Durante los 10 años de monitoreo del sistema, se registraron 12 eventos con concentraciones superiores a dicho valor, lo que representa un 9 % de incumplimiento, que se dio con mayor frecuencia en la estación SLC03. En la Figura 25 no se muestra el valor máximo de concentración de nitrito, a fin de visualizar mejor la amplitud de los registros más frecuentes que fueron inferiores a 0,3 mg/l.

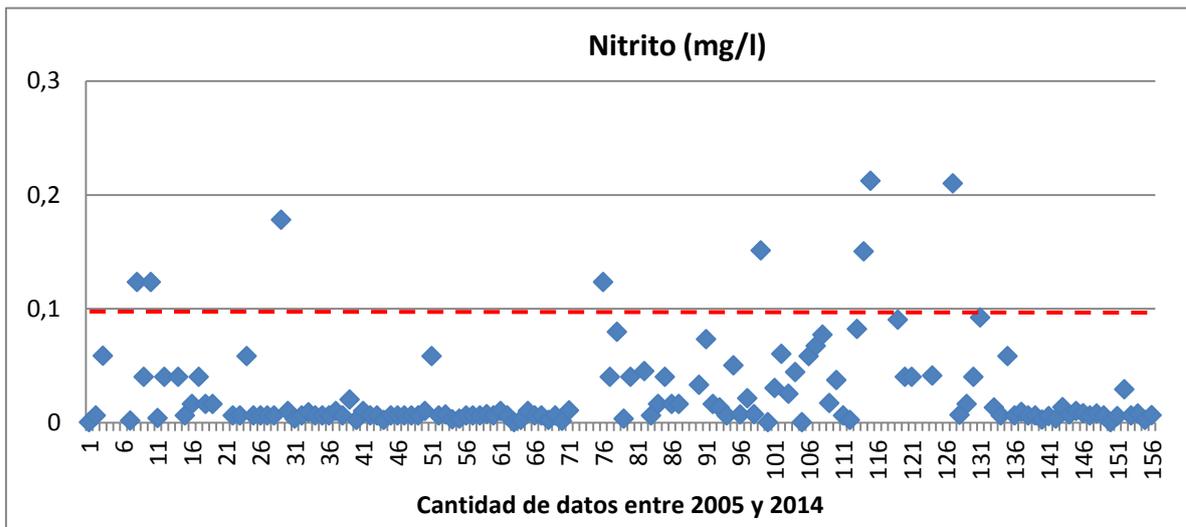


Figura 25. Variación de la concentración de nitrito del río Santa Lucía Chico en las 5 estaciones de monitoreo del curso principal durante 10 años de muestreo. La línea punteada indica el valor guía sugerido para la modificación del Decreto 253/79 (valor máximo 1000 ufc/100ml) para aguas naturales

A lo largo del río Santa Lucía Chico, la concentración promedio anual de nitrito mostró mayores valores en SLC03 en casi todos los registros anuales, indicando condiciones de menor calidad respecto a esta variable en este sitio. En las demás estaciones monitoreadas los valores fueron bajos. En la variación temporal, también se observó que la concentración de nitrito se mantuvo relativamente estable y en niveles bajos hasta 2012 en que se registraron los máximos para el período de estudio, pero cuyos promedios no superaron el valor guía (0,1 mg/l) en todos los sitios de monitoreo. A partir de 2013 los niveles volvieron a caer levemente (Figura 26).

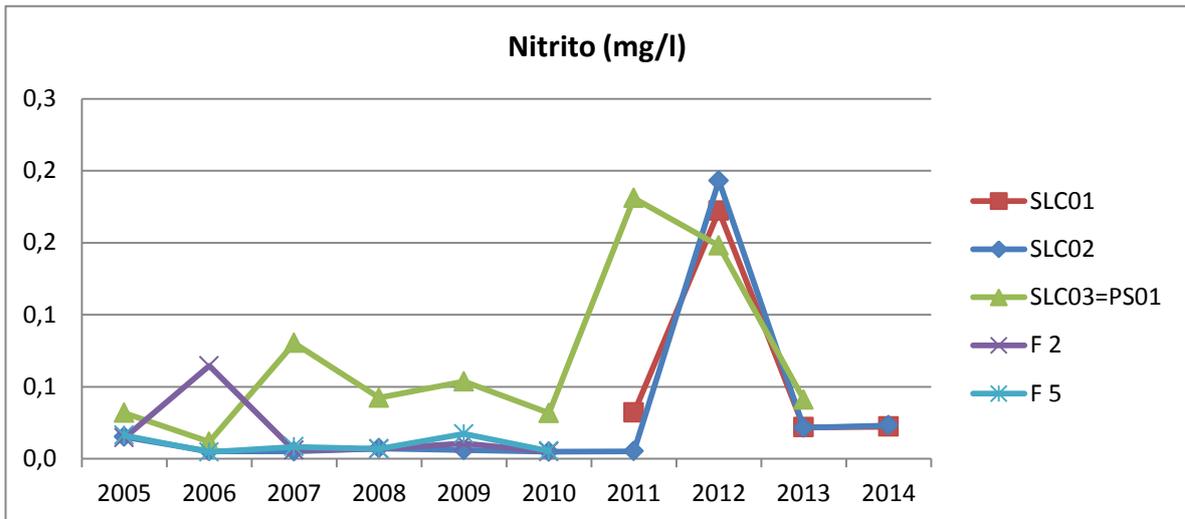


Figura 26. Variación espacial y temporal de la concentración promedio anual de nitrito del agua en cada estación de monitoreo en el Río Santa Lucía Chico.

El amonio, como compuesto reducido de nitrógeno y fácilmente asimilable como nutriente para los organismos productores primarios (plantas y algas), registró un rango de concentración entre 0,007 y 1,93 mg/l con una mediana de 0,050 mg/l (n=134). Nuevamente la estación SLC03 mostró las mayores concentraciones promedio anuales de amonio durante todo el período de monitoreo (Figura 27), mientras que, como era esperable, en la estación aguas arriba en la cuenca (SLC01) se registraron los menores valores.

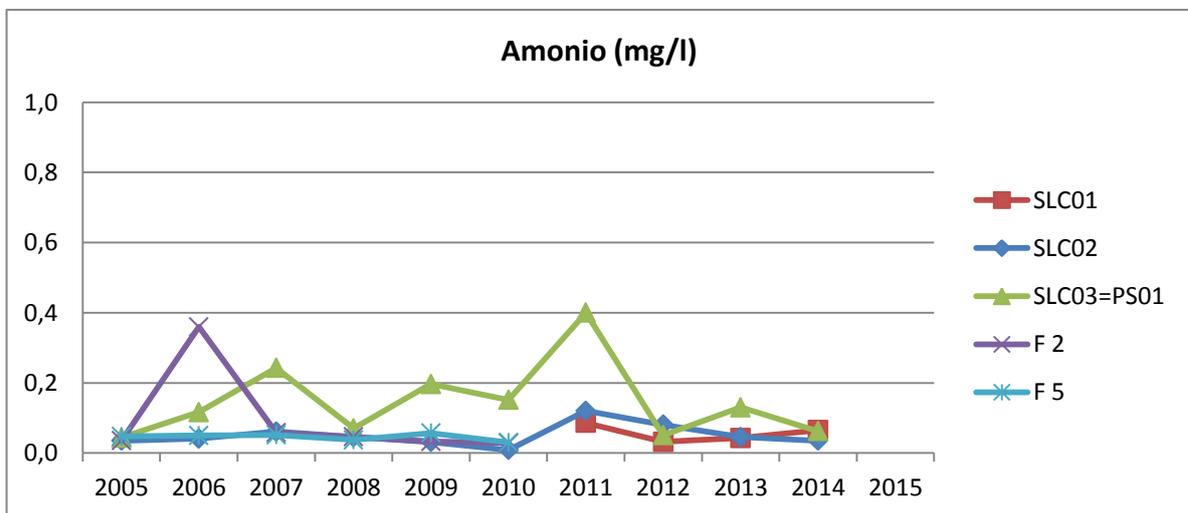


Figura 27. Variación espacial y temporal de la concentración promedio anual de amonio del agua en cada estación de monitoreo en el Río Santa Lucía Chico.

En el programa de monitoreo del río Santa Lucía Chico se registraron concentraciones de PT entre 0,018 y 1,7 mg/l durante los 10 años, con una mediana de 0,188 mg/l (n= 134). La legislación vigente establece un valor estándar de concentración de PT indicador de calidad del agua inferior a 0,025 mg/l. Si bien es un valor fijado en base a datos de bibliografía y sin actualización en función de

información ambiental propia de nuestro país, es el valor vigente para la regulación de la calidad del agua. Como se observa en la Figura 28, los valores de PT del curso principal del río Santa Lucía Chico superaron en su mayoría el estándar de calidad registrando un incumplimiento del 95% de los registros.

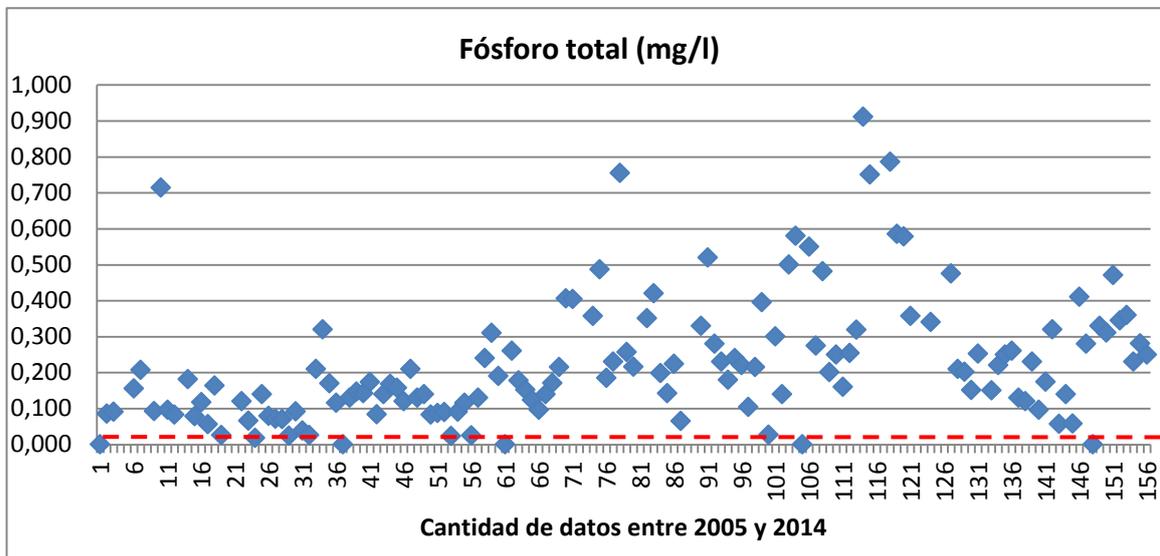


Figura 28. Variación de la concentración de fósforo total del río Santa Lucía Chico en las 5 estaciones de monitoreo del curso principal durante 10 años de muestreo. La línea punteada indica el valor del estándar del Decreto 253/79 (0,025 mg/l) para aguas naturales.

En la variación espacial de la concentración de PT en el curso principal del río Santa Lucía Chico se observa que la estación SLC03 también presentó las concentraciones promedio anuales mayores respecto al resto del sistema. Le siguió F5, abajo del embalse mientras fue estudiada, y SLC02 aguas arriba de la ciudad de Florida. La estación SLC01, cuyo monitoreo se estableció a partir de 2011 como estación de referencia por encontrarse en la cuenca alta del río, también mostró valores altos de PT, si bien relativamente es la de menor concentración promedio en casi todos los años de monitoreo (Figura 29).

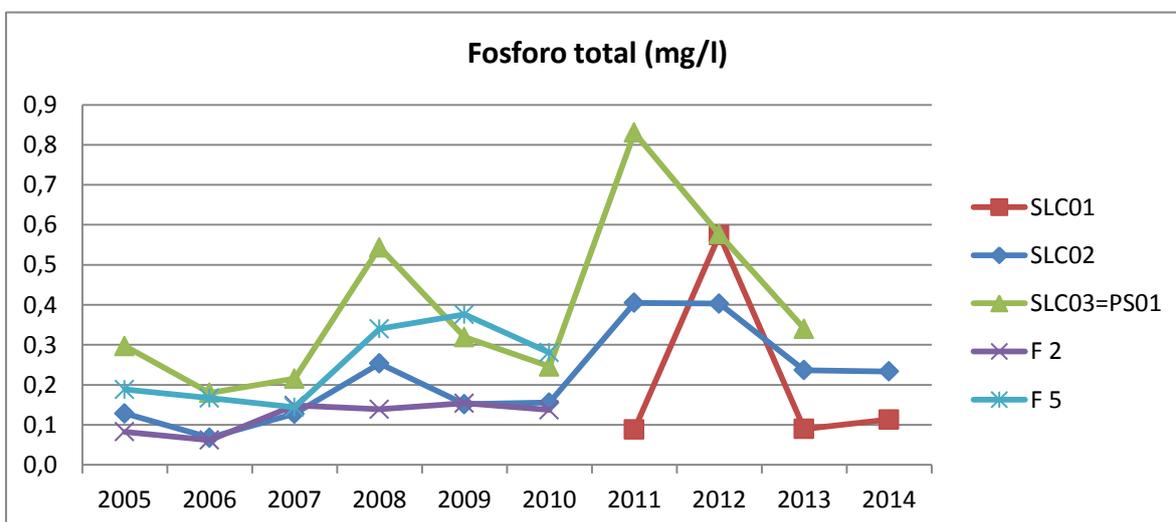


Figura 29. Variación espacial y temporal de la concentración de fósforo total del agua en cada estación de monitoreo en el Río Santa Lucía Chico.

Parámetros microbiológicos del agua

Los coliformes termotolerantes del río Santa Lucía Chico registraron abundancias entre 10 y 70000 ufc/100ml, con una mediana de 390 ufc/100ml (n=112) para el período 2005-2010. No se visualiza un patrón espacial definido. El Decreto 253/79 establece como valor estandar el correspondiente a la media geométrica móvil de 5 datos consecutivos analizados en un período de 30 días, o en su defecto un máximo de 2000 ufc/100ml por muestra puntual. Considerando esta referencia (ya que la frecuencia de muestreo no permite cumplir con el requisito de la media geométrica), el 27% de los registros de coliformes termotolerantes en el río Santa Lucía Chico no cumplió con el estandar de calidad (Figura 30).

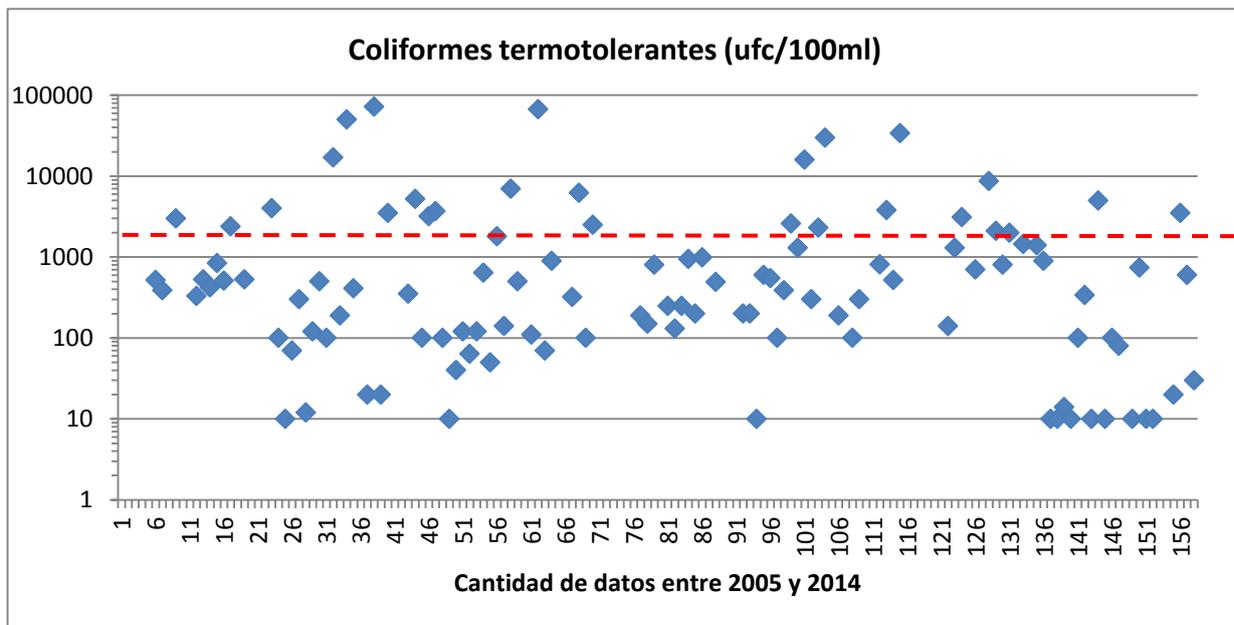


Figura 30. Variación de la concentración de coliformes termotolerantes del río Santa Lucía Chico en las 5 estaciones de monitoreo durante 10 años de muestreo. La línea punteada indica el valor estándar del Decreto 253/79 (valor máximo 2000 ufc/100ml) para aguas naturales.

La variación espacial y temporal de la concentración de coliformes solo fue posible realizarla para los registros del Programa JICA-DINAMA, ya que no se cuentan con datos del Programa de Rediseño. La estación F2, se ubicaba aguas arriba de Florida y junto con SLC02, un poco más abajo de aquella (Figura 10), presentaron los mayores valores promedio de coliformes termotolerantes. La estación SLC03 le siguió pero con niveles menores (Figura 31).

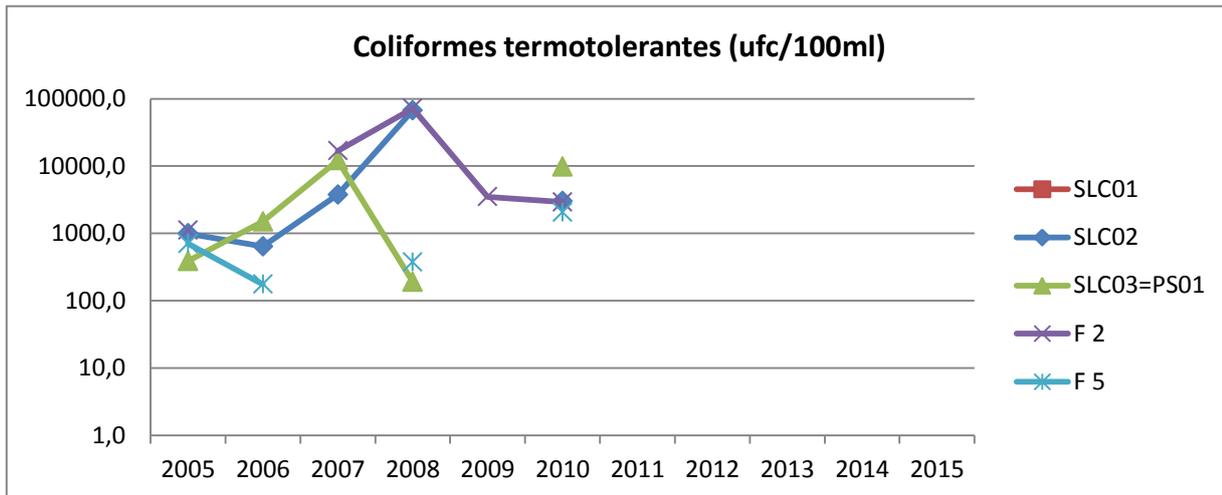


Figura 31. Variación espacial y temporal de la concentración promedio anual de coliformes termotolerantes en cada estación de monitoreo en el Río Santa Lucía Chico.

EMBALSE PASO SEVERINO

El programa de monitoreo de MVOTMA-DINAMA en el embalse Paso Severino se inició a partir de 2011 con el Rediseño del programa de evaluación de calidad de agua. Por esta razón se tiene una serie temporal de 4 años de resultados. Las estaciones de monitoreo se nombraron en función de su importancia en el sistema, de modo que PS01 está en la entrada del embalse, PS02 a la salida del embalse en la represa, PS03 es el segundo punto de monitoreo al ingresar al embalse y PS04 está dentro del embalse, previo a la represa. En los resultados de los gráficos siguientes, los sitios de muestreo se presentan en el orden en que se encuentran en el sistema (PS01, PS03, PS04 y PS02). Se superponen la estación PS01 con SLC03, aguas abajo de la ciudad de Florida, con las mismas coordenadas (Figura 11).

Parámetros físico-químicos del agua

La temperatura del agua en las estaciones del embalse estuvo entre 7,7 y 28,7 °C durante el período de monitoreo (n=79), con una mediana de 22,4 °C. Mostró un comportamiento similar en su variación temporal en casi todas las estaciones de muestreo, con pequeñas diferencias en PS01 (=SLC03), por corresponder a la cola del embalse, con características hidráulicas diferentes al resto. La tendencia mostrada en 2015 hacia una temperatura promedio mayor se debe a que solo se cuenta con datos de verano (Figura 32).

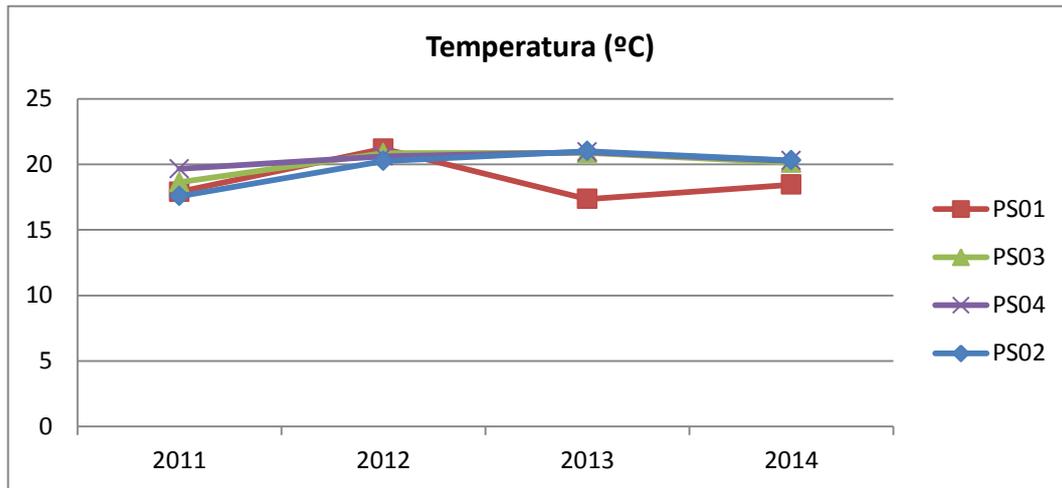


Figura 32. Variación espacial y temporal de la temperatura promedio anual del agua en cada estación de monitoreo en el embalse Paso Severino entre 2011 y 2014.

La conductividad del agua del embalse registró valores entre 57,8 y 595 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con una mediana de 159 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ($n=79$), entre 2011 y 2014. Temporalmente se observa una tendencia al decrecimiento de la conductividad del agua que podría estar dada por un aumento en la cantidad de agua que actúa diluyendo los iones disueltos, o por cambios en la calidad del agua que ingresa al embalse y también contiene anualmente menor concentración de iones. Ambas hipótesis (u otras que expliquen esta disminución) requieren ser demostradas en estudios más completos. No obstante, la misma tendencia a la disminución de la conductividad está registrada en la estación PS01, en la entrada (o cola) al embalse, poniendo en evidencia que desde el curso principal la conductividad del agua disminuyó entre 2011 y 2014 (Figura 33).

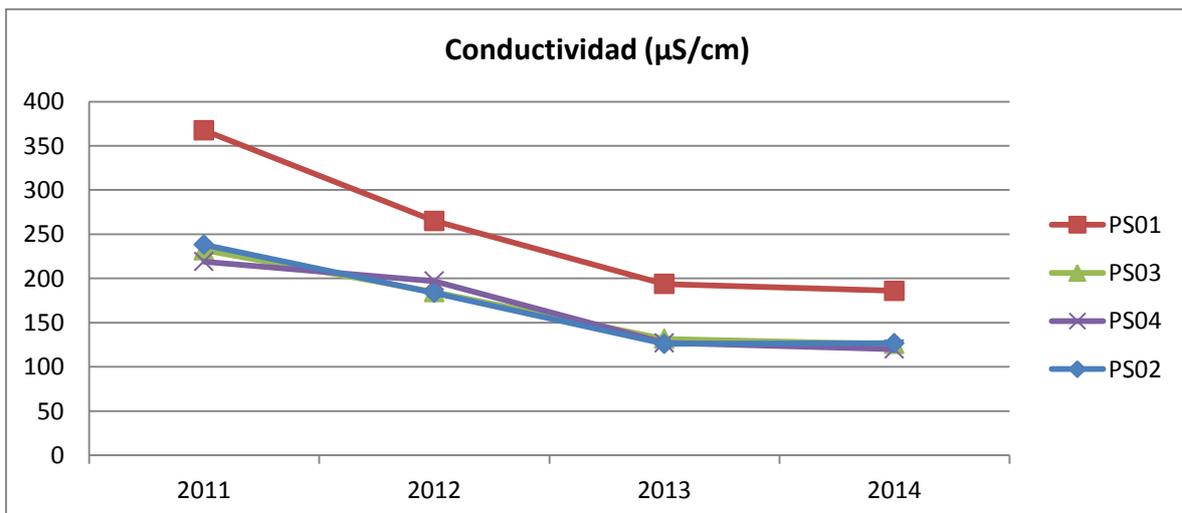


Figura 33. Variación espacial y temporal de la conductividad promedio anual del agua en cada estación de monitoreo en el Embalse Paso Severino entre 2011 y 2014.

El pH del agua del embalse registró valores entre 6,15 y 9,15, con una mediana de 7,6 (n=80). El sistema cumplió con el estándar de calidad para esta variable, excepto en 6 ocasiones que representan el 7% de no cumplimiento para el pH (Figura 34). En 5 de estas ocasiones, el pH fue <6,5 y se registraron en julio de 2011 en todas las estaciones de monitoreo.

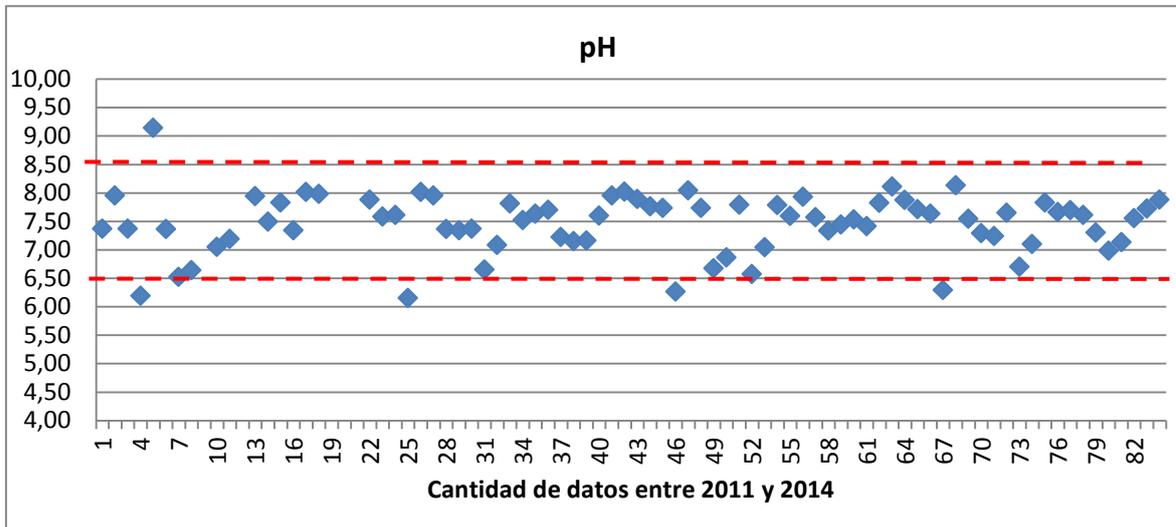


Figura 34. Variación del pH del embalse Paso Severino en las 4 estaciones de monitoreo durante 4 años de muestreo. La línea punteada indica el rango del estándar del Decreto 253/79 (6,5 a 8,5) para aguas naturales.

En la Figura 35 se observa que la variación temporal del pH mostró una leve tendencia al incremento entre 2011 y 2014. Especialmente, la estación PS01 mostró esta tendencia en forma más marcada.

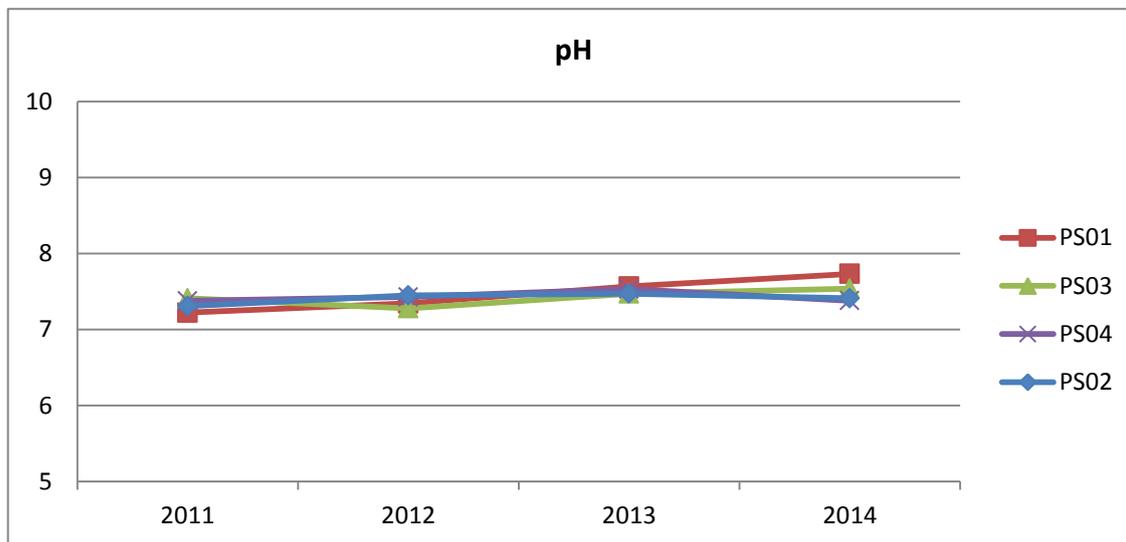


Figura 35 Variación espacial y temporal del pH promedio anual del agua en cada estación de monitoreo en el Embalse Paso Severino entre 2011 y 2015

La concentración de oxígeno disuelto en el agua del embalse registró valores entre 3,6 y 10,6 mg/l, con una mediana de 7,1 mg/l (n=79). La mayoría de los registros estuvieron por encima del valor mínimo que indica el estándar de calidad (5 mg/l), registrándose incumplimiento para el 7,6 % de los

resultados (Figura 36). Los menores valores de concentración de OD se registraron con mayor frecuencia en la estación PS01, en los años 2011 y 2012.

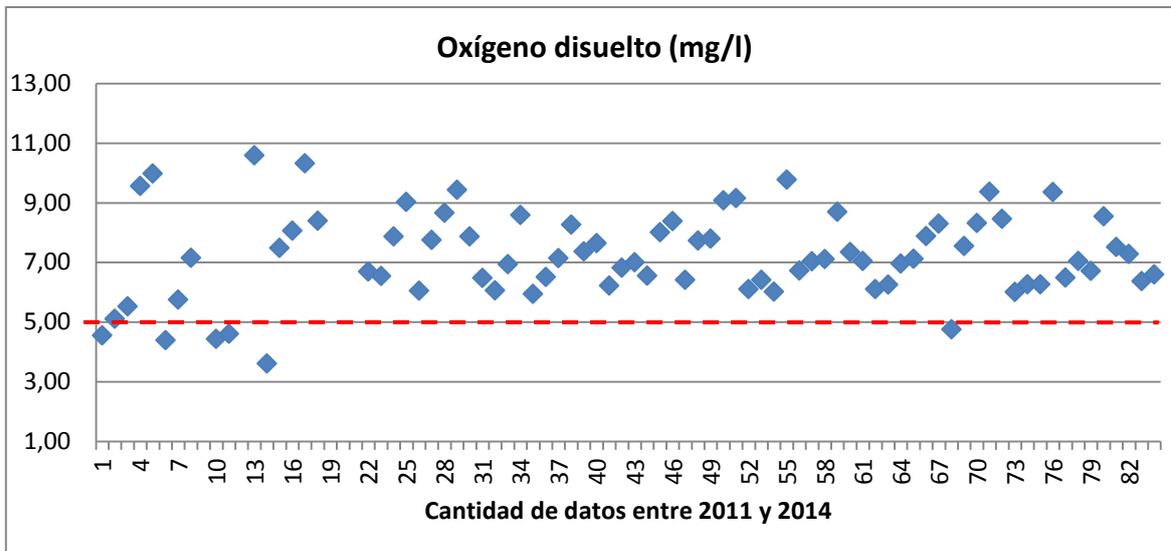


Figura 36. Variación de la concentración de oxígeno disuelto en el embalse Paso Severino en las 4 estaciones de monitoreo durante 4 años de muestreo. La línea punteada indica el valor estándar del Decreto 253/79 (valor mínimo 5 mg/l) para aguas naturales.

La variación temporal de la concentración de oxígeno en el agua del embalse, mostró una leve tendencia a la disminución en el tiempo (Figura 37). Las causas que expliquen esta disminución pueden ser realmente muy diversas, entre las que se encuentran factores físicos relativos a la temperatura del agua y la turbulencia; factores bioquímicos relativos a la demanda por degradación de materia orgánica; factores biológicos relativos a la producción y consumo de oxígeno por parte de la biota del sistema. En todos los casos, la explicación a esta tendencia requiere un análisis de los datos que considere otras variables no incluidas en este informe. Especialmente, en la Figura 37 se observa la separación de la estación PS01 en los valores promedio anual de la concentración de oxígeno, mostrando sus menores niveles en los primeros años del monitoreo.

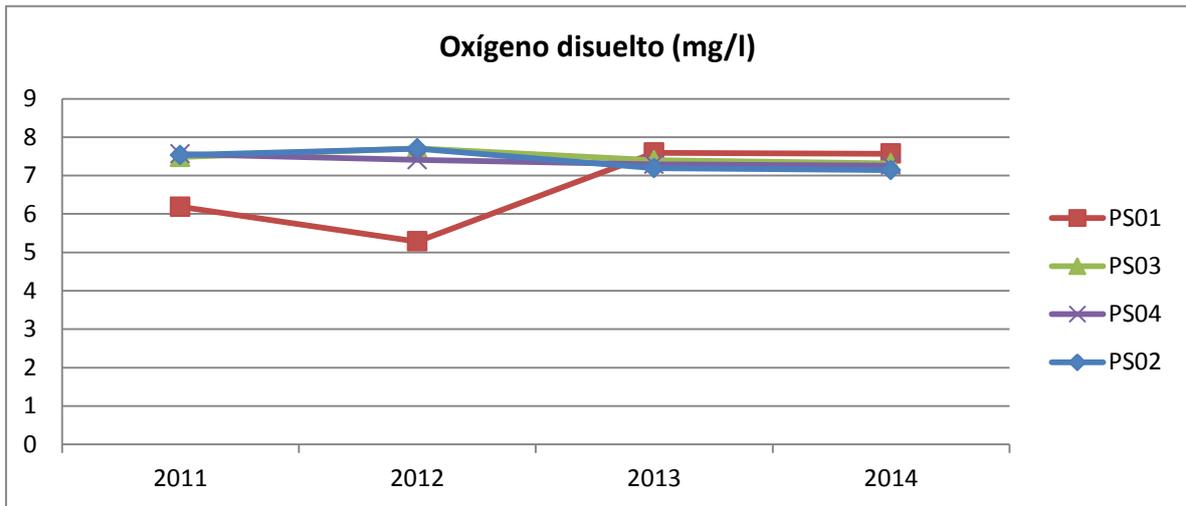


Figura 37. Variación espacial y temporal de la concentración de oxígeno disuelto, promedio anual, del agua en cada estación de monitoreo en el embalse Paso Severino.

La información obtenida para analizar la demanda bioquímica de oxígeno en el embalse fue escasa, ya que solo se refiere a la estación PS01 (Figura 38). El rango de DBO5 estuvo entre 0,5 y 12 mgO₂/l, con una mediana de 2,7 mg/l (n=14). Los años que registraron mayor consumo de oxígeno para degradación de materia orgánica fueron 2011 y 2012, principalmente por los valores registrados en marzo y enero, respectivamente.

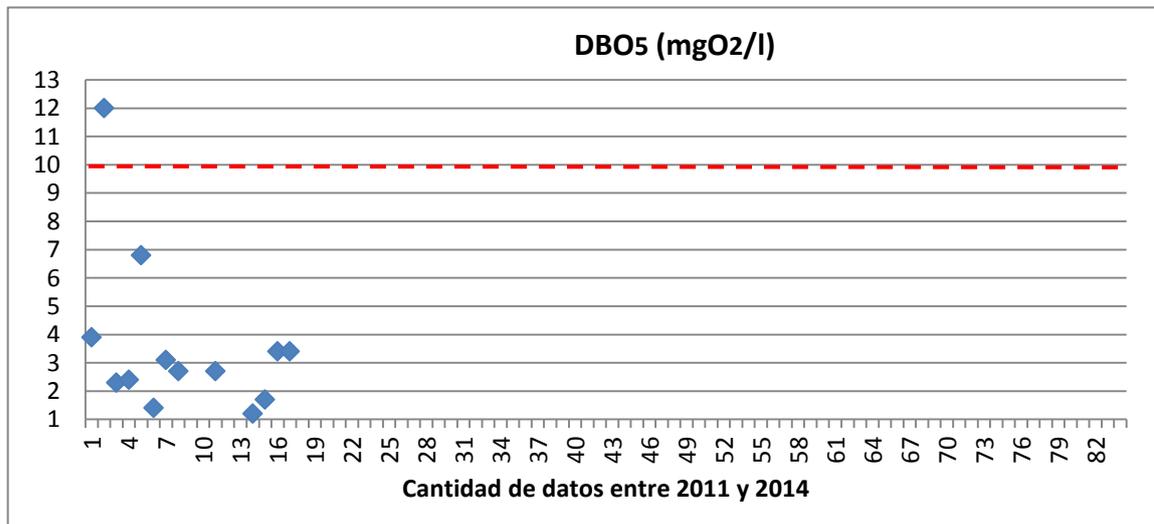


Figura 38. Variación de la demanda bioquímica de oxígeno en el embalse Paso Severino en la estación PS01 durante 4 años de muestreo. La línea punteada indica el valor estándar del Decreto 253/79 (valor máximo 10 mgO₂/l) para aguas naturales.

La variación temporal de la DBO5 en el embalse Paso Severino, medida en la zona del ingreso de agua al sistema durante 4 años, muestra una tendencia a la disminución (Figura 39). Sin embargo lo que muestra la gráfica es una disminución en los límites de cuantificación metodológico, ya que los

resultados fueron siempre expresados como “<LC” (menor al límite de cuantificación). Por lo tanto lo que disminuyó promedialmente cada año fue el LC analítico.

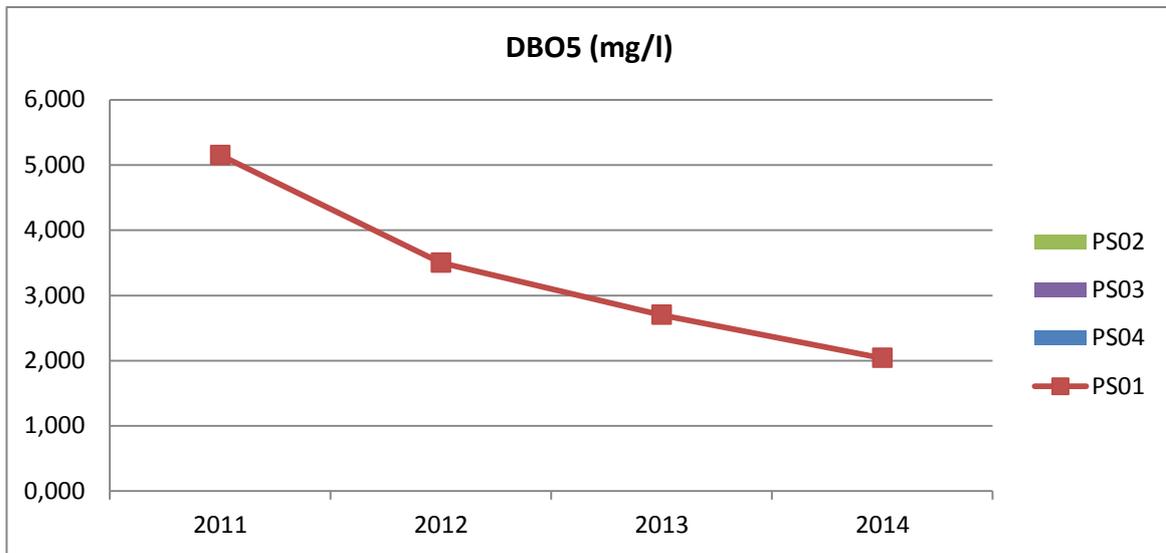


Figura 39. Variación temporal de la demanda bioquímica de oxígeno, promedio anual, en la estación PS01 del embalse Paso Severino entre 2011 y 2014.

La turbidez del agua del embalse es un parámetro muy significativo en la calidad del agua, debido a que ejerce control en el desarrollo de las microalgas por limitar la calidad de la luz que reciben para realizar la fotosíntesis. Eso incide en el resto de la trama trófica del sistema, sustentado por las microalgas. Para el período de estudio, la turbidez presentó valores entre 4 y 50 UNT, con una mediana de 15 UNT (n= 79). Como se observa en la Figura 40, dentro del rango de calidad que establece la legislación hay una importante dispersión de los valores de turbidez, no obstante el 100% de los registros de este parámetro cumple con el estándar de calidad (50 UNT).

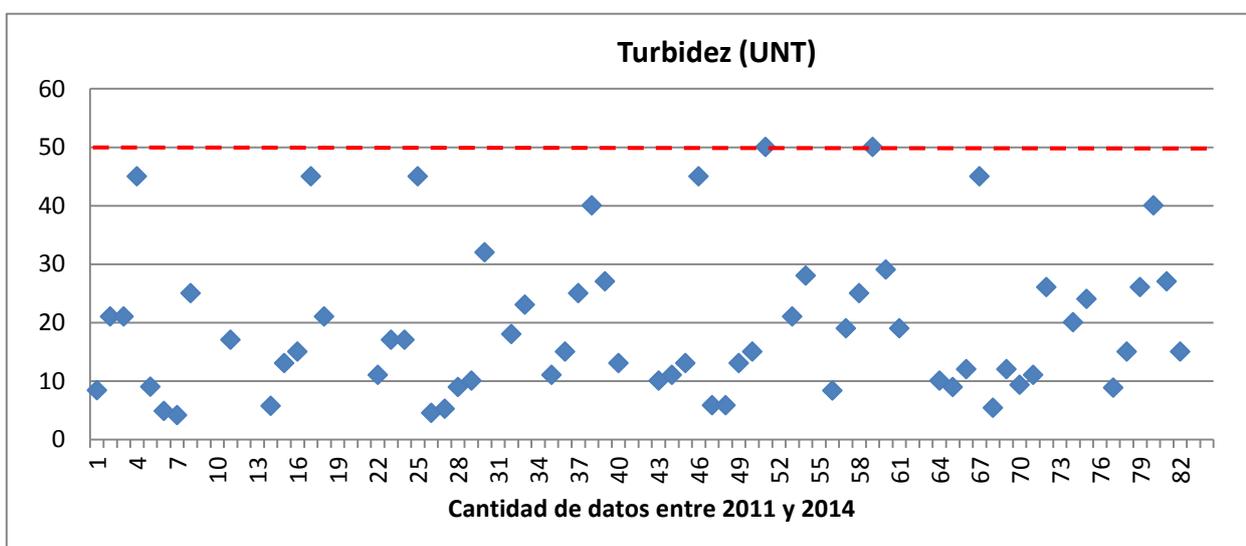


Figura 40. Variación de la turbidez del agua en el embalse Paso Severino en las 4 estaciones de monitoreo durante 4 años de muestreo. La línea punteada indica el valor estándar del Decreto 253/79 (valor máximo 50 UNT) para aguas naturales

En el análisis espaciotemporal de la turbidez, se observa que la estación PS03 es promedialmente más turbia, ubicada en la zona central del embalse; mientras que la menos turbia es PS01 en la cola del mismo. Entre los años de monitoreo, se observa una tendencia al incremento de la turbidez del agua a partir de 2012. Sin embargo, son pocos años de datos para establecer tendencias claras (Figura 41).

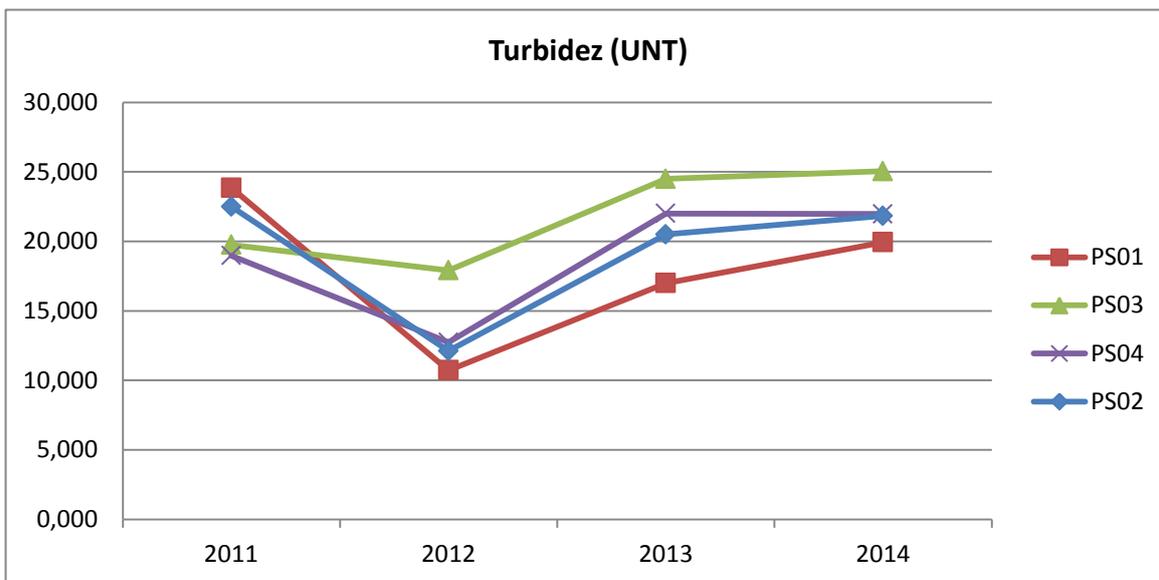


Figura 41. Variación temporal de la turbidez promedio anual, del embalse Paso Severino entre 2011 y 2014

La concentración de la clorofila *a* en el agua del embalse, indicador de la presencia de organismos fotosintetizadores como las microalgas y cianobacterias, registró un rango entre 0,1 y 144 µg/l, con una mediana de 0,65 µg/l (n=64). El valor máximo se registró en enero 2012 en PS01 (Figura 42).

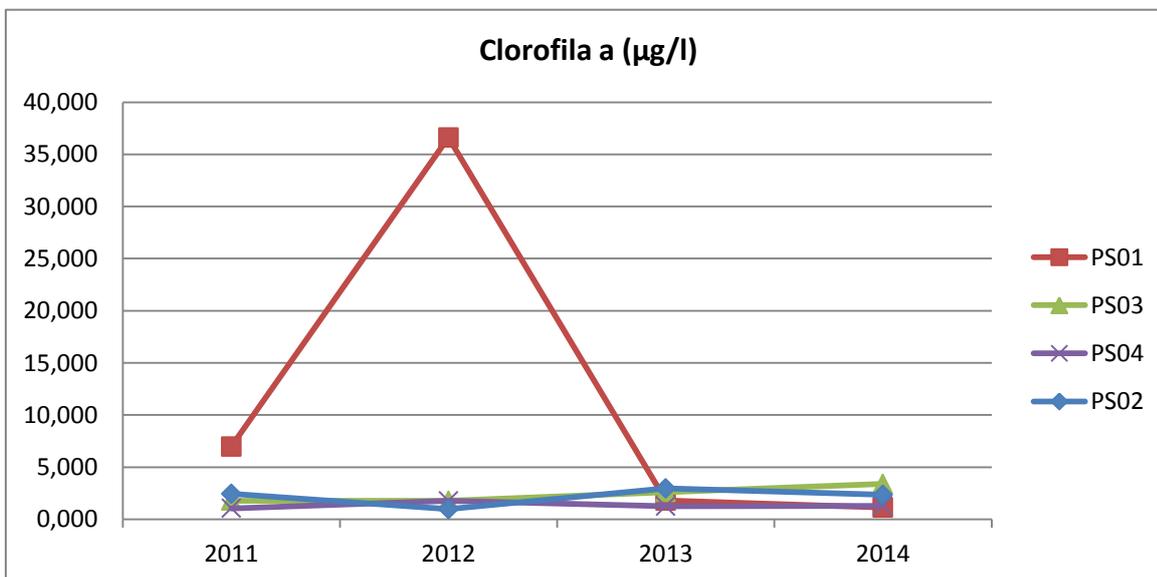


Figura 42. Variación espacial y temporal de la concentración de clorofila a, promedio anual, en el embalse Paso Severino.

Nutrientes

La concentración de nitrato en el embalse Paso Severino registró valores entre 0,04 y 1,62 mg/l, con una mediana de 0,62 mg/l y n=65. De acuerdo con la normativa actual y con la propuesta de modificación, la calidad del agua del embalse cumple en un 100% (Figura 43).

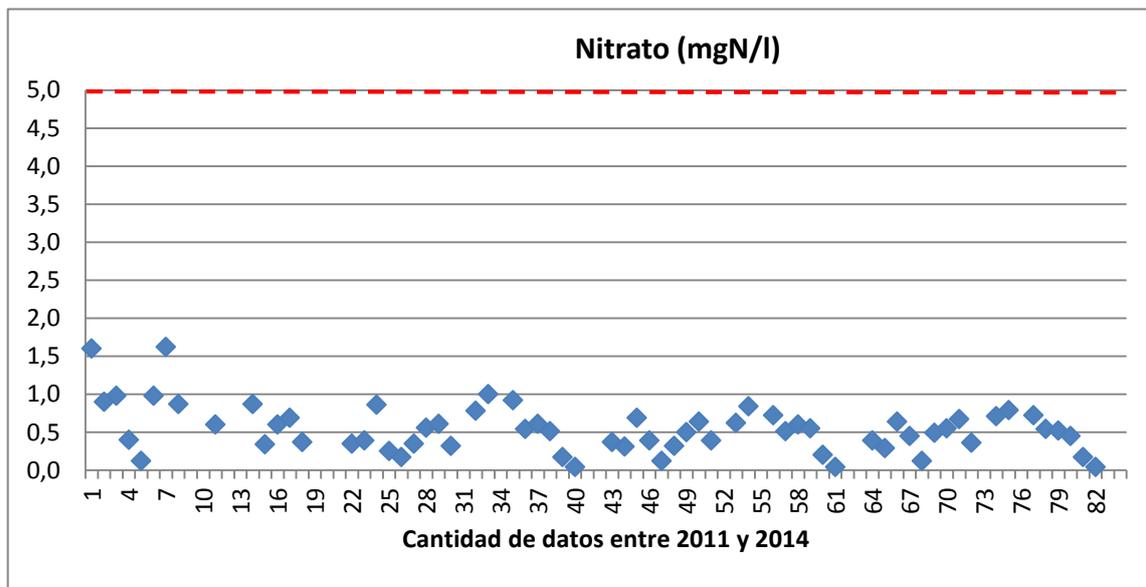


Figura 43. Variación de la concentración de nitrato del agua en el embalse Paso Severino en las 4 estaciones de monitoreo durante 4 años de muestreo. La línea punteada indica el valor guía propuesto para modificar el estándar del Decreto 253/79 (≤ 5 mg/l) para aguas naturales

La variación espacio-temporal de la concentración de nitrato en el embalse mostró diferencias entre la estación PS01 y el resto. En dicha estación la concentración promedio anual tuvo un marcado decrecimiento entre 2011 y 2014. Mientras que las demás estaciones, todas situadas en el cuerpo del embalse, registraron comportamientos iguales con una tendencia creciente hacia 2013, que luego cayó en 2014 (Figura 44).

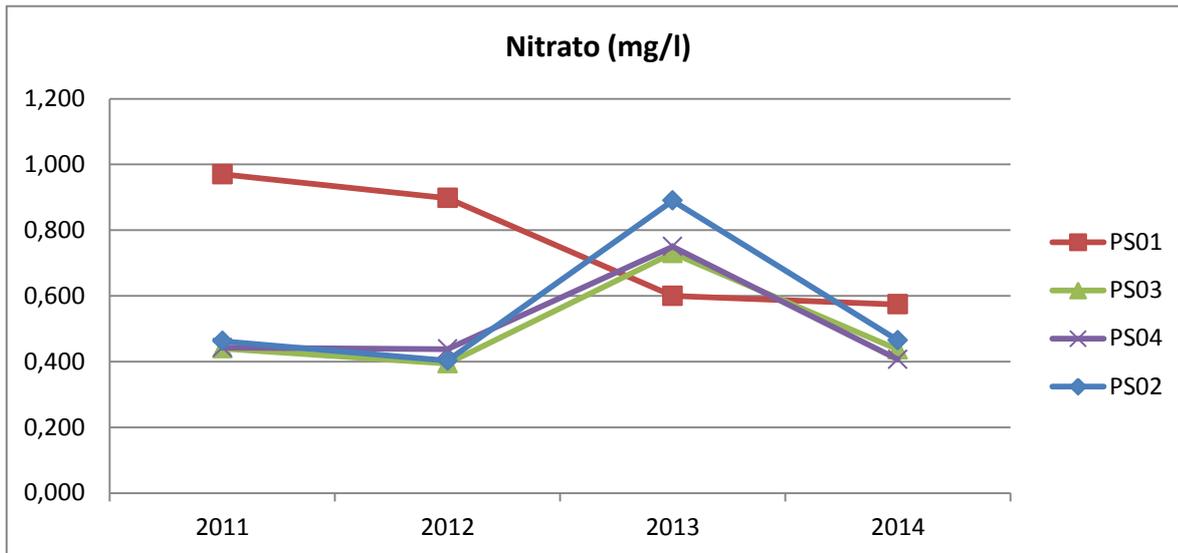


Figura 44. Variación espacial y temporal de la concentración de nitrato del agua en el embalse Paso Severino.

Por su parte, el nitrito registró algunos valores superiores al valor guía sugerido para modificar el Decreto 253/79. En la Figura 45 se observa que algunos datos superaron ampliamente el límite de 0,1 mg/l, no pudiendo explicarse las razones desde lo ambiental, ya que en las mismas fechas los demás parámetros asociados al nitrito estuvieron en valores aceptables. El rango de concentración estuvo entre 0.0012 y 1.47 mg/l, con una mediana de 0,04 mg/l y n=65.

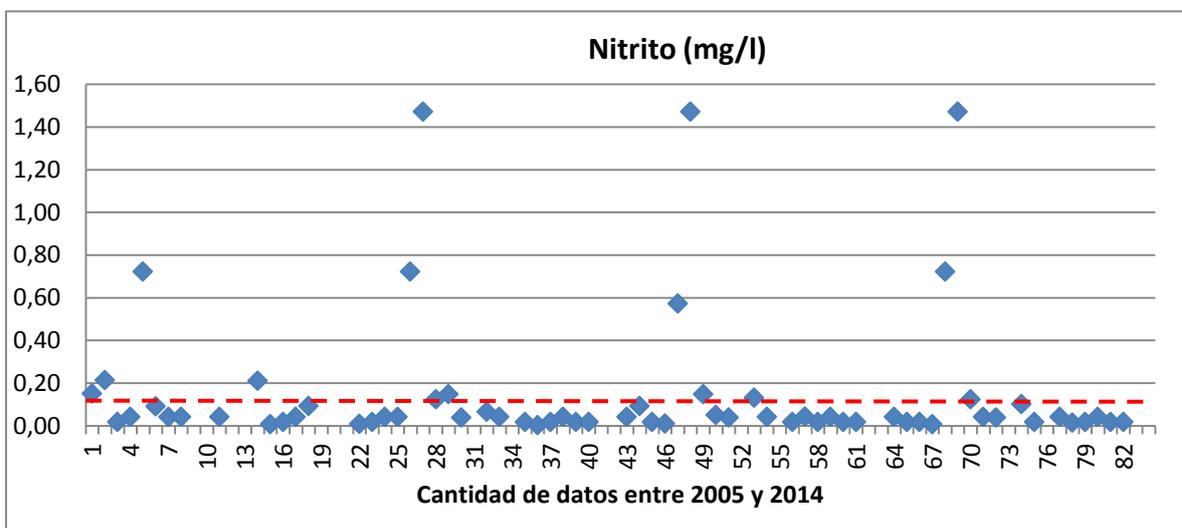


Figura 45. Variación de la concentración de nitrito del agua en el embalse Paso Severino en las 4 estaciones de monitoreo durante 4 años de muestreo. La línea punteada indica el valor guía propuesto para modificar el estándar del Decreto 253/79 (0,1 mg/l) para aguas naturales

La variación temporal de la concentración promedio anual de nitrito fue mayor que la espacial. En tal sentido, se registró un importante incremento en 2012 en todas las estaciones; siendo más marcada en el cuerpo principal del embalse respecto a la estación PS01 de la cola (Figura 46).

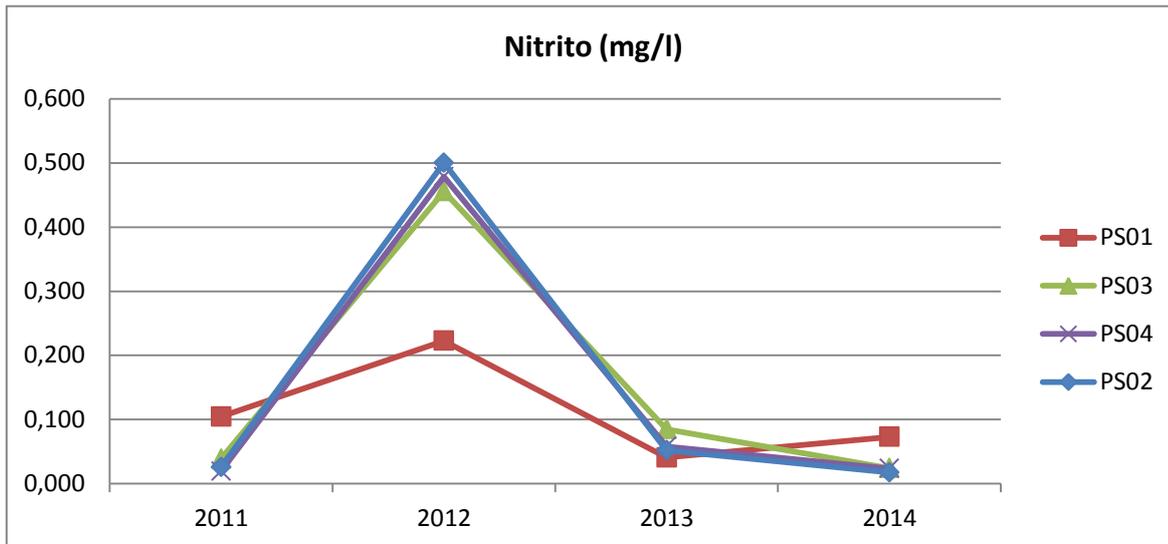


Figura 46. Variación espacial y temporal de la concentración promedio anual de nitrito del agua en cada estación de monitoreo en el embalse Paso Severino

La concentración de amonio del embalse mostró diferencias espaciales y temporales. Como ocurrió con otros parámetros, las estaciones del cuerpo del embalse presentaron un comportamiento similar entre sí y diferente a la estación de la cola PS01. No obstante en todas se registró una tendencia decreciente de la concentración de amonio en el tiempo (Figura 47).

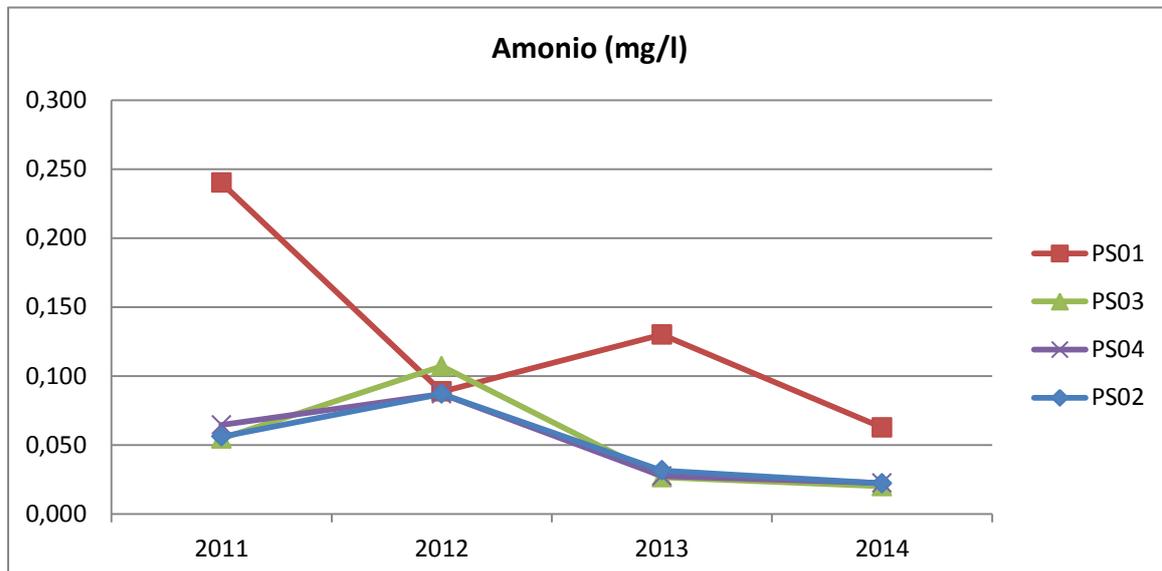


Figura 47. Variación espacial y temporal de la concentración promedio anual de amonio en el agua del embalse Paso Severino.

Dado que la concentración de nitrógeno total en el embalse se comenzó a medir en el año 2014 no es posible realizar un análisis de la evolución temporal, por lo cual se presentan los resultados alcanzados en ese año en las cuatro estaciones consideradas. La concentración de NT estuvo entre 0,99 y 2,37 mg/l con una mediana de 1,34 mg/l (n=23). La estación de ingreso al embalse fue la que

registró la mayor concentración promedio, no obstante los promedios anuales fueron muy similares entre sí (Figura 48).

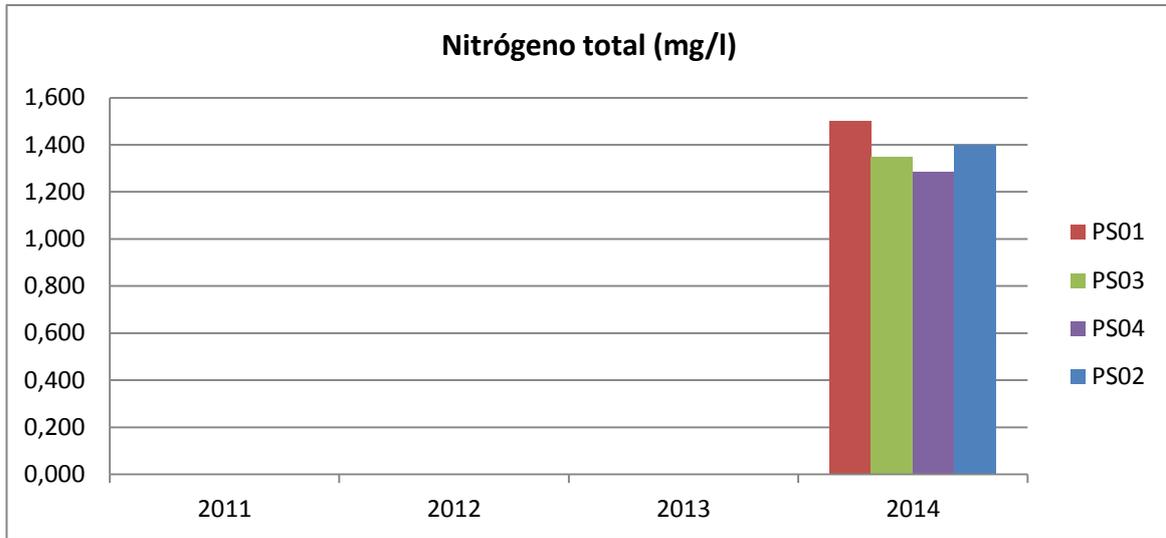


Figura 48. Variación espacial de la concentración de nitrógeno total en el embalse Paso Severino.

Los niveles de fósforo total en el Embalse Paso Severino superaron el valor del estándar en la totalidad de los registros. El rango de concentración estuvo entre 0,150 y 0,900 mg/l, con una mediana de 0,345 mg/l (n=64). La representación gráfica de la Figura 49 muestra ciclos en la concentración del nutriente, cuyos máximos se corresponden con los muestreos que van entre noviembre 2012 y julio 2013 en todas las estaciones del cuerpo del embalse. La estación PS01 que se representa en los 20 primeros registros del gráfico, son los más dispersos y que no responden a estos ciclos.

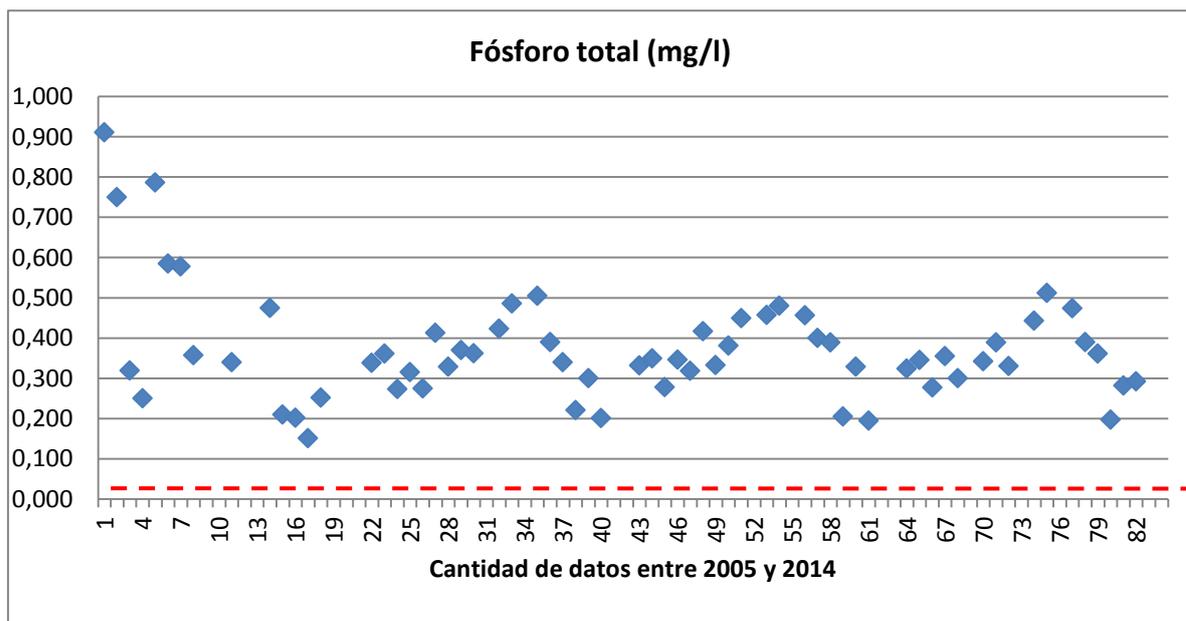


Figura 49. Variación de la concentración de fósforo total en el embalse Paso Severino en las 4 estaciones de monitoreo durante 4 años de muestreo. La línea punteada indica el valor estándar del Decreto 253/79 (0,025 mg/l) para aguas naturales

En el análisis de la variación espacial y temporal de la concentración de PT en el embalse, se observa que la concentración promedio anual de PS01 mostró una caída en el tiempo, mientras que en las estaciones del cuerpo del embalse se registró un leve incremento y posterior caída de los valores promedio anual (Figura 50).

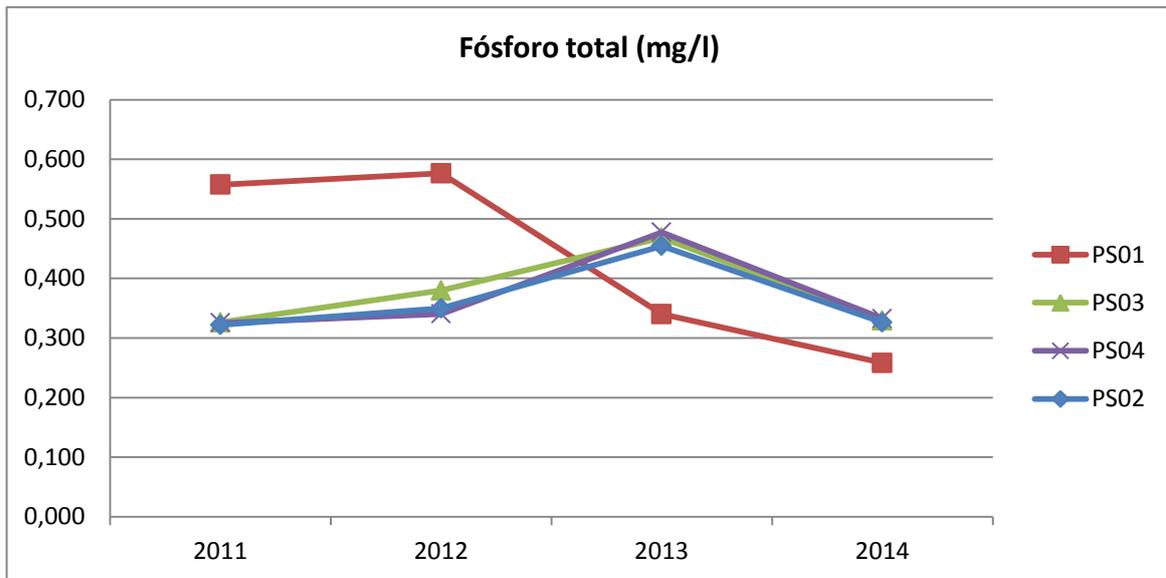


Figura 50. Variación espacial y temporal de la concentración de fósforo total en el embalse Paso Severino.

Parámetros microbiológicos del agua

Los coliformes termotolerantes en el Embalse Paso Severino registraron valores dentro de los estándares de calidad que indica la legislación, excepto en la estación de la cola o ingreso de agua al embalse. En todo el sistema, el rango de concentración estuvo entre 4 y 8700 ufc/100 ml con una mediana de 40 ufc/100 ml (n=33). Es altamente probable que exista un efecto de dilución de la concentración de coliformes en el cuerpo del embalse (Figura 51). El sistema cumplió con el estándar de calidad para coliformes en el 91% de los registros.

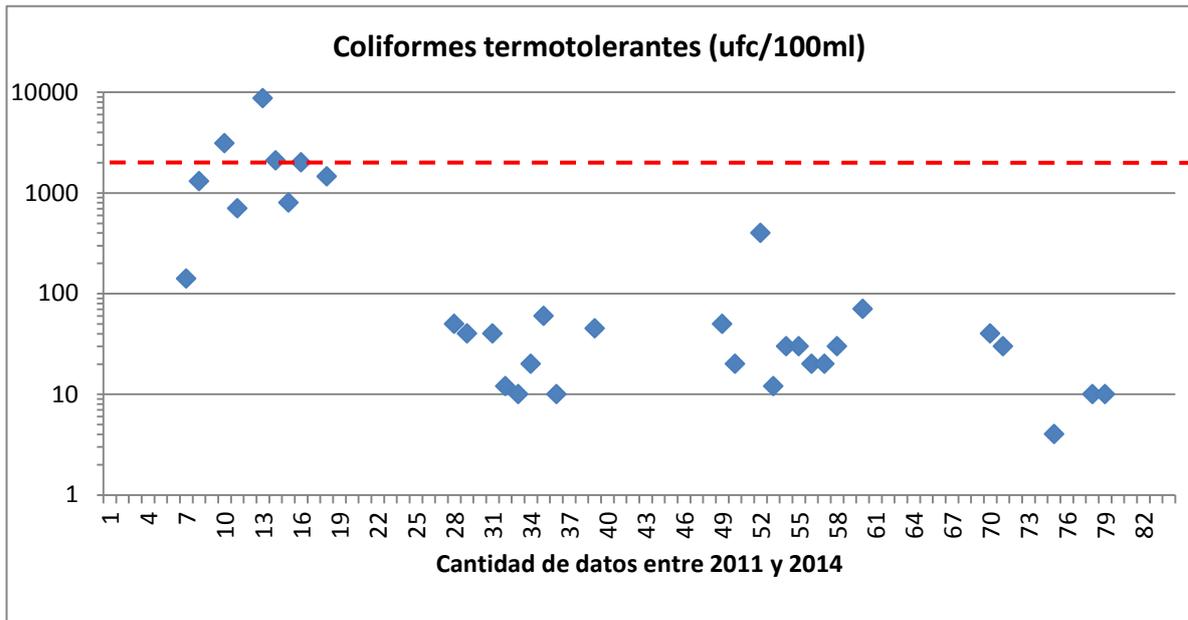


Figura 51. Variación de la abundancia de coliformes termotorlerantes en el embalse Paso Severino en las 4 estaciones de monitoreo durante 4 años de muestreo. La línea punteada indica el valor estándar del Decreto 253/79 (2000 ufc/100ml) para aguas naturales

Por su parte, en la variación espacial y temporal, los coliformes termotolerantes mostraron un comportamiento opuesto entre la estación PS01 y el resto, con un incremento hacia 2013 y posterior caída en aquella, pero un decaimiento y posterior incremento en las estaciones del cuerpo del embalse (Figura 52).

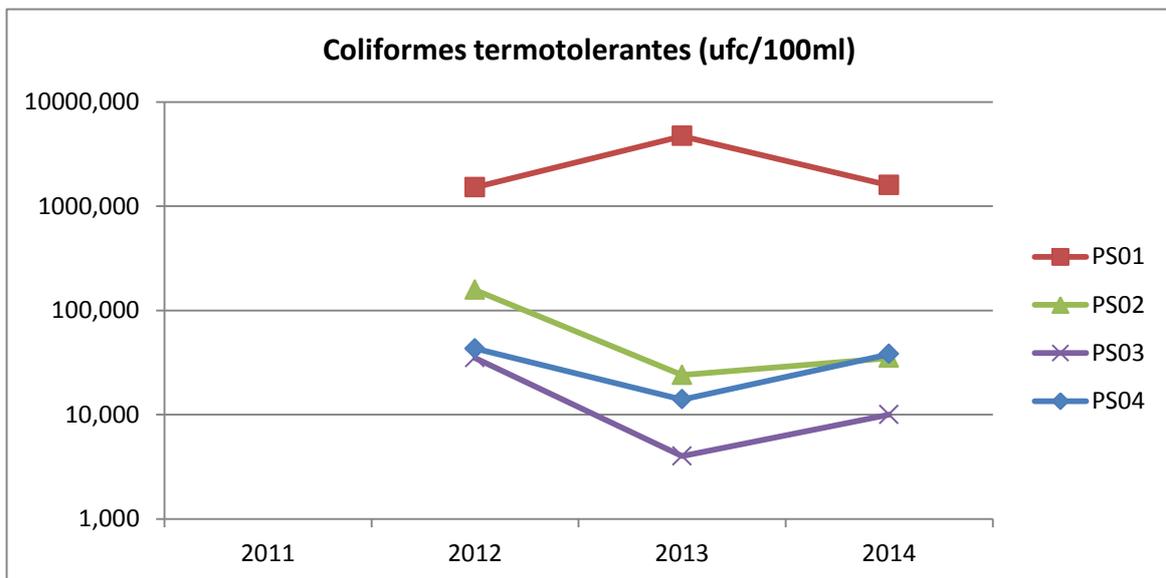


Figura 52. Variación espacial y temporal de la abundancia de coliformes termotolerantes en el embalse Paso Severino

SINTESIS de la cuenca del río Santa Lucía Chico

El monitoreo del río Santa Lucía Chico contó con 24 muestreos, en 5 estaciones del curso principal del río, en el período 2005-2010 y 19 muestreos entre 2011 y 2014. En este período se redujo el número de estaciones en el río (a 3) y se agregaron 3 estaciones en el embalse Paso Severino. La última estación fluvial (SLC03) coincide con la primera del embalse (PS01),

De las variables estudiadas, 7 cumplen con los estándares de calidad en más del 90% de los registros. Las variables con cumplimiento menor fueron el oxígeno disuelto (89%), coliformes termotolerantes, que mostró diferente comportamiento en el río (con 72% de cumplimiento) respecto al embalse (con 91% de cumplimiento) y fósforo total (5%). La mayoría de estos incumplimientos se registraron en la estación ubicada en la cola del embalse (SLC03=PS01).

El curso principal del río mostró mejores condiciones en la calidad del agua respecto a los valores estándares en la parte alta y un gradual decrecimiento de la calidad hacia el embalse. Desde el ingreso del agua al embalse, disminuyó su calidad en relación con la frecuencia de cumplimiento de los estándares de fósforo total y coliformes termotolerantes, principalmente. El primero posiblemente asociado a aportes difusos desde la cuenca, además de los aportes puntuales de tambos y vertidos; éstos también se asocian con los altos niveles de coliformes encontrados en la cola del embalse, principalmente.

En el embalse de Paso Severino, se puede indicar en forma general que la estación de ingreso de agua es la que presenta la peor condición en el cumplimiento de los estándares (con algunas excepciones, como la turbidez), lo que mejora luego en las demás estaciones del embalse, posiblemente asociado a un efecto de dilución.

RIO SAN JOSÉ

En esta subcuenca, el programa de monitoreo incluye dos niveles de muestreo. El monitoreo de nivel 1, sobre el curso principal del río (Figura 53), incluye estaciones desde la alta cuenca hasta su desembocadura en el río Santa Lucía. El monitoreo de nivel 2, incluye una estación ubicada en el cauce del arroyo Cagancha (Figura 54), el cual recibe los vertidos de una industria láctea. A partir de las medidas de protección de la cuenca del Santa Lucía, dicha industria debió corregir el sitio de vertido, no obstante los resultados de este trabajo son anteriores a dicho cambio.



Figura 53. Subcuenca del Río San José. Se indica la ubicación de las estaciones del monitoreo de Nivel 1 (SJ01, SJ02, SJ03, SJ04) en rojo y de Nivel 2 (SJ05) en amarillo

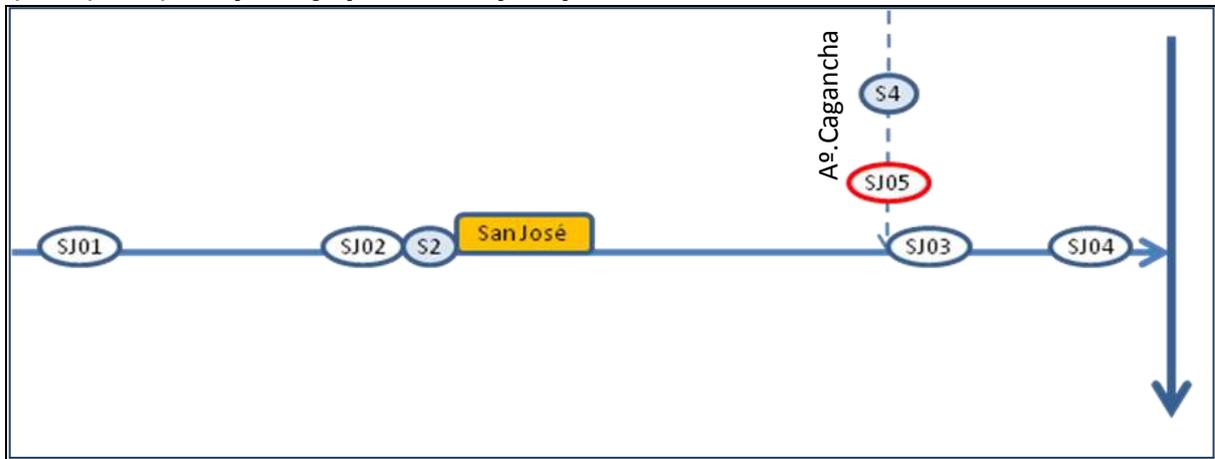


Figura 54. Esquema con la ubicación de las estaciones de monitoreo en la subcuenca del Río San José indicando las correspondientes al nivel 1 (cauce principal) y el nivel 2 (arroyo Cagancha como receptor de vertidos industriales). Se distinguen las estaciones del Programa JICA-DINAMA (S2 y S4) y del Rediseño DINAMA (SJ01 a 05).

Parámetros físico-químicos del agua

La temperatura del agua presenta cierta homogeneidad en todas las estaciones, con valores levemente superiores en la estación SJ01, ubicada en las nacientes del río San José. El rango de temperaturas para el período 2005-2014 estuvo entre 8 y 31 °C con un valor de mediana de 19 °C (n=228). La variación temporal de la temperatura fue similar en todas las estaciones, excepto en

2011 que se registraron diferencias entre las estaciones. A lo largo de los 10 años de monitoreo se observa una tendencia a la disminución de la temperatura promedio anual en todas las estaciones, hasta el año 2010, con un nuevo crecimiento gradual a partir de ese año, en que fue el año más frío (Figura 55).

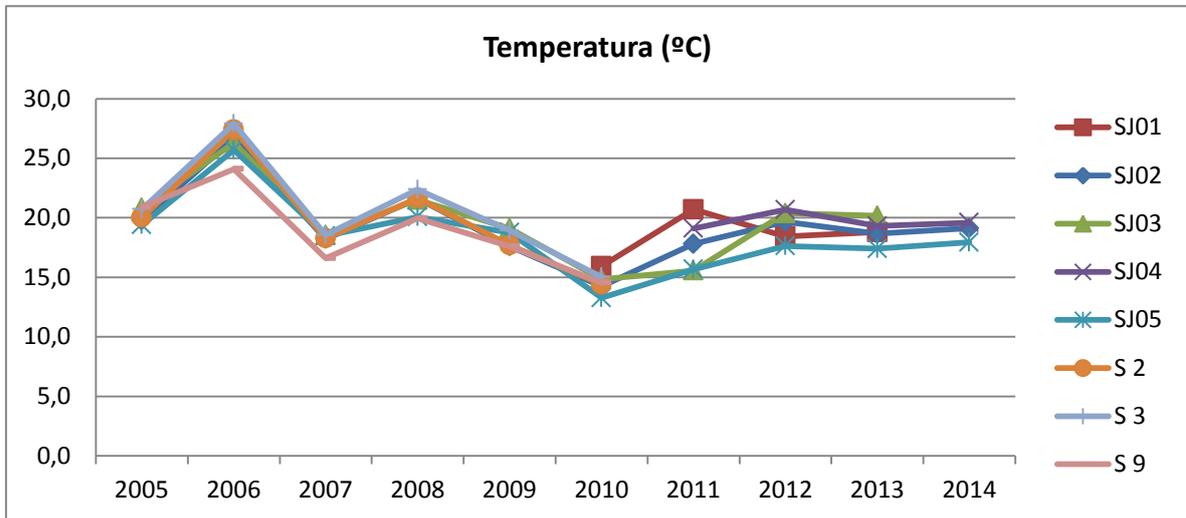


Figura 55- Variación temporal de la temperatura en las estaciones de monitoreo de la subcuenca del río San José

La conductividad del agua mostró una amplitud entre 91 y 1990 uS/cm, con una mediana de 366 uS/cm. Se observa una similitud en la variación de la conductividad promedio anual entre las estaciones, excepto S9 y SJ05. La estación SJ05 no acompañó esta tendencia, ya que en la misma excepto para el año 2009, la conductividad siempre fue superior. Esta estación se encuentra ubicada en la desembocadura del A° Cagancha, zona con una alta influencia de la industria láctea. Los años de mayor conductividad del agua fueron 2008 y 2012 para la mayoría de las estaciones de monitoreo (Figura 56).

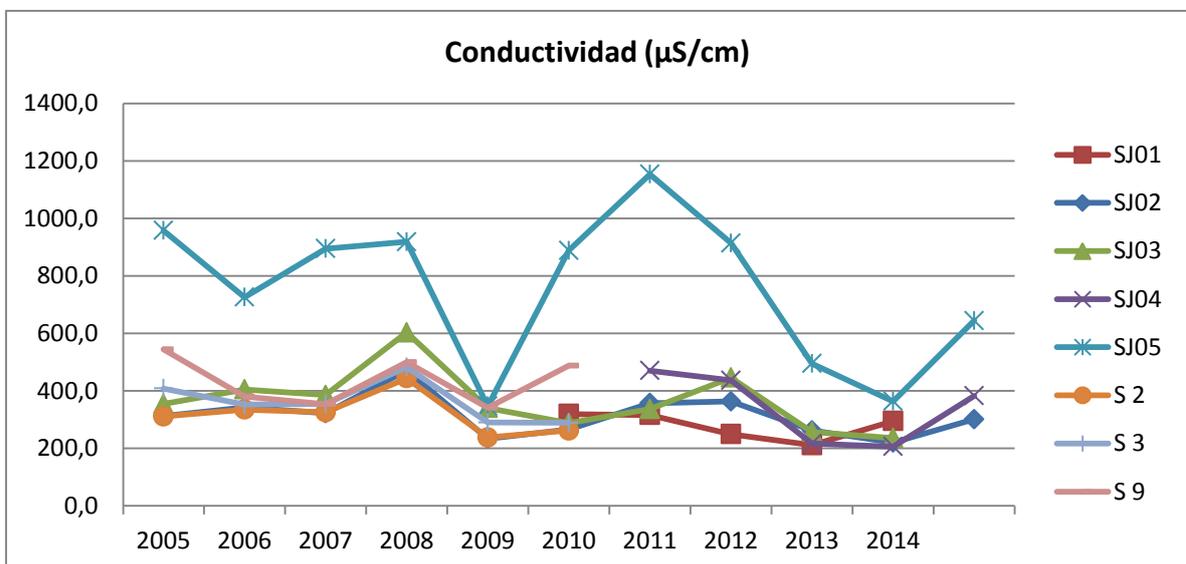


Figura 56- Evolución temporal de la conductividad promedio anual en las estaciones de la subcuenca del río San José

Durante el período de estudio, el pH presentó una variación entre 5,7 y 9, con una mediana de 7,6 (n=228). De acuerdo al Decreto 253/79, el rango de pH debe oscilar entre 6.5 y 8.5 por lo que el 95% de las muestras cumplieron con este estándar de calidad (Figura 57).

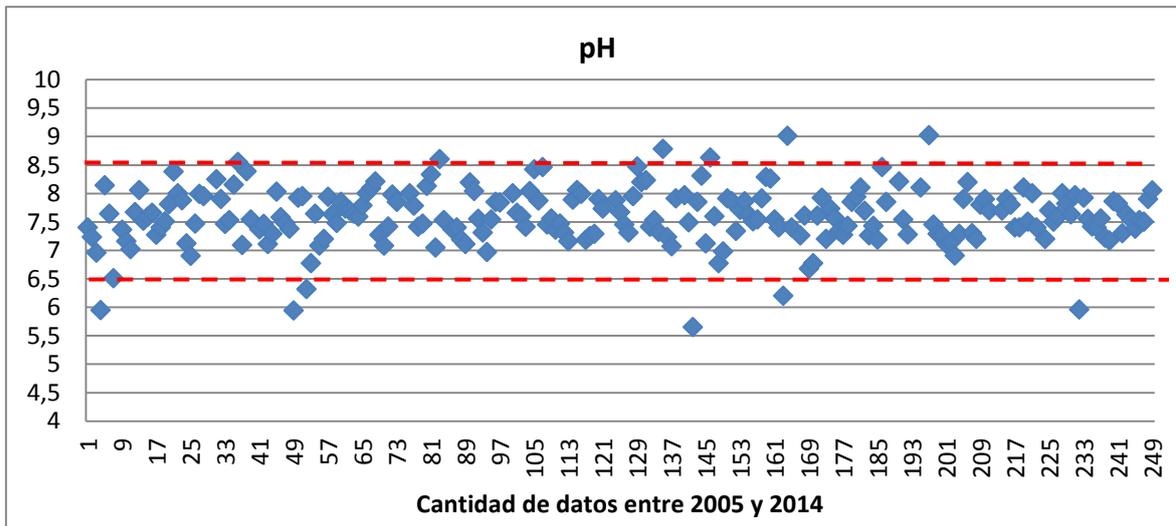


Figura 57. Variación del pH en las estaciones de monitoreo de la subcuenca del río San José. Las líneas punteadas indican el rango del valor estándar del Decreto 253/79 (6,5-8,5) para aguas naturales (Clase 3).

Los años en que se registraron los promedios menores fueron 2010 y 2011, revirtiéndose luego esta tendencia hacia un pH estable o creciente desde el 2012 (Figura 58). Los valores promedio anuales mostraron similar comportamiento en el tiempo entre las estaciones monitoreadas.

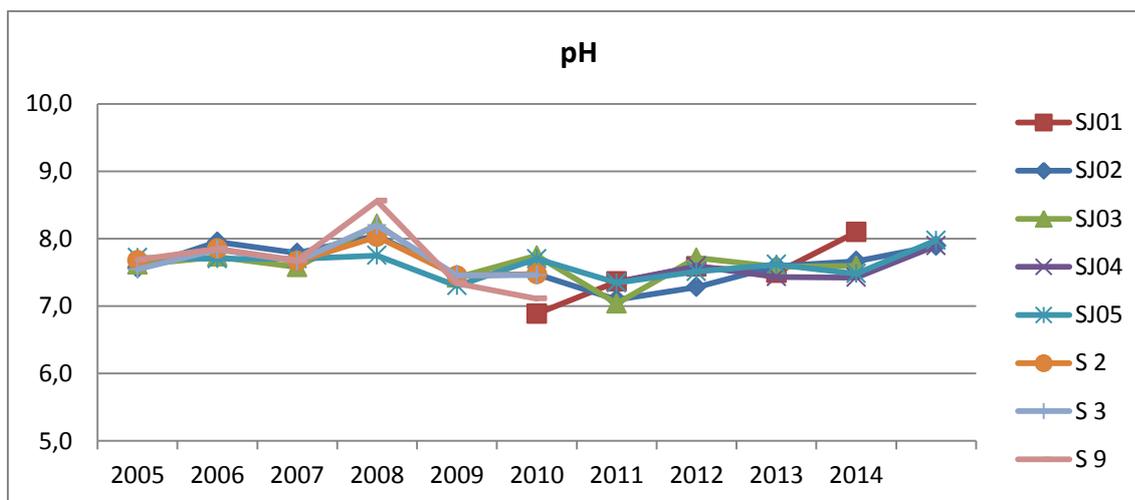


Figura 58- Variación espacial y temporal del pH (promedio anual por estación de monitoreo) en la cuenca del Río San José.

La concentración del oxígeno disuelto se encontró en un rango entre 3 y 11 mgO₂/l, con una mediana de 6,6 mg/l (n= 197) para los años estudiados. El 19 % de los datos no cumplieron con el estándar establecido en el Decreto 253/79 según se observa en la Figura 59.

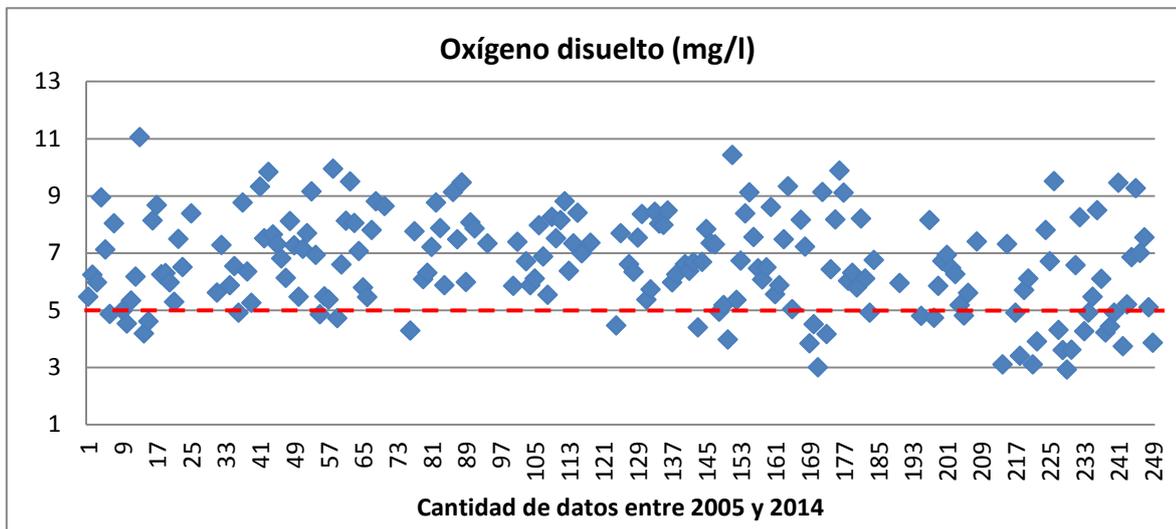


Figura 59- . Rango de concentración de oxígeno disuelto de la cuenca del río San José en las estaciones de monitoreo durante 10 años de muestreo. La línea punteada indica el valor estándar del Decreto 253/79 (≥ 5 mg/l) para aguas naturales

Los valores promedio anuales fueron superiores al valor estándar (5mgO₂/l), excepto en la estación SJ05 (Figura 60) en varias ocasiones. Esta estación está altamente impactada por la presencia de una industria láctea que se encuentra aguas arriba.

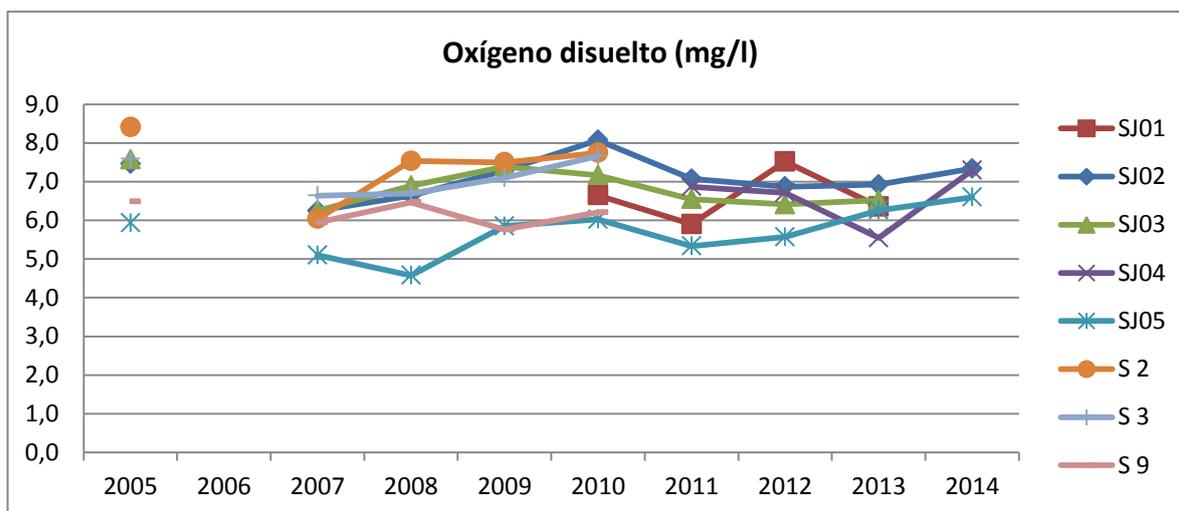


Figura 60- Variación espacial y temporal de la concentración promedio anual de oxígeno disuelto (mg O₂/l) en cada estación de monitoreo

Para la Demanda Bioquímica de Oxígeno los valores encontrados en el período oscilaron entre 0.4 y 32 mgO₂/l, con una mediana de 2,2 mg/l (n=205). En esta subcuenca, el 3% de los valores hallados

no cumplieron con el valor del estándar (Figura 61); todos ellos se registraron en la estación S3, en la ciudad de San José con datos hasta 2011, y en SJ05, en el arroyo Cagancha.

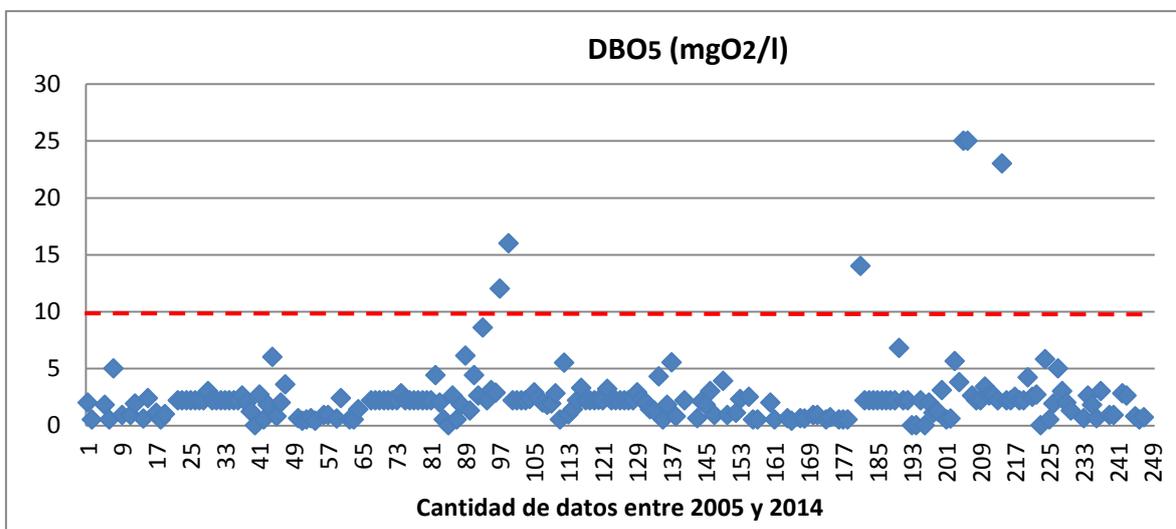


Figura 61. Rango de variación de la DBO5 en la cuenca del río San José en todas las estaciones de monitoreo. La línea punteada indica el valor del estándar del Decreto 253/79 ($\leq 10 \text{ mgO}_2/\text{l}$) para aguas naturales (Clase 3).

Nuevamente el punto que ha presentado los valores más altos de DBO5 fue el SJ05, lo cual es acorde con la baja concentración de oxígeno disuelto que se encuentra en la misma (Figura 62). A su vez se observaron valores elevados en el año 2006 para la estación S3.

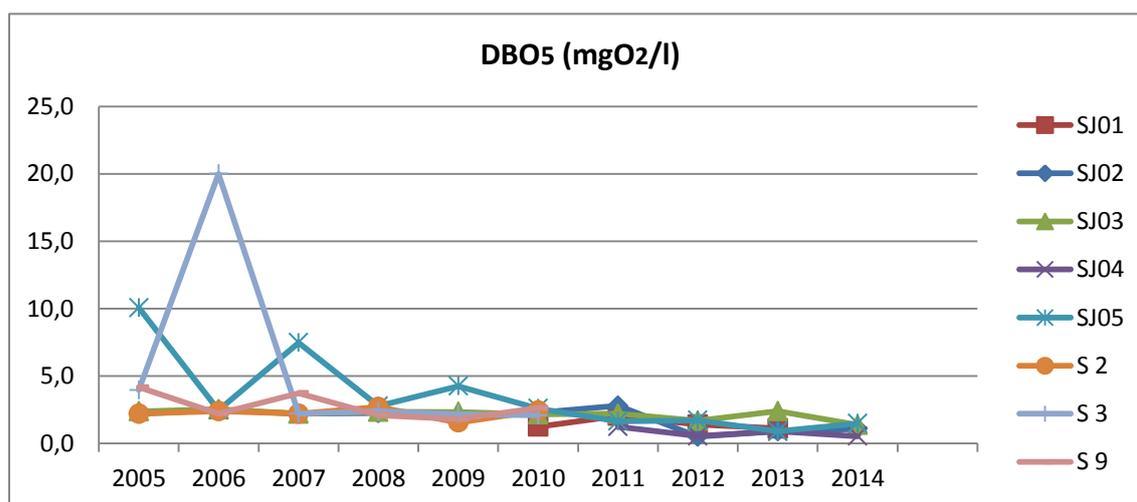


Figura 62-. Variación espacial y temporal de la DBO5 promedio anual ($\text{mg O}_2/\text{l}$) en cada estación de monitoreo

Los niveles de turbidez del agua mostraron valores entre 1,4 y 95 UNT en todo el período, con una mediana de 14 UNT y donde el 4% de los valores están por encima del valor establecido en el Decreto 253/79. Esto corresponde a 9 datos de los 210 obtenidos a lo largo del período (Figura 63).

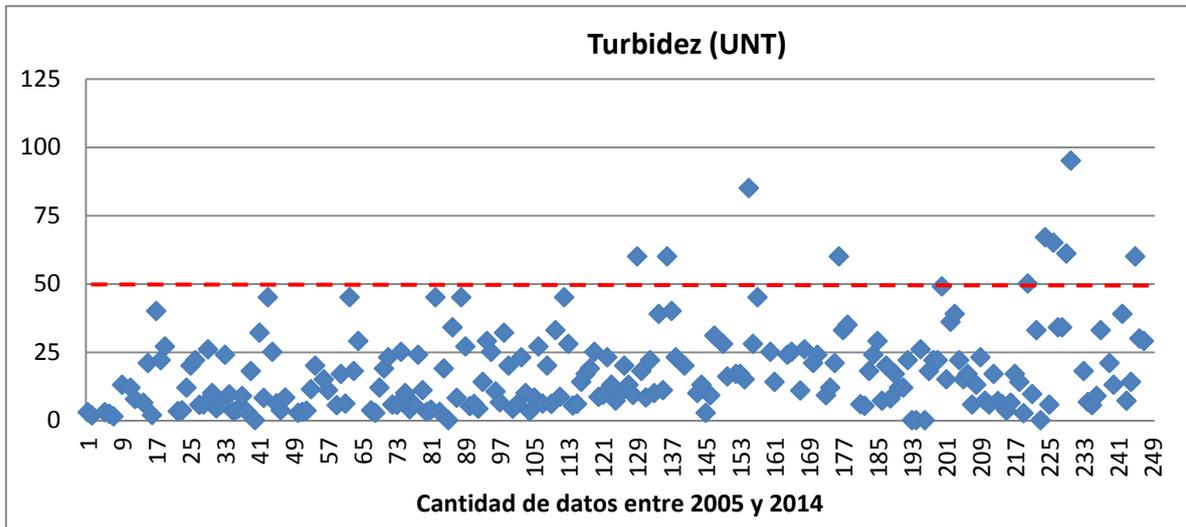


Figura 63. Variación de la turbidez del agua en la cuenca del Río San José en todas las estaciones de monitoreo. La línea punteada indica el valor estándar del Decreto 253/79 (≤ 50 UNT) para aguas naturales

En el análisis del promedio anual por estación de monitoreo, se observan pocas variaciones temporales, mostrándose un incremento en el año 2009. En los años 2010 y 2011 se observó una disminución pero luego se revirtió hacia el incremento de la turbidez (Figura 64). La estación SJ05 nuevamente destacó por los mayores valores del parámetro, seguida de SJ03 a partir de 2010.

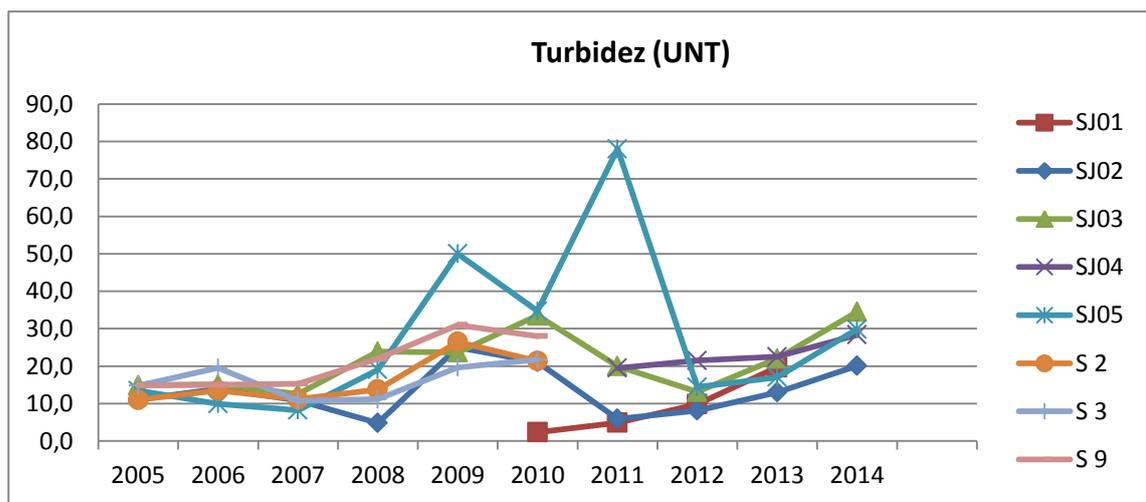


Figura 64- Variación espacial y temporal de la Turbidez promedio anual (UNT) en cada estación de monitoreo.

La clorofila a solo fue analizada durante 2009 y 2010, mostrando valores crecientes de un año al siguiente, en todos los sitios monitoreados. En SJ05, estación ubicada en el arroyo Cagancha y

receptora de importante carga de nutrientes y sólidos, fue la que registró los valores promedialmente mayores (Figura 65).

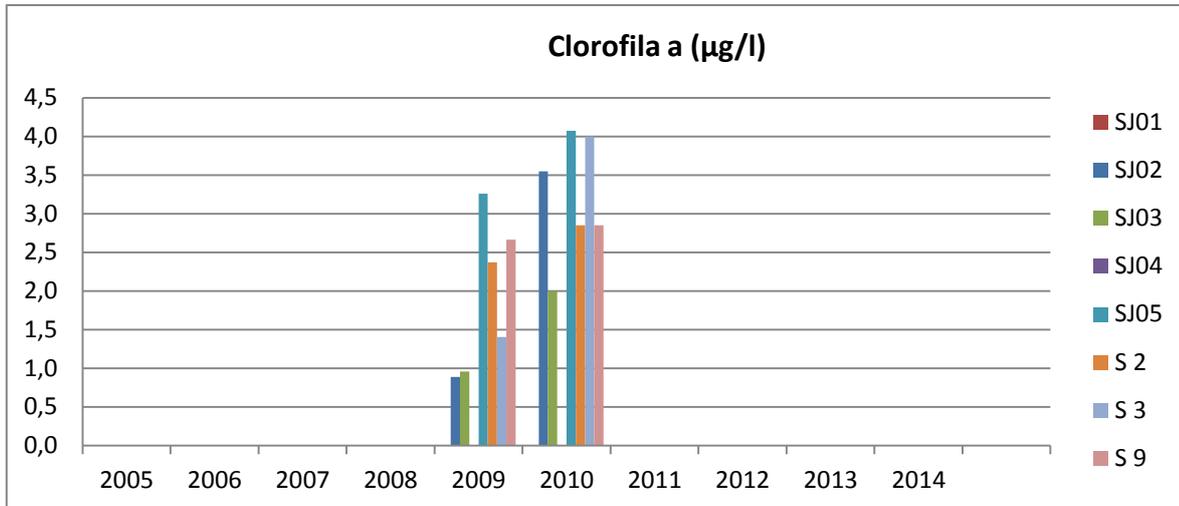


Figura 65. Variación espacial y temporal de la clorofila a, promedio anual, en dos años de monitoreo

NUTRIENTES

Entre los compuestos de nitrógeno, se analizaron nitratos, nitrito y amonio. En el caso del nitrato (NO_3^-), se registraron concentraciones entre 0,01 y 7,9 $\text{mgNO}_3^- \text{N/l}$, con una mediana de concentración de 0,40 mg/l ($n=203$). Los niveles estuvieron siempre dentro del estándar que establece el Decreto 253/79 (Figura 66).

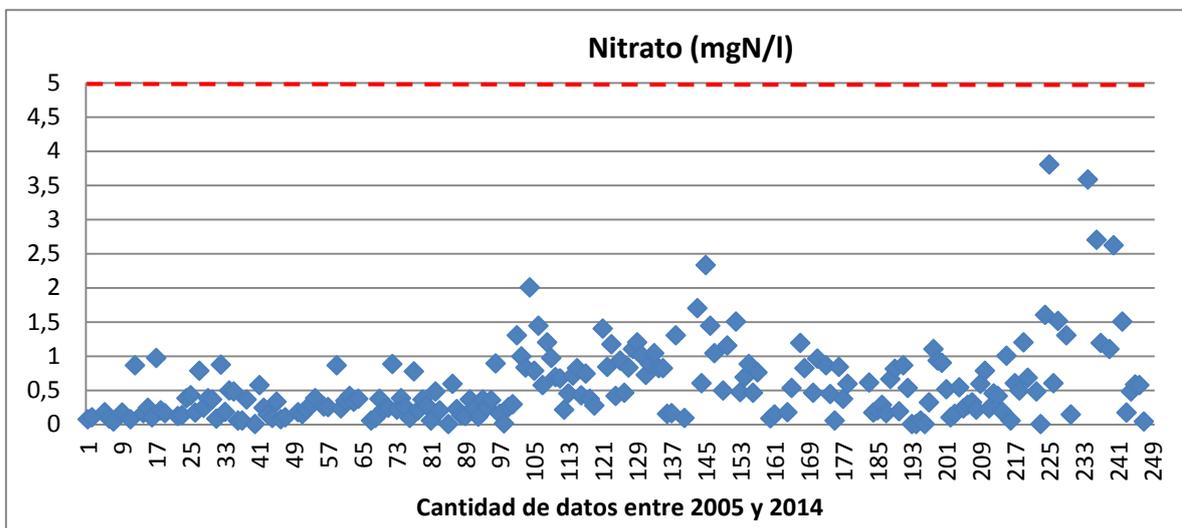


Figura 66- . Variación de la concentración de nitrato del agua en la cuenca del río San José en todas las estaciones de monitoreo. La línea punteada indica el valor guía sugerido para modificar el Decreto 253/79 ($\leq 5 \text{ mg/l}$).

En la variación espacial y temporal del parámetro, se observa que los promedios anuales de concentración de nitrato por estación de muestreo mostraron una tendencia uniforme en general. Las estaciones SJ03 y SJ05 registraron valores superiores al resto en algunos años (Figura 67), pero

siempre dentro de los valores del estándar que establece el Decreto 253/79 e incluso el valor de la nueva propuesta (5mgNO₃-N/l).

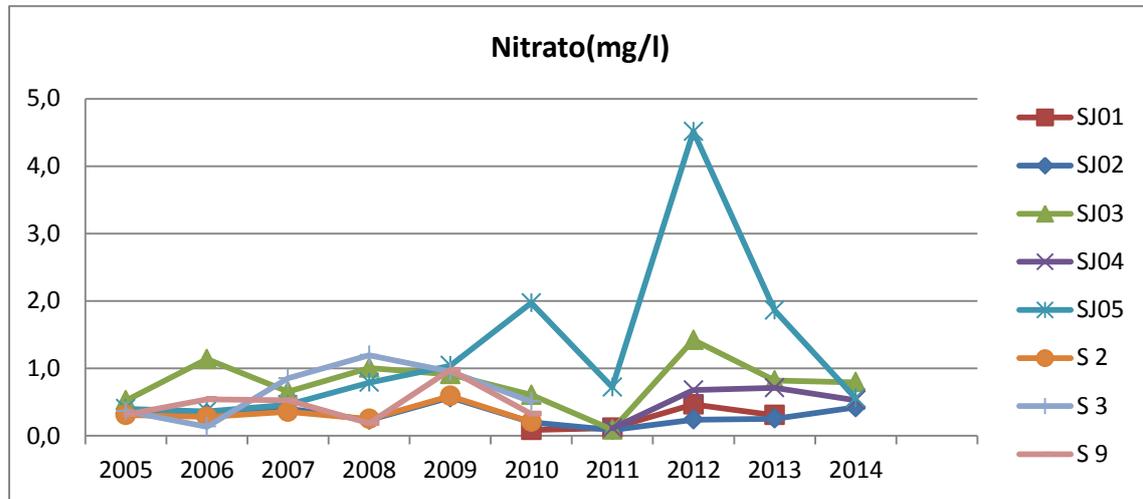


Figura 67- Variación temporal y espacial de la concentración promedio anual de nitrato en la subcuenca del río San José

El nitrito muestra valores entre no detectables (ND) y 1,47 mg/l durante todo el período de monitoreo. El valor de la mediana fue 0,01 mg/l (n=209). El 97% de los resultados cumplió con el valor guía propuesto (0,1 mg/l), ya que el decreto 253/79 no reglamenta esta variable (Figura 68).

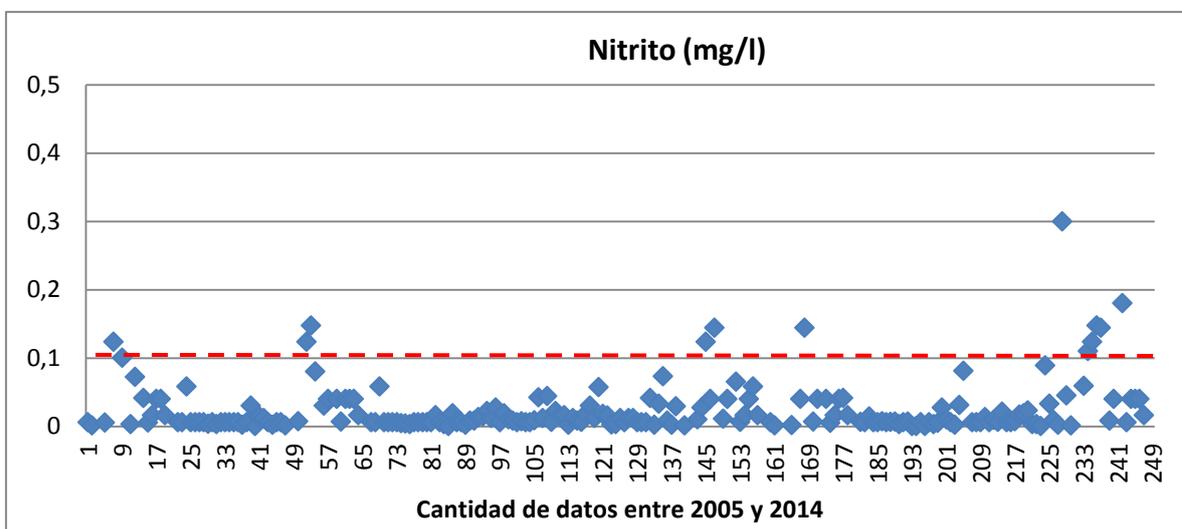


Figura 68- Variación de la concentración de nitrito del agua de la cuenca del río San José en todas las estaciones de monitoreo durante todo el período de estudio. La línea punteada indica el valor guía propuesto para modificar el Decreto 253/79 (0,1 mg/l).

La variación espacial del nitrito muestra dos períodos; el primero hasta 2008 con similar patrón de variación entre las estaciones de monitoreo; el segundo a partir de 2008, sin un patrón o tendencia entre las diferentes estaciones de monitoreo, ni a lo largo del tiempo. Los valores máximos se

registraron en la estación SJ05, que también mostró gran amplitud en la concentración de esta variable en el tiempo (Figura 69).

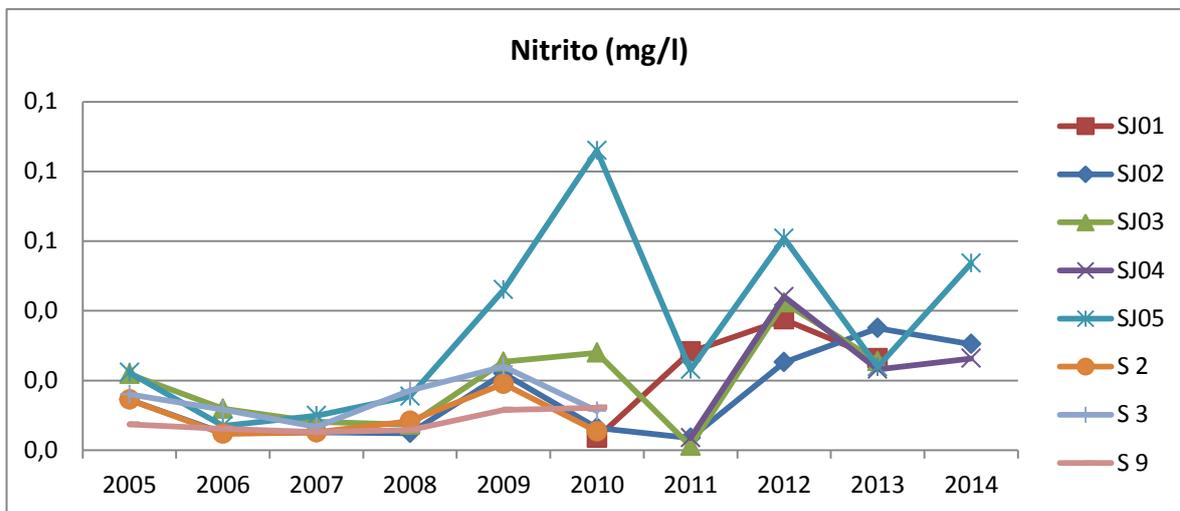


Figura 69- Variación espacial y temporal promedio anual de nitrito en las estaciones de monitoreo en la subcuenca del Río San José

Para el amonio no hay valor de referencia a nivel legal. El rango de concentración de amonio fue de 0,004 a 7,5 mg/l, con una mediana de 0,05 mg/l (n=203). La variación espacial y temporal del amonio en el río San José mostró un alto valor promedio anual en la estación S3, ubicada aguas debajo de la ciudad, durante 2005 y 2006 (con concentraciones de 3,7 y 4 mg/l, respectivamente); le siguió la estación ubicada en el arroyo Cagancha (SJ05) en los valores de amonio (Figura 70).

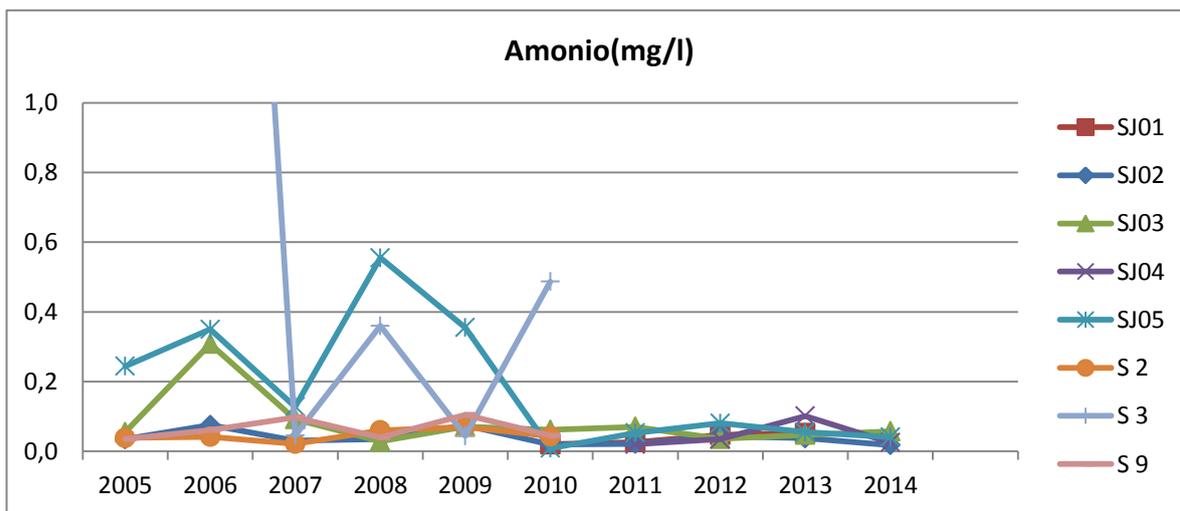


Figura 70. Variación temporal y espacial de la variable amonio en las diferentes estaciones de monitoreo de la subcuenca del río San José

El nitrógeno total fue medido en algunos años, como muestra la Figura 71, con valores entre 0,3 y 33 mg/l. Los mayores valores se registraron en SJ05, con un valor muy alto en 2010. Entre los dos años

con mayor cantidad de datos no se identifican diferencias significativas salvo la mencionada (Figura 71).

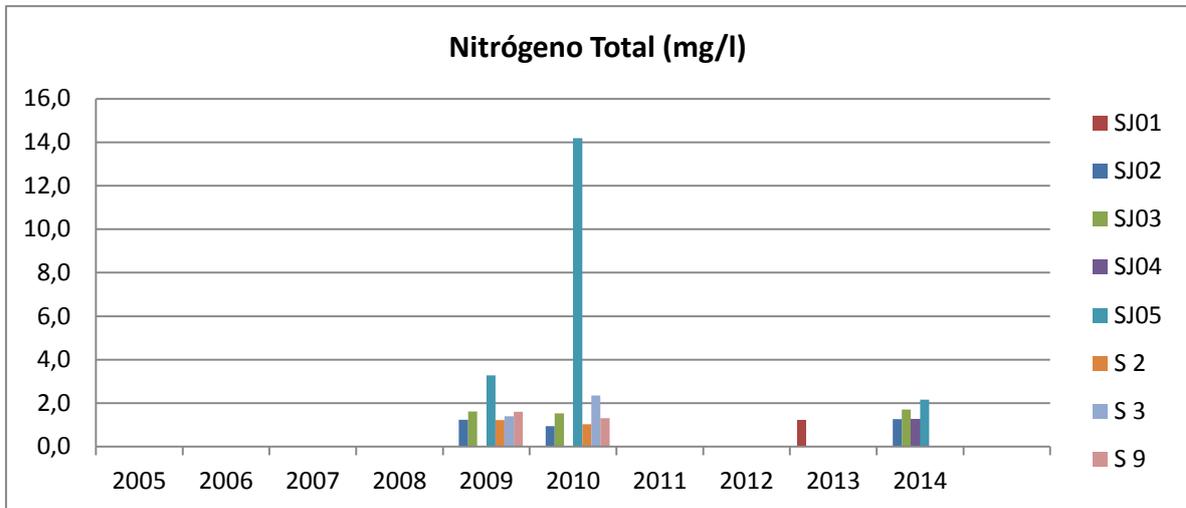


Figura 71- Variación espacial y temporal del nitrógeno total en algunas estaciones de monitoreo y en algunos años aislados

Las concentraciones de fósforo total en la subcuenca del río San José entre los años 2005 y 2014 estuvieron entre 0,004 y 4,9 mg/l con un valor de mediana de 0,25 mg/l (n=199). Según la legislación vigente, la concentración de este nutriente debe ser inferior a 0,025 mg/l en cursos de agua natural. En la propuesta de actualización del decreto se propone como valor guía 0,070 mg/l de concentración máxima de PT. En función de ambos valores, la calidad del agua no cumplió para la variable de PT en el 97% ni el 94 %, respectivamente (Figura 72).

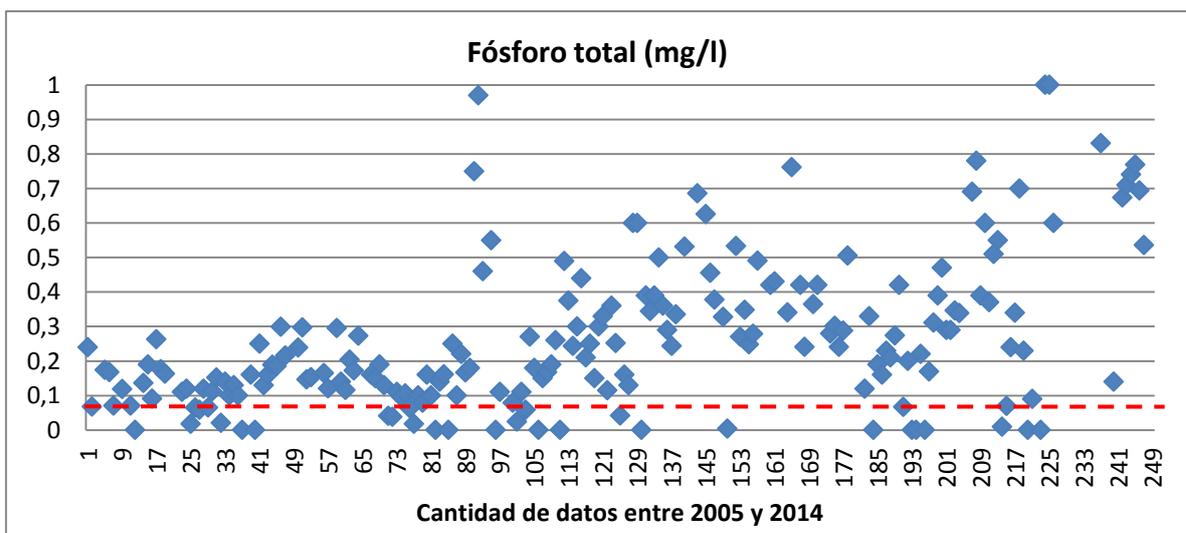


Figura 72- Variación de la concentración de fósforo total en todas las estaciones de monitoreo de la subcuenca del río San José. La línea punteada indica el valor guía sugerido para modificar el Decreto 253/79 ($\leq 0,07$ mg/l).

La variación espacial y temporal de la concentración de fósforo, promedio anual, mostró que el arroyo Cagancha contiene los máximos niveles del nutriente durante el período estudiado. Con esos altos niveles, el aporte de PT al río aguas abajo sería registrado en la estación SJ03, tal como se observa en la Figura 73. Las estaciones aguas arriba de la ciudad y en la cuenca alta (S2, SJ02 y SJ01, respectivamente) mostraron los menores valores.

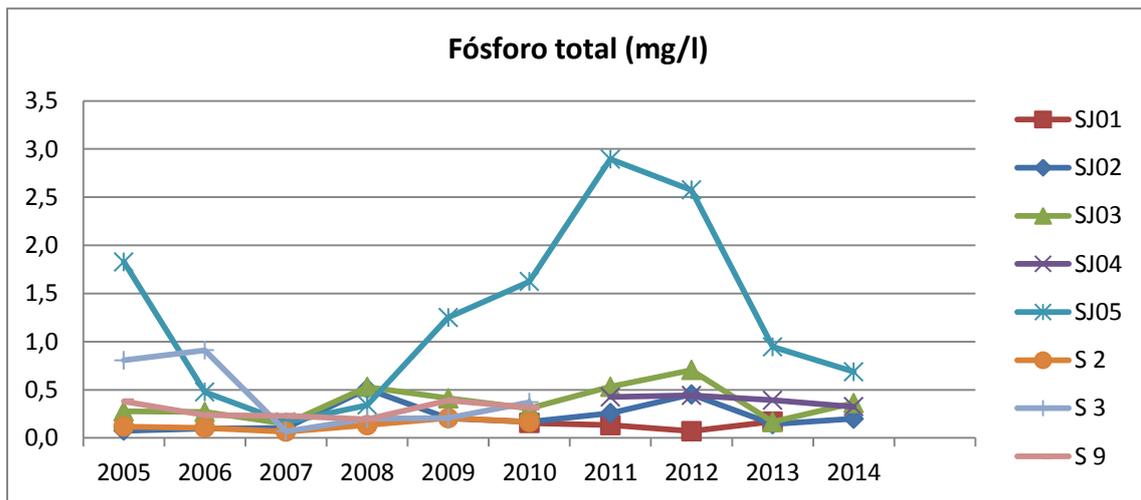


Figura 73- Variación espacial y temporal del fósforo total en la subcuenca del río San José durante el período de estudio

Parámetros microbiológicos del agua

La información referente a la concentración de coliformes termotolerantes en la cuenca del río San José se registró entre 2005 y 2010. Los niveles estuvieron entre 10 y 1100000 ufc/100ml, con una mediana de 600 ufc/100ml (n=105). Considerando el valor estándar de 2000 ufc/100ml del Decreto de calidad de agua, en este sistema y para ese período se registró un no cumplimiento de la calidad para coliformes termotolerantes del 9% (Figura 74).

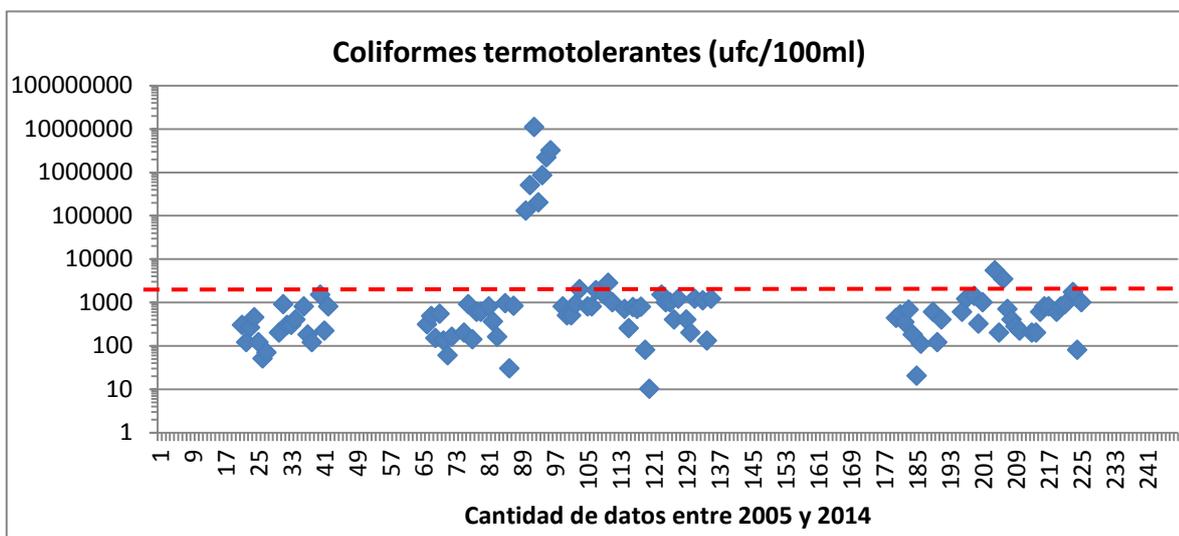


Figura 74. Variación de la concentración de coliformes termotolerantes en la subcuenca del río San José entre 2005 y 2010. La línea punteada indica el valor estándar de calidad que establece el Decreto 253/79 en 2000 ufc/100ml.

En la variación espacial y temporal de la concentración de coliformes termotolerantes, se destaca la estación de monitoreo ubicada aguas abajo de la ciudad de San José. En ésta, los niveles superaron en varios órdenes de magnitud los máximos permitidos por el Decreto 253/79 (Figura 75). Para los demás sitios monitoreados, incluso el arroyo Cagancha, los valores promedio anual estuvieron por debajo del valor de referencia.

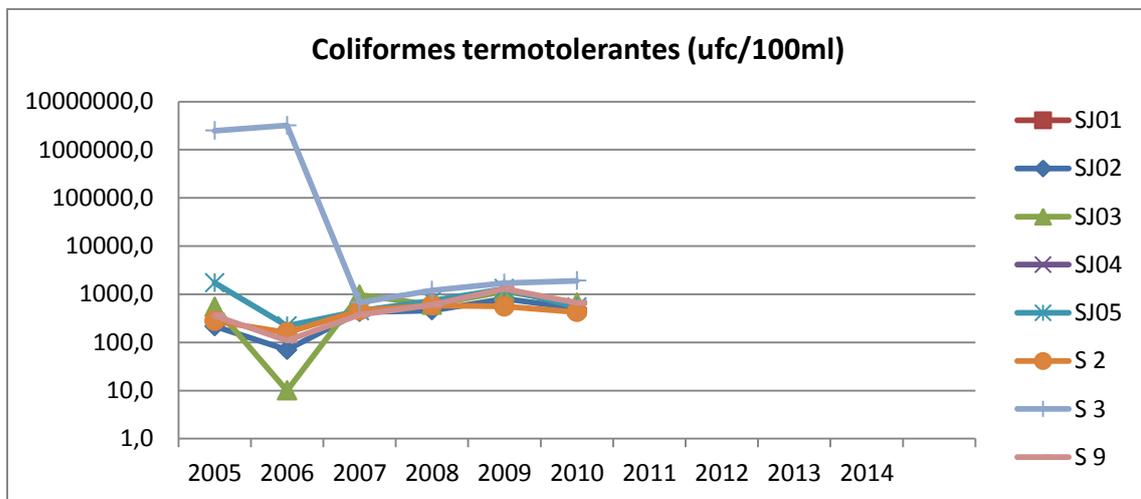


Figura 75. Variación espacial y temporal del fósforo total en la subcuenca del río San José durante el período de estudio

Síntesis Río San José

En el río San José, se realizaron 24 muestreos en 5 estaciones del curso principal en el período 2005-2010, obteniendo 144 muestras. Mientras que en el segundo período 2011-2014, se realizaron 18 muestreos en 5 estaciones, algunas de ellas re-ubicadas, obteniendo 103 muestras.

Del total de variables analizadas, 6 registraron una frecuencia de cumplimiento de los valores de calidad en más del 90% de los registros. Éstas fueron pH, Turbidez, DBO5, nitrato, nitrito y coliformes termotolerantes. La concentración de oxígeno disuelto tuvo una frecuencia de cumplimiento del estándar de calidad en el 81% de los registros. La variable que registró mayor incumplimiento del estándar de calidad vigente (0,025 mg/l) y del propuesto como valor guía (0,070 mg/l) fue el fósforo total. Los valores de cumplimiento fueron 3 y 9% respectivamente.

ARROYOS CANELÓN GRANDE Y CANELÓN CHICO

El programa de monitoreo de calidad de agua en el sistema de los arroyos Canelón Grande y Canelón Chico fue iniciado en diciembre 2004 con el Programa JICA-DINAMA y levemente modificado a partir de 2011 con el programa de Rediseño DINAMA. En éste, se incorporó la estación CA01 aguas arriba de la ciudad de Canelones y CG01 aguas arriba del embalse Canelón Grande (Figura 76). En el esquema de la Figura 77 se ordena en el espacio la secuencia de estaciones.

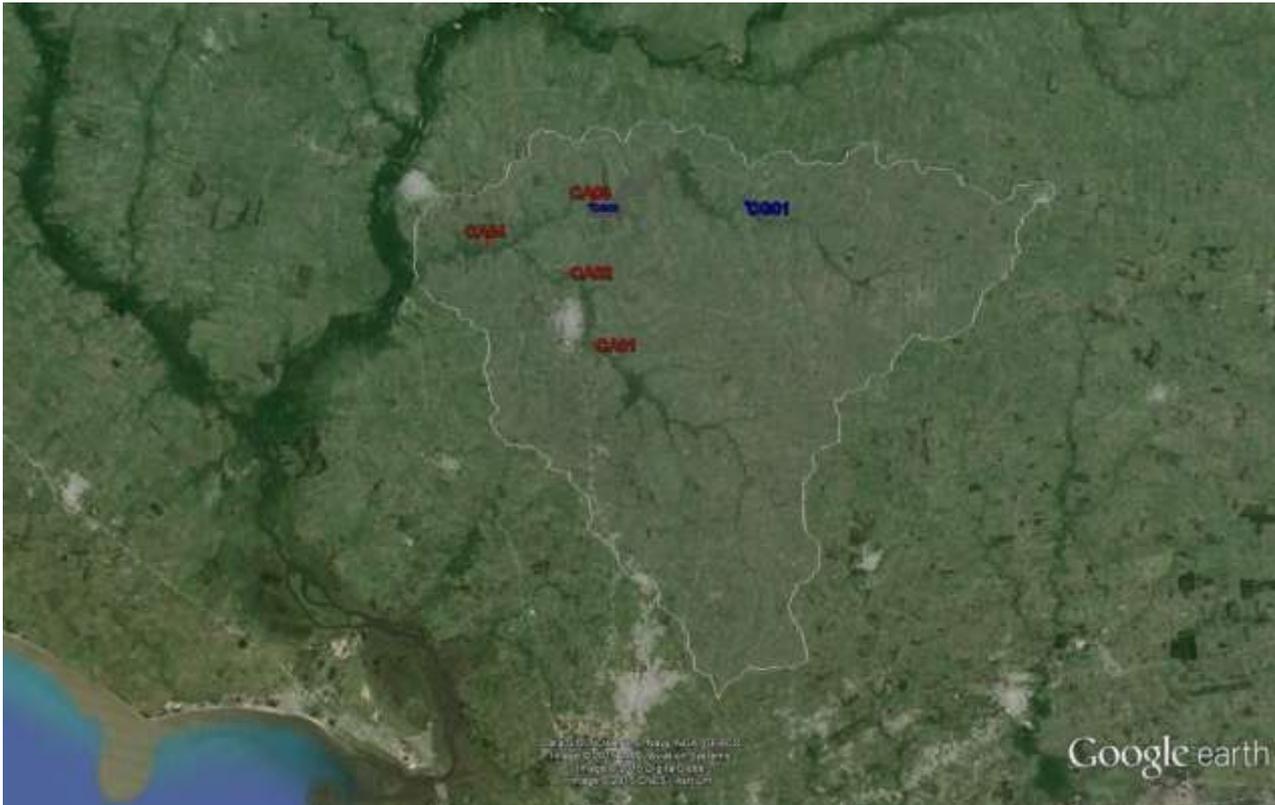


Figura 76. Subcuenca del sistema Arroyo Canelón Grande y Canelón Chico. Se indica la ubicación de las estaciones del monitoreo de Nivel 1 en el cauce central (CA01, CA02, CA04 y CG01) y de Nivel 3 en el cuerpo del embalse (CG02=CA03 y CG03) en amarillo.

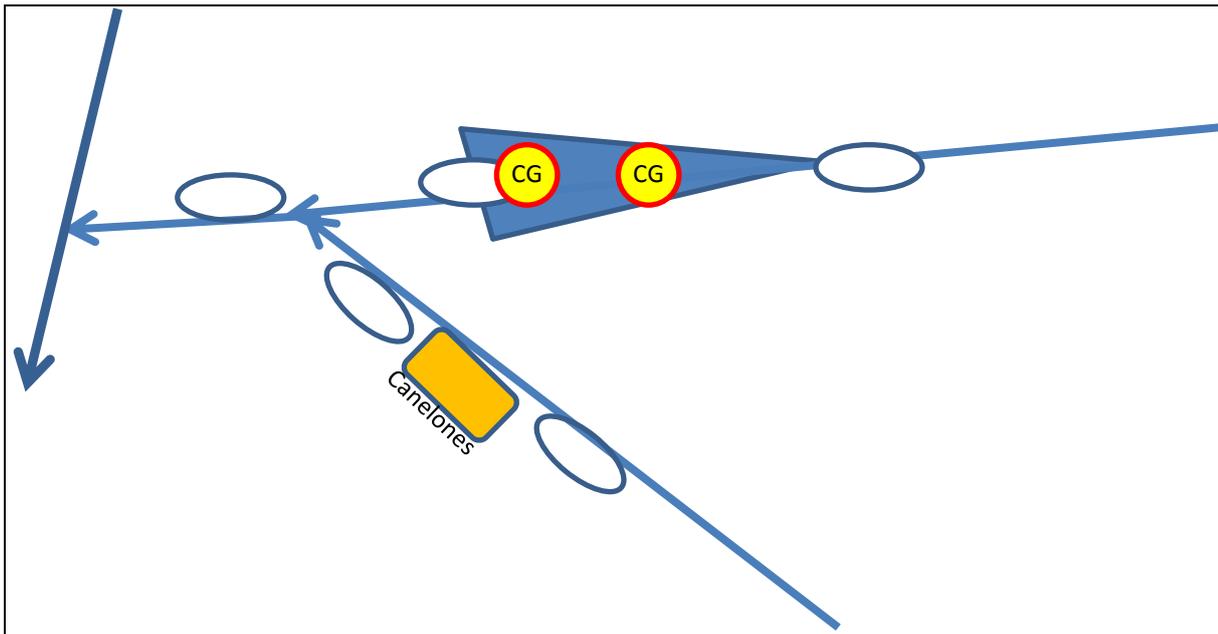


Figura 77. Esquema con la ubicación de las estaciones de monitoreo en la subcuenca del Arroyo Canelón Grande y Chico indicando las correspondientes al nivel 1 (cauce principal) y el nivel 3 (embalse).

Parámetros físico-químicos

La temperatura del agua en el sistema del arroyo Canelones, presentó variaciones entre 7 y 29,7 °C (n=173). Los años que registraron las temperaturas promedio más bajas fueron 2010 y 2011, mientras que 2005 y 2007 registraron los promedios más altos. Entre 2012 y 2014 se registró un gradual descenso de la temperatura promedio anual en todas las estaciones monitoreadas (Figura 78).

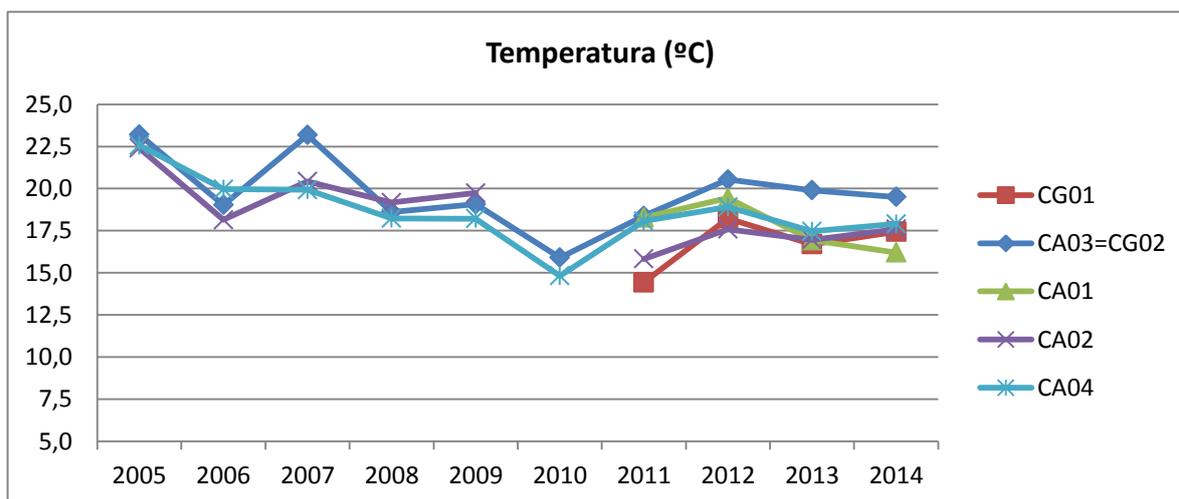


Figura 78. Variación espacial y temporal de la temperatura del agua, promedio anual, en la subcuenca del río San José durante el período de estudio

La conductividad del agua del arroyo Canelón Grande presentó valores entre 73 y 1873 uS/cm, con una mediana de 336 uS/cm (n=172). Se registraron diferencias espaciales entre los arroyos y dentro de cada sistema. En la estación CA02, el Canelón chico aguas abajo de Canelones se registraron los mayores valores y en la estación CA03=CG02, del embalse Canelón Gde. en la represa, se registraron

los menores (Figura 79). Las estaciones aguas arriba de ambos arroyos (CA01 y CG01) mostraron valores altos de conductividad. Mientras que en CA04 ubicada aguas abajo de la confluencia de los dos sistemas la conductividad disminuyó, posiblemente por el efecto diluyente del embalse. Temporalmente se registran ciclos en los valores de conductividad con incrementos en 2008 y 2011.

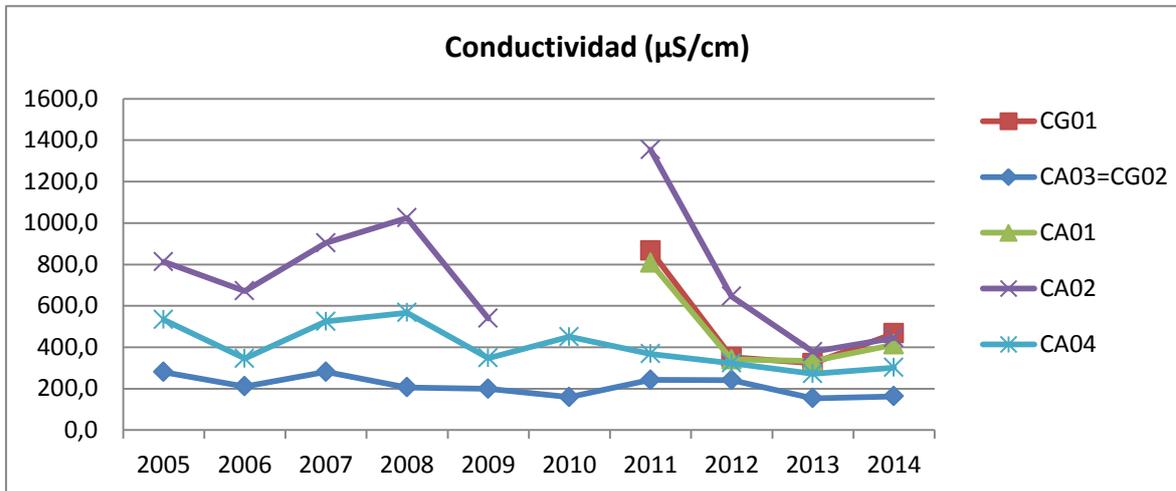


Figura 79. Variación espacial y temporal de la conductividad, promedio anual, del agua en el arroyo Canelón Grande y Canelón Chico

El pH registró valores entre 6 y 8,5 con una mediana de 7,5 (n=173). Los datos fuera del rango de calidad representaron el 4% de los casos y fueron niveles menores a 6,5 (Figura 80). Los datos que no cumplieron con el estándar de calidad se midieron con mayor frecuencia en la estación CG01.

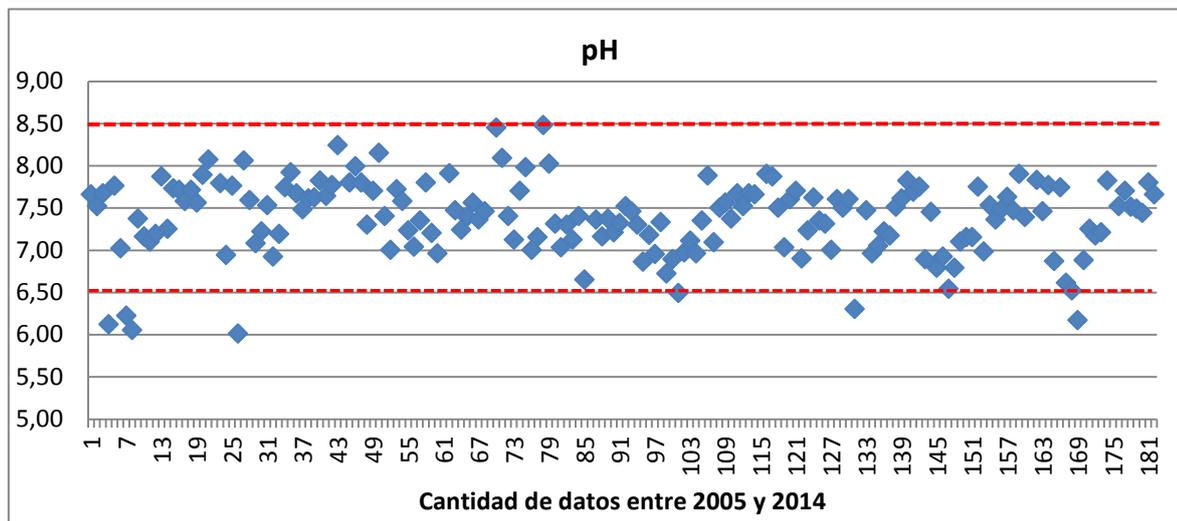


Figura 80. Variación del pH en todas las estaciones de monitoreo de la subcuenca del arroyo Canelón Grande y Canelón Chico durante 10 años de monitoreo. Las líneas punteadas indican el rango de valor del estándar de calidad (6,5-8,5) vigente.

La variación del pH en el tiempo mostró un patrón similar en todas las estaciones de monitoreo. A partir de 2012 se registra un incremento constante del pH promedio anual en todas las estaciones

(Figura 81). A su vez, la variación espacial de pH se hizo más evidente entre la estación CA03 en la zona de la represa, respecto al resto. Situación esperable por la diferencia en las condiciones hidráulicas de esta estación respecto a las demás.

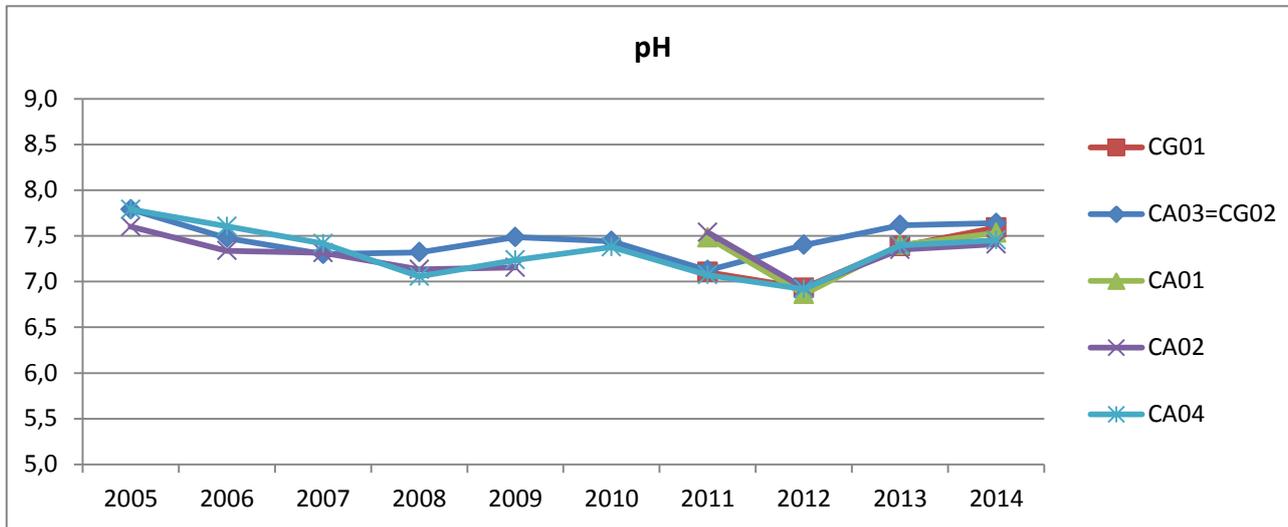


Figura 81. Variación espacial y temporal del pH del agua en el arroyo Canelón grande y Canelón Chico.

El oxígeno disuelto en el sistema de los arroyos Canelón Grande y Chico registró valores entre 0,5 y 11 mg/l, con una mediana de 5 mg/l (n=165). Teniendo en cuenta que el estándar de calidad establece que la concentración de OD debe ser ≥ 5 mg/l, este sistema se ve comprometido en su calidad. La frecuencia de incumplimiento del estándar fue de 48% para 10 años de información (Figura 82).

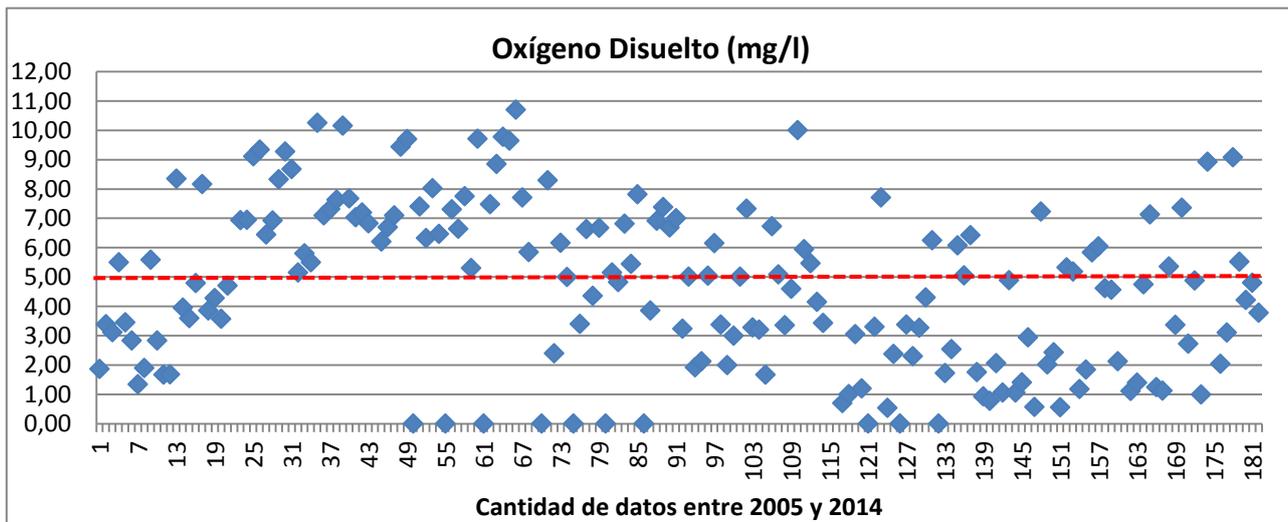


Figura 82. Variación de la concentración de oxígeno disuelto en todas las estaciones de monitoreo de la subcuenca del arroyo Canelón Grande y Canelón Chico durante 10 años de monitoreo. La línea punteada indica el valor del estándar de calidad (≥ 5 mg/l) vigente.

La variación espacial de la concentración de OD en el sistema de los arroyos Canelón Gde. y Chico muestra diferencias evidentes entre las estaciones de muestreo. La estación situada en la represa registró los niveles mayores (promedio anual), mientras que la estación aguas abajo de la ciudad de Canelones registró los menores. En esta estación, todos los valores promedio anual de concentración de OD en el agua estuvieron por debajo del estándar de calidad, poniendo de manifiesto el estado altamente impactado de la misma. La estación que integra los aportes de ambos cursos de agua (CA04) mostró valores intermedios de concentración de OD a lo largo de los 10 años de datos. Temporalmente, se registraron las mismas tendencias al incremento o disminución de la concentración de OD en todas las estaciones, con mayor o menor nivel (Figura 83). A partir de 2012 se observó una recuperación en los niveles de OD del sistema, no obstante las estaciones del arroyo Canelón Chico (CA01 y CA02) así como la estación aguas arriba del embalse Canelón Grande (CG01) registraron valores (promedio anual) por debajo del estándar de calidad.

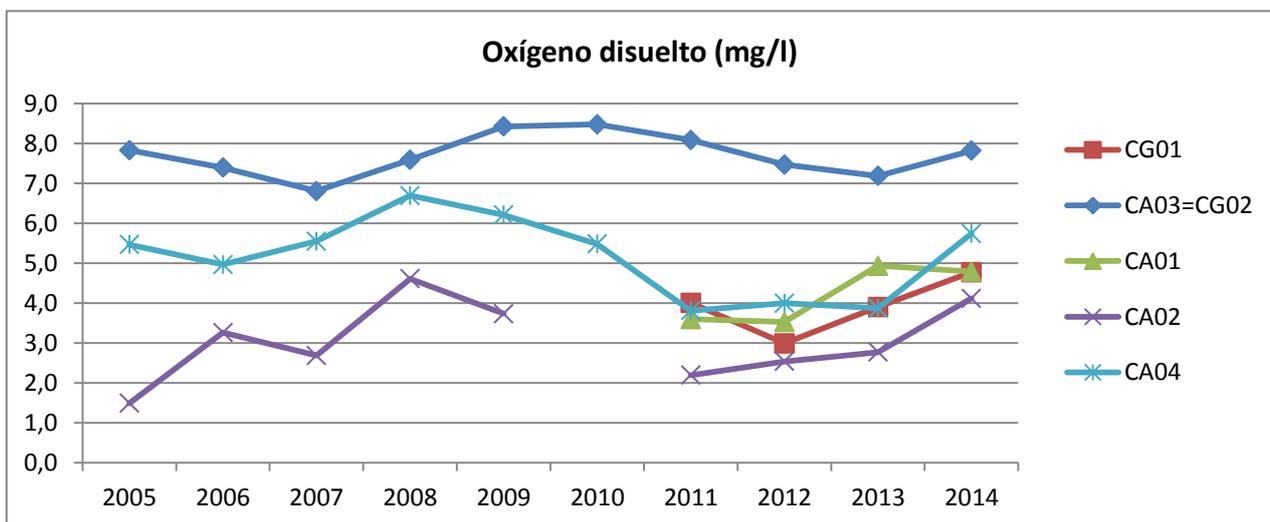


Figura 83. Variación espacial y temporal de la concentración de oxígeno disuelto en el agua en el arroyo Canelón Grande y Canelón Chico.

La demanda bioquímica de oxígeno de este sistema presentó los mayores valores de toda la cuenca. El rango de concentración estuvo entre 4 y 20 mgO₂/l, con una mediana de 5mg/l (n=76). Los niveles que superaron el estándar de calidad (10 mg/l) se registraron aguas abajo de Canelones y representaron un incumplimiento del Decreto 253/79 del 28% en 10 años (Figura 84).

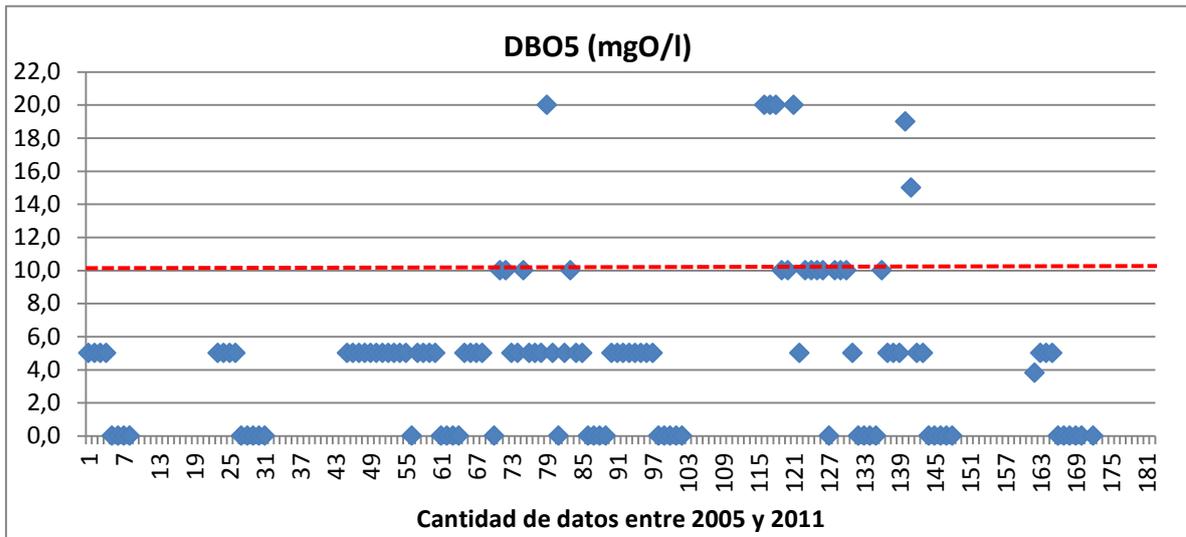


Figura 84. Variación de la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en todas las estaciones de monitoreo de la subcuenca del arroyo Canelón Grande y Canelón Chico durante 6 años (interrumpidos) de monitoreo. La línea punteada indica el valor del estándar de calidad (≤ 10 mg/l) vigente.

La variación espacial y temporal de la DBO5, muestra que la serie de datos está incompleta en 2009 y a partir de 2011. Los resultados indican valores promedios anuales mayores al estándar de 10 mg/l en la estación CA02; mientras que los valores promedio anual en las demás estaciones estuvieron en el rango de cumplimiento del Decreto (Figura 85).

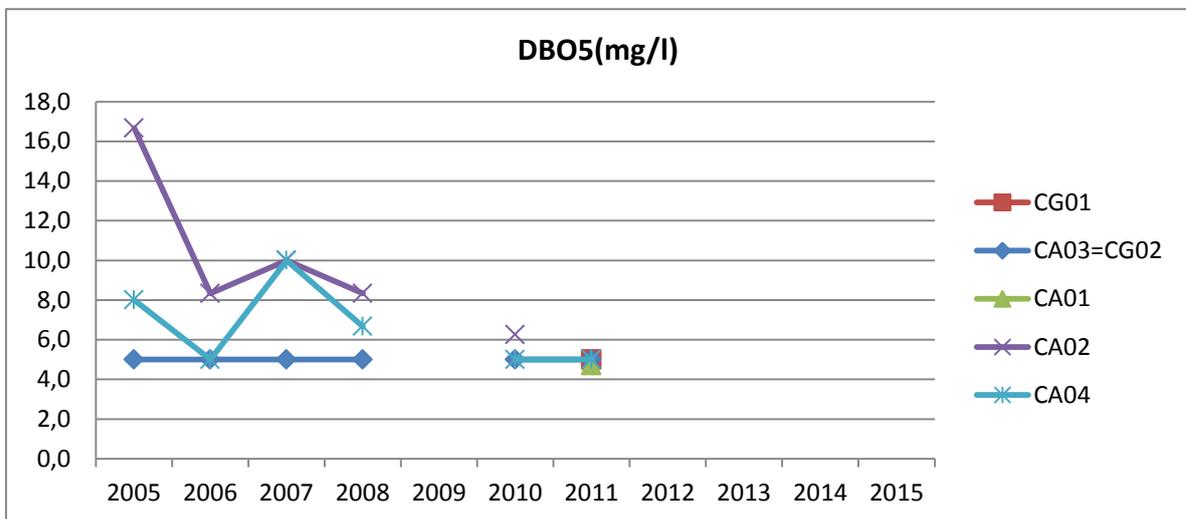


Figura 85. Variación espacial y temporal de la demanda bioquímica de oxígeno en el arroyo Canelón Grande y Canelón Chico.

La turbidez del agua en el sistema de los arroyos Canelón Gde. y Chico, presentó un rango entre 30 y 150 UNT, con una mediana de 33 UNT ($n=138$). Considerando el estándar de calidad de valor ≤ 50 UNT que establece el Decreto 253/79, se observa en la Figura 86 que una cantidad equivalente al 33% de los resultados no cumplieron.

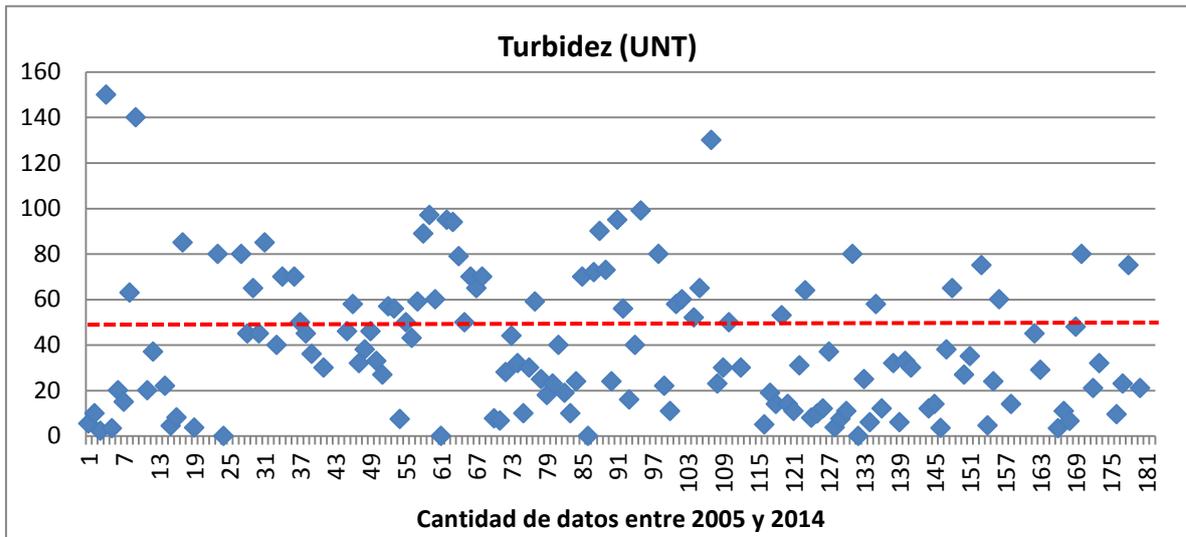


Figura 86. Variación de la turbidez del agua en todas las estaciones de monitoreo de la subcuenca del arroyo Canelón Grande y Canelón Chico durante 10 años de monitoreo. La línea punteada indica el valor del estándar de calidad (≤ 50 UNT) vigente.

La variación espacial y temporal de la turbidez en el sistema de los arroyos, mostró diferencias espaciales y temporales entre las estaciones y los años de muestreo. Mientras que la estación ubicada próxima a la represa registró los mayores valores promedio anual de turbidez, la estación aguas abajo de Canelones registró los menores, y similares a CA01 aguas arriba de dicha ciudad. Si bien el período de datos de esta estación es menor, hay una aparente similitud en la turbidez de este arroyo que lo diferencia del resto del sistema. Temporalmente, los años 2008, 2009 y 2011 aparecen como los de mayor turbidez, registrándose un descenso gradual en todas las estaciones a partir de dicho año (Figura 87).

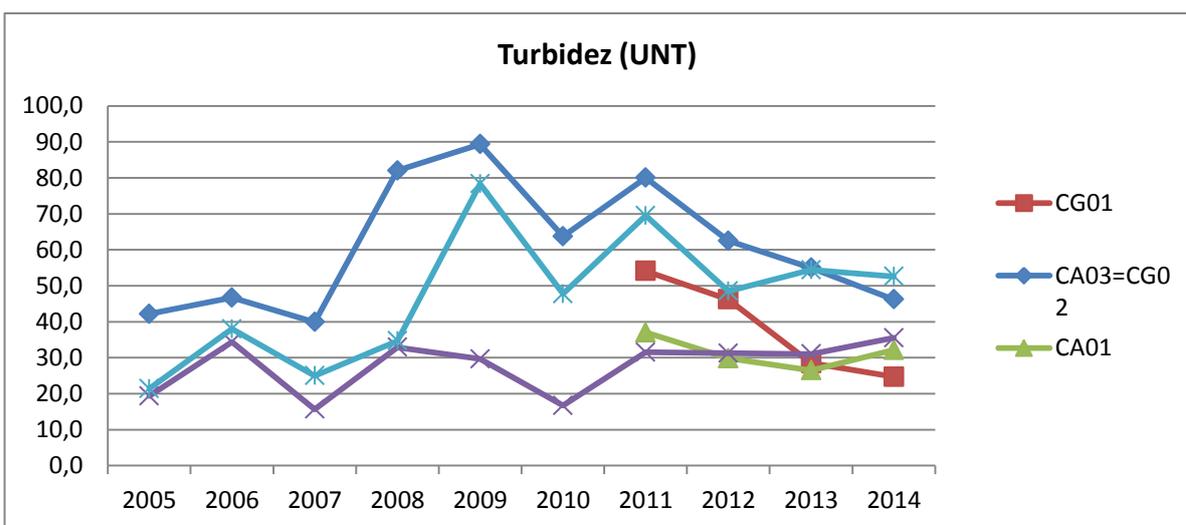


Figura 87. Variación espacial y temporal de la turbidez del agua en el arroyo Canelón Grande y Canelón Chico

Nutrientes

La concentración de nitrato estuvo entre 0,01 y 8,2 mg/l, con una mediana de 0,60 mg/l (n=148). Si se considera el valor del estándar vigente (10 mg/l) todos los valores cumplieron con la calidad del agua. No obstante si se analizan los resultados en función del valor guía de calidad sugerido para la modificación del decreto (5 mg/l), en los resultados presentados se registró un incumplimiento del 3% en el período monitoreado (Figura 88).

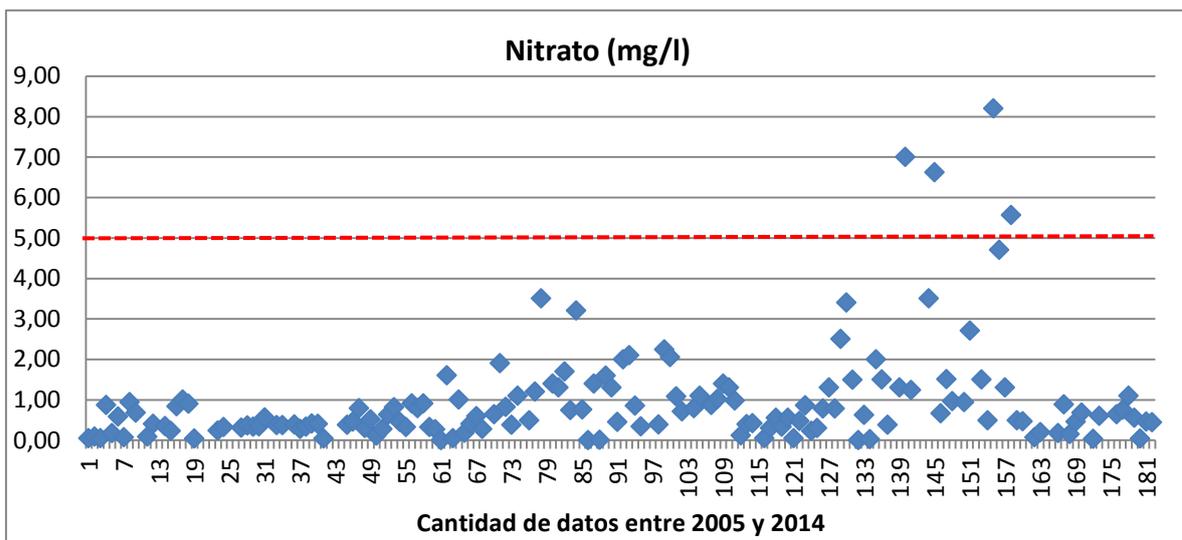


Figura 88. Variación de la concentración de nitrato en todas las estaciones de monitoreo de la subcuenca del arroyo Canelón Grande y Canelón Chico durante 10 años de monitoreo. La línea punteada indica el valor guía de calidad (≤ 5 mg/l) propuesto para modificar el Decreto vigente.

La variación espacial y temporal del nitrato mostró diferencias entre las estaciones y entre los años de monitoreo. La estación aguas abajo de la ciudad de Canelones registró los valores más altos, mientras que la estación próxima a la represa registró los más bajos. La estación de integración de ambos sistemas (CA04) registró valores promedio anuales intermedios y con menor variación temporal que CA02 (Figura 89). En tal sentido, CA02 mostró diferencias temporales importantes entre años sucesivos, posiblemente asociados a eventos de vertidos puntuales en la zona de influencia de dicha estación de muestreo. Por otra parte, los menores valores de nitrato en CA03 (represa) pueden explicarse por el efecto diluyente del embalse.

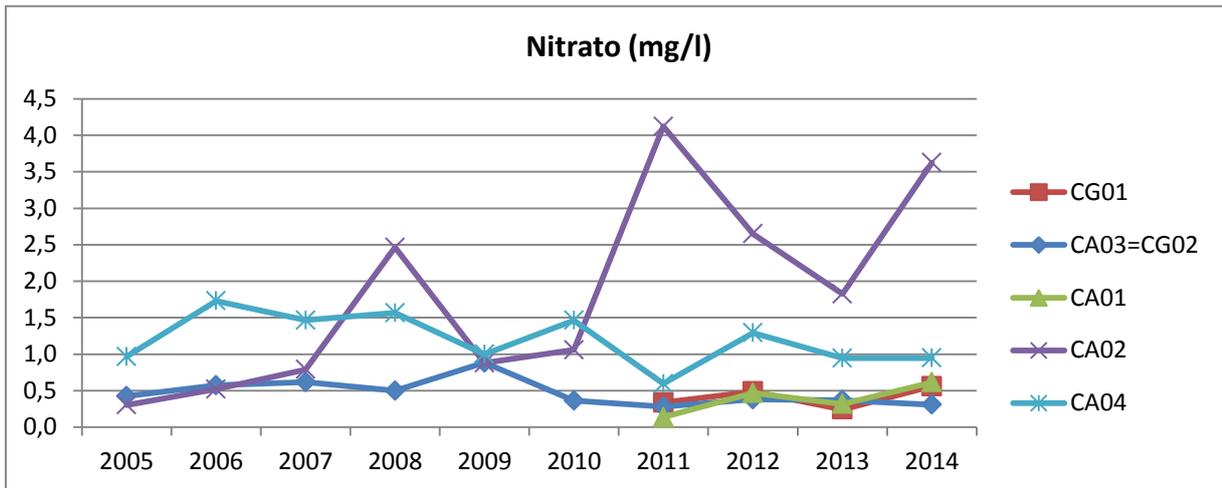


Figura 89. Variación espacial y temporal de la concentración de nitrato en el arroyo Canelón Grande y Canelón Chico

La concentración de nitrato en el sistema registró valores entre no detectable y 0,72 mg/l con una mediana de 0,02 mg/l (n=127). Considerando el valor guía de calidad propuesto para la modificación del Decreto 253/79, <0,1 mg/l, este parámetro presentó una frecuencia de incumplimiento del 3% de los registros en 10 años de datos (Figura 90).

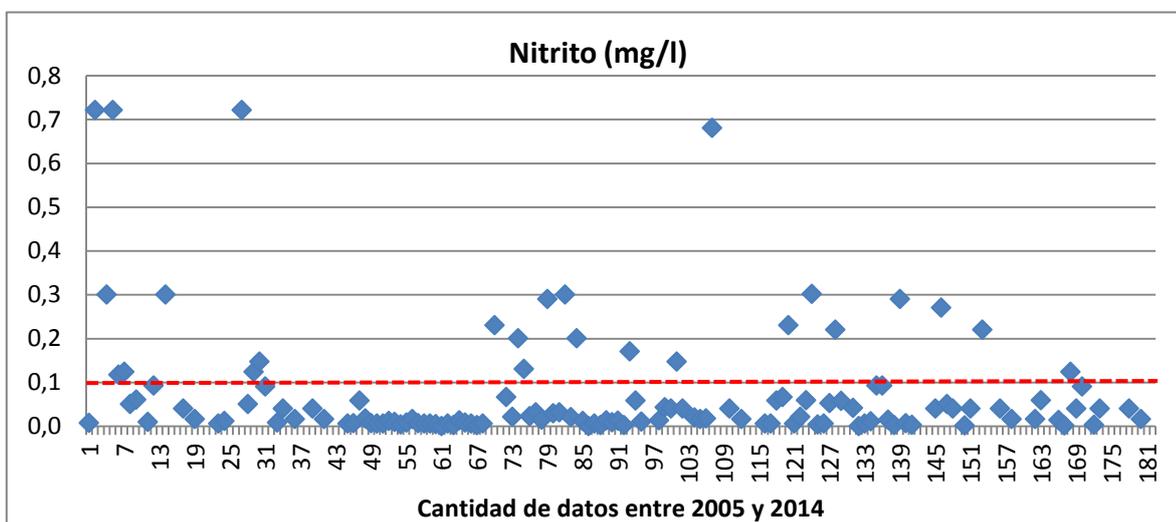


Figura 90. Variación de la concentración de nitrito en el sistema de los arroyos Canelón Grande y Chico en todas las estaciones monitoreadas durante 10 años. La línea punteada indica el valor guía sugerido (<0,1 mg/l) para la modificación del Decreto 253/79.

La variación espacial y temporal del nitrito mostró alternancia en los mayores valores promedio entre las estaciones y entre los años. Hubo un importante registro de alta concentración de nitrito en 2011 en la estación aguas arriba del embalse Canelón Grande (CG01), que determinó el alto valor anual que aparece en la Figura 91. La estación de la represa mostró los valores promedio anual más similares

en el tiempo, mientras que las estaciones CA02 y CA04 fueron las de mayores variaciones temporales. No se observa una tendencia en el tiempo.

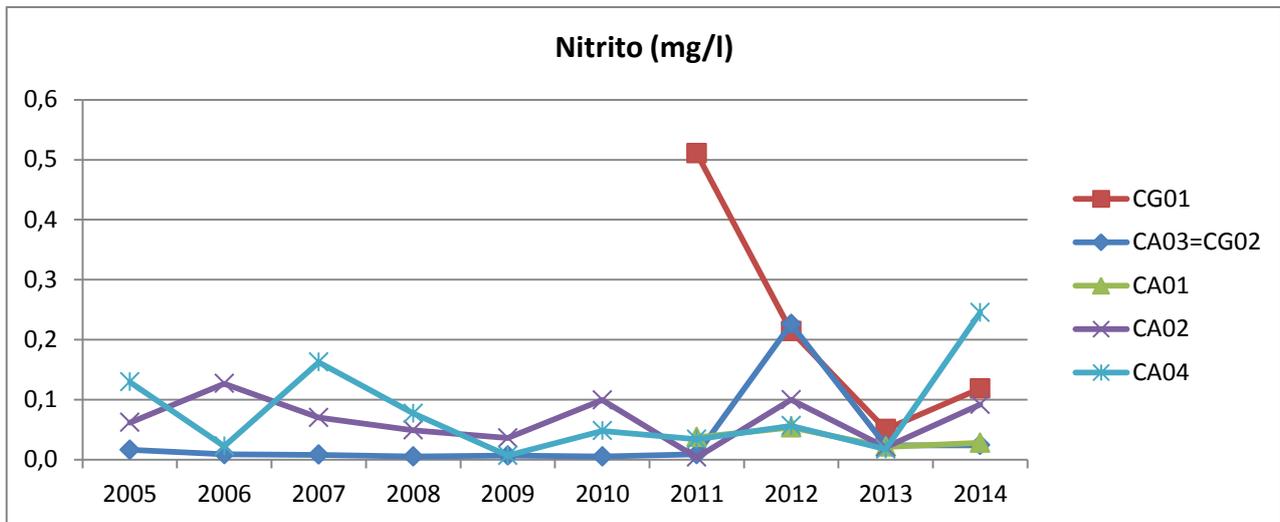


Figura 91. Variación espacial y temporal de la conductividad del agua en el arroyo Canelón grande y Canelón Chico

El amonio registró valores promedio anuales significativamente mayores en la estación aguas debajo de la ciudad de Canelones y con importantes variaciones entre los años, fortaleciendo la hipótesis de los efectos de eventos puntuales asociados a la ubicación de esta estación aguas debajo de la ciudad y centros industriales de la región (Figura 92). Si bien la mediana de esta variable fue 0,04 mg/l, durante el período de estudio se registraron valores de 7 mg/l (en CA02, en marzo 2014).

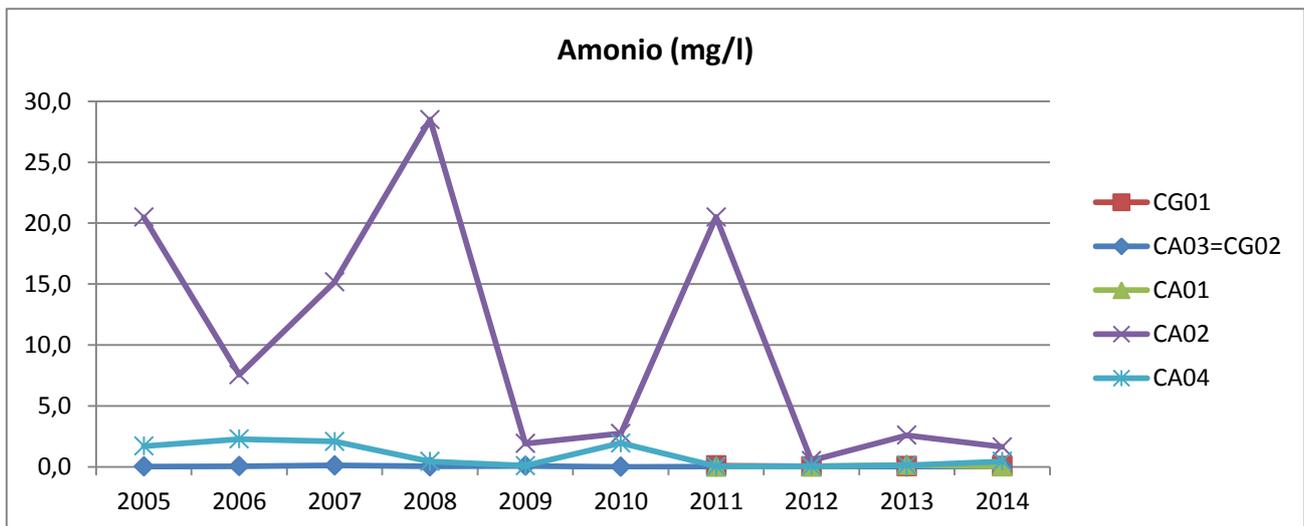


Figura 92. Variación espacial y temporal del amonio en el agua de los arroyos Canelón Grande y Canelón Chico

La concentración de fósforo total en este sistema registró los valores más altos de toda la cuenca del Río Santa Lucía en el período analizado. El rango estuvo entre 0,02 y 9 mg/l, con una mediana de 0,81 mg/l (n=139). Considerando el estándar de calidad del Decreto 253/79 (0,025 ug/l), el 99% de los valores no lo cumple (Figura 93). El sitio con los mayores valores fue aguas abajo de Canelones.

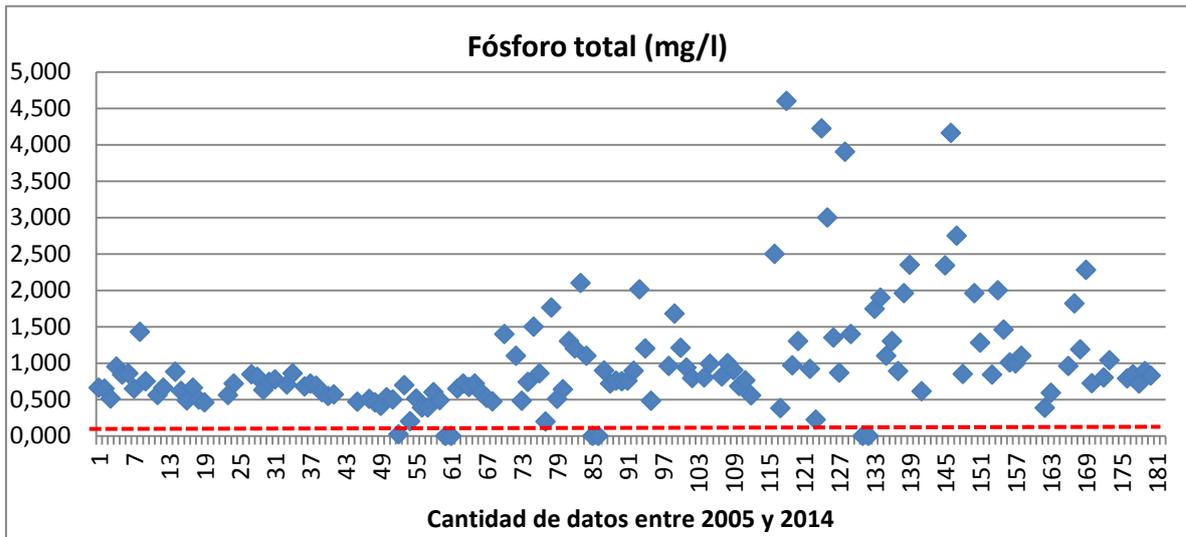


Figura 93. Variación de la concentración de fósforo total en todas las estaciones de monitoreo de la subcuenca del arroyo Canelón Grande y Canelón Chico durante 10 años de monitoreo. La línea punteada indica el valor estándar de calidad ($\leq 0,025$ mg/l) del Decreto vigente (253/79)

En los valores promedios anuales de la concentración de PT por estación de muestreo, se observan importantes variaciones espaciales; mientras que solo en CA02 se registraron variaciones temporales significativas. Como es esperable, en la estación del embalse las concentraciones de PT resultaron menores que en el resto. Del mismo modo, la estación aguas abajo de Canelones también resultó con los mayores valores (Figura 94).

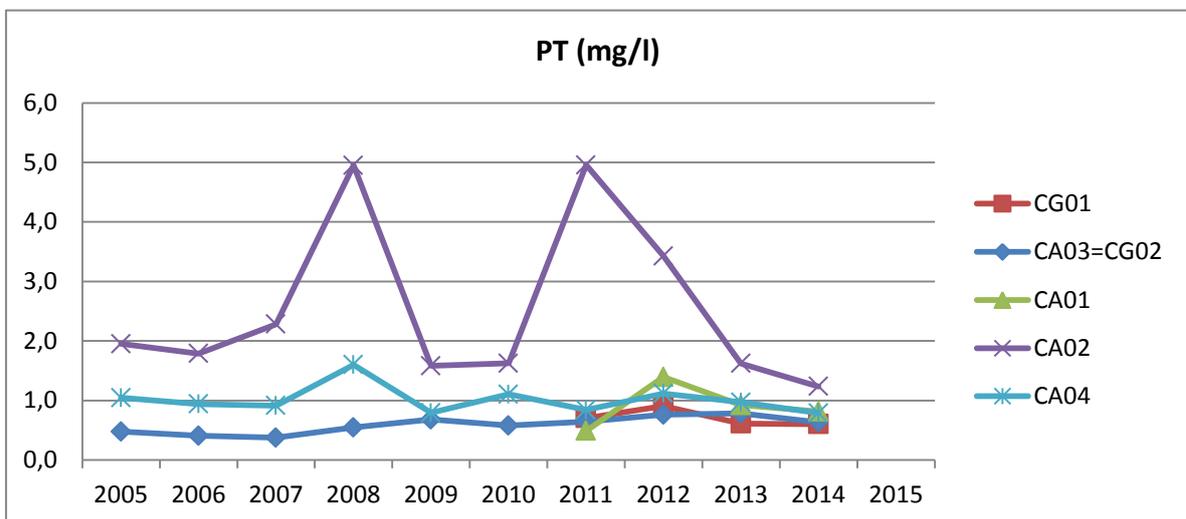


Figura 94. Variación espacial y temporal de la concentración de fósforo total, promedio anual, en el arroyo Canelón Grande y Canelón Chico

La clorofila a como indicadora de biomasa del fitoplancton fue monitoreada en un período de tiempo acotado y solo en las estaciones de régimen fluvial más lento como la estación de entrada al embalse (CG01) y la de salida en la barrera (CG02). El rango de concentración estuvo entre 0,1 y 26 $\mu\text{g/l}$, con una mediana de 1,30 $\mu\text{g/l}$ en 43 datos. Los mayores valores se registraron en la estación de ingreso

de agua al embalse. Temporalmente las variaciones presentaron diferentes tendencias en el corto período de tiempo analizado (Figura 95).

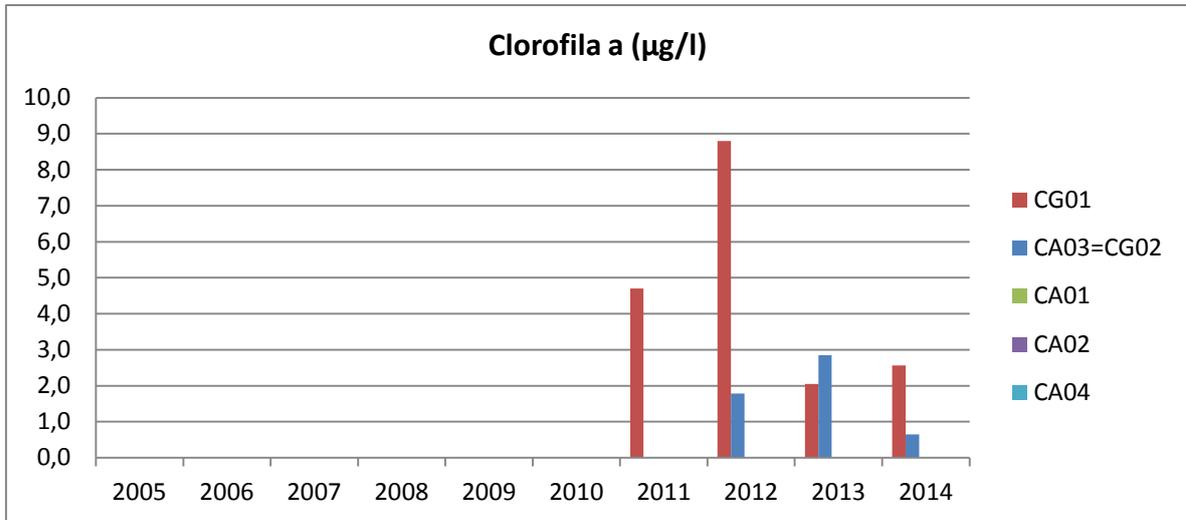


Figura 95. Variación espacial y temporal de la clorofila a, promedio anual, del agua en el arroyo Canelón grande y Canelón Chico

Parámetros microbiológicos

Los coliformes termotolerantes de la subcuenca de los arroyos Canelón Grande y Chico, registraron niveles entre 10 y 470000 ufc/100ml, con una mediana de 210 ufc/100ml (n=76). La estación CA02 presentó los mayores valores y en el total de los datos, fue superado el valor estándar de calidad de 1000 ufc/100ml en el 22% de los registros (Figura 96).

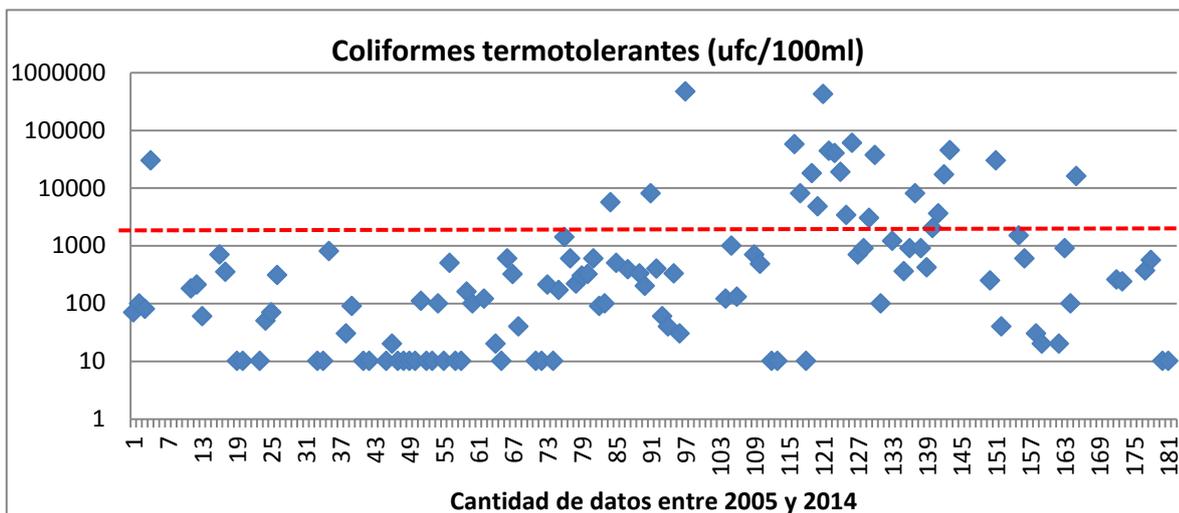


Figura 96. Variación de la concentración de coliformes termotolerantes en todas las estaciones de monitoreo de la subcuenca del arroyo Canelón Grande y Canelón Chico durante 10 años de monitoreo. La línea punteada indica el valor del estándar del Decreto 253/79 (2000 ufc/100ml).

La variación espacio temporal de la concentración de coliformes muestra diferencias espaciales y temporales. La estación aguas abajo de Canelones registró los mayores niveles de coliformes, cuyos

promedios fueron superiores al estándar de calidad (1000 ufc/100ml) todos los años, a pesar de mostrar una tendencia decreciente en el tiempo. Contrariamente la estación CA04 que se ubica aguas abajo de la llegada del Canelón Chico en el Canelón Grande, mostró una tendencia creciente en la concentración promedio anual de coliformes termotolerantes entre el inicio del programa de monitoreo hasta 2011 (Figura 97). La estación de la represa (CA03=CG02) registró los menores valores promedio anuales, sin tendencias sostenidas en el tiempo.

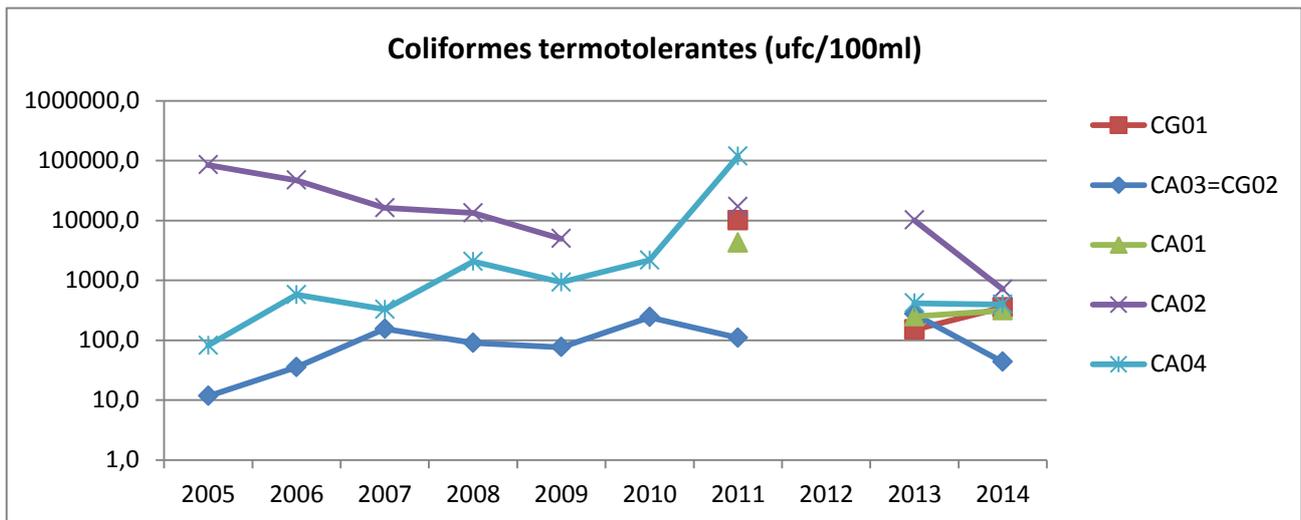


Figura 97. Variación espacial y temporal de la concentración de coliformes termotolerantes en el sistema del arroyo Canelón Grande y Canelón Chico.

EMBALSE CANELÓN GRANDE

El monitoreo del embalse Canelón Grande fue iniciado a partir del Rediseño del Programa de Monitoreo de Calidad de Agua de DINAMA en 2011 y se lo identifica como "Monitoreo de Nivel 3". Se establecieron tres estaciones para la medición de parámetros *in situ* y la obtención de muestras, algunas de las cuales también se han incluido en el monitoreo de nivel 1, del curso principal. La ubicación de las estaciones se esquematiza en la Figura 77. La hidrodinámica de la estación CG01 es más fluvial que la del resto de las estaciones, porque se encuentra ubicada en la cola del embalse, registrando las características del sistema cuando el agua ingresa al embalse.

Parámetros físico-químicos

La variación de la temperatura del agua en el embalse registró una amplitud entre 7 y 27 °C, con una mediana de 20 °C (n=63). La variación temporal de la temperatura fue similar en todas las estaciones, con años más cálidos (2012 y 2014) y más frescos (2011 y 2013). La estación en la cola del embalse registró la menor temperatura anual promedio, mientras que en la estación de la represa

se registraron los mayores promedios anuales, muy próximos a la estación del centro del embalse (Figura 98).

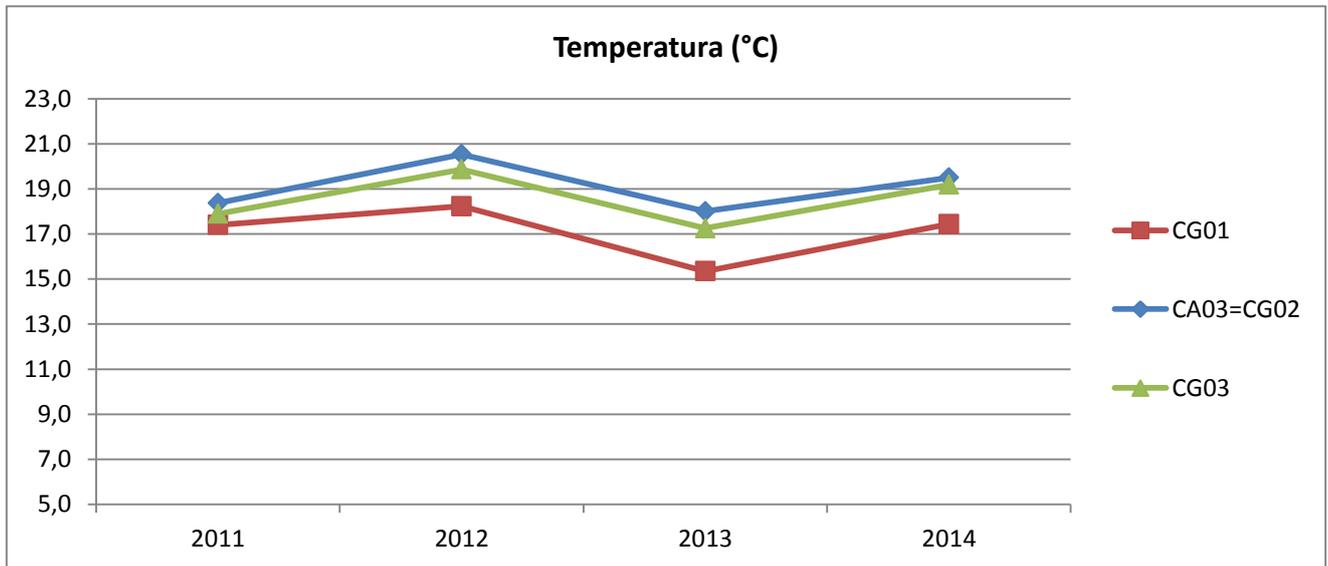


Figura 98. Variación espacial y temporal de la temperatura promedio anual del agua del Embalse Canelón Grande

La conductividad mostró diferencias importantes entre la estación de entrada al embalse, que mostró los valores anuales más altos, y las otras dos. Por otra parte, la variación temporal de la conductividad también es más marcada en aquella estación (Figura 99), con una importante disminución de la conductividad promedio entre 2011 y los demás años de estudio.

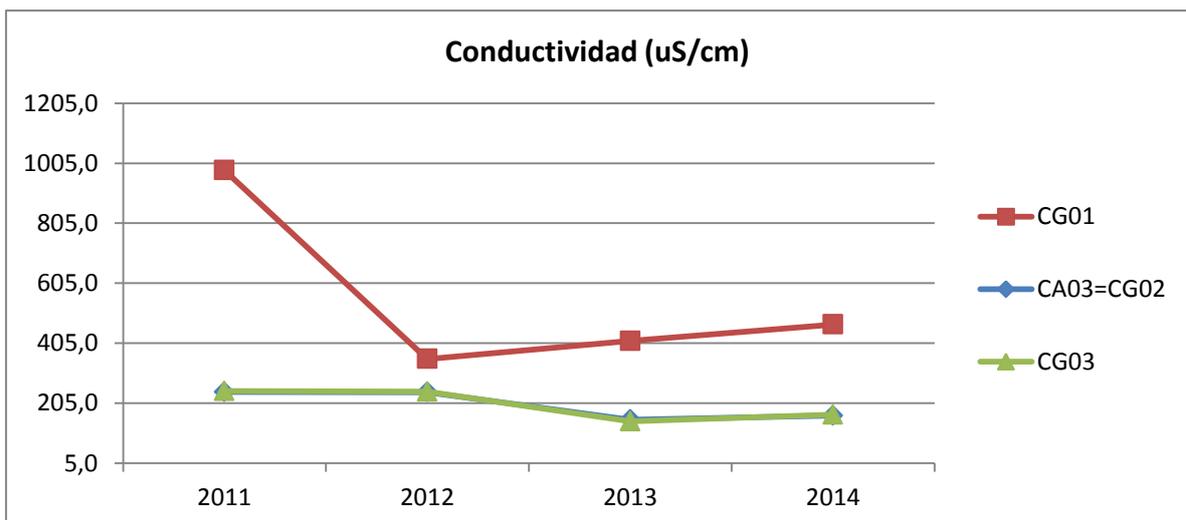


Figura 99. Variación espacial y temporal de la conductividad promedio anual del embalse Canelón Grande.

El pH del embalse registró valores entre 6 y 8,2, cumpliendo con los niveles de calidad establecidos en el Decreto 253/79 en el 94% de los resultados (Figura 100). La variación espacial y temporal del pH mostró similar comportamiento entre las tres estaciones de monitoreo. En CG01 se registraron

tendencias diferentes al resto entre 2011 y 2012 (Figura 101). Temporalmente, el parámetro mostró una tendencia creciente.

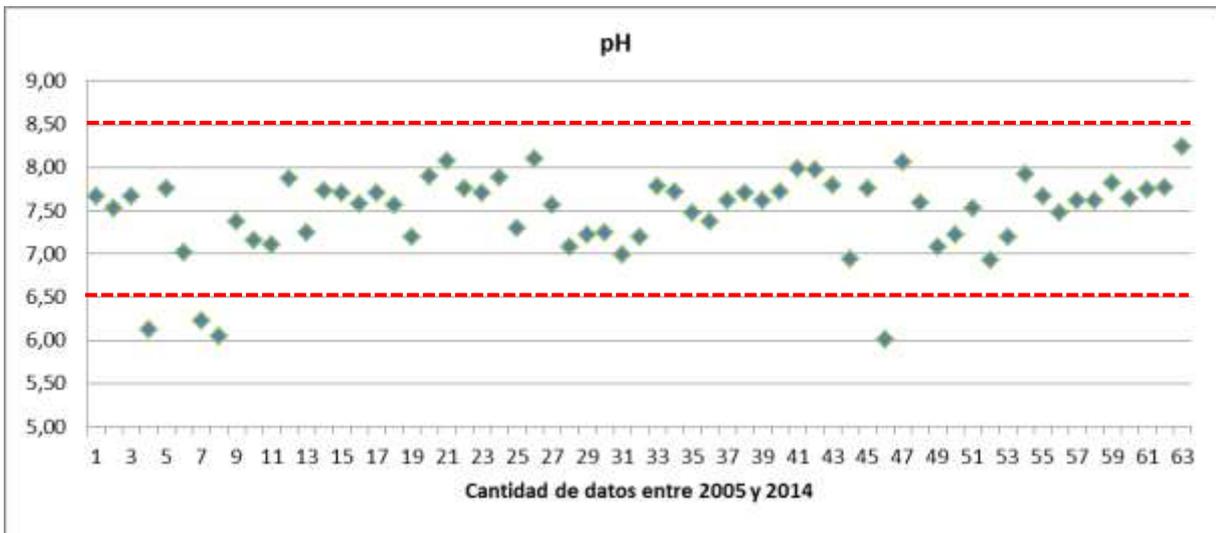


Figura 100. Variación del pH en todas las estaciones de monitoreo del embalse Canelón Grande durante 10 años de monitoreo. La líneas punteadas indican el rango del valor estándar de calidad (6,5 a 8,5) del Decreto vigente (253/79)

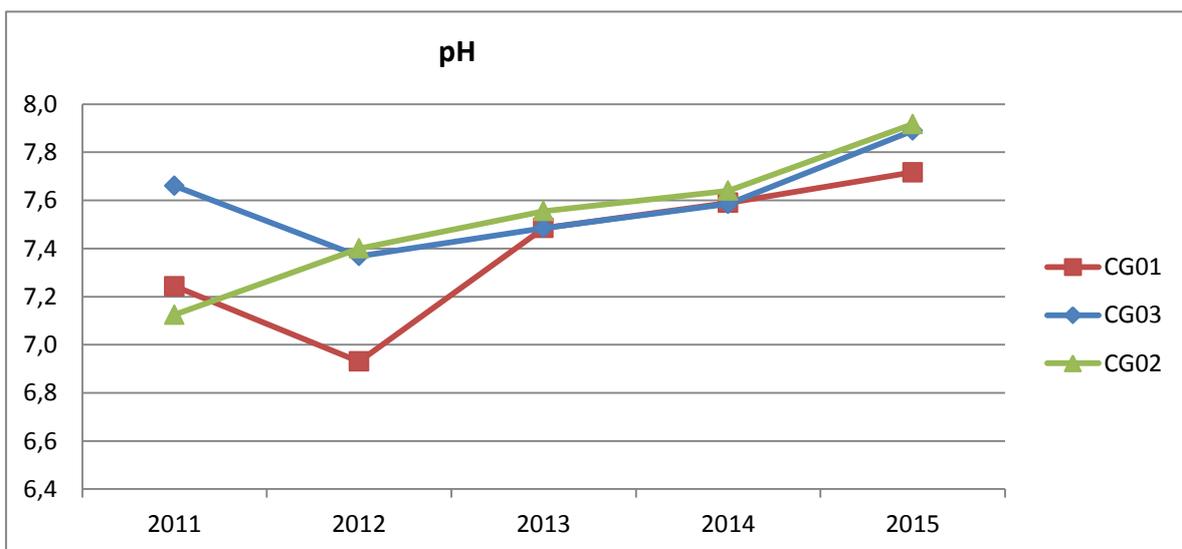


Figura 101. Variación espacial y temporal del pH promedio anual del agua en el embalse Canelón Grande.

La concentración de oxígeno disuelto en el embalse Canelón Grande registró valores entre 1,3 y 10,4 mg/l, con una mediana de 7 mg/l (n=63). El 27% de los valores fueron inferiores al valor estándar de calidad (5 mg/l) que establece el Decreto 253/79; la mayoría de estos valores se registraron en la estación de ingreso de agua al embalse (CG01). Por lo tanto el 73% de los registros de concentración de OD en el embalse Canelón Grande cumplen con el estándar de calidad (Figura 102).

Por otra parte, la variación espacial y temporal de la concentración de oxígeno promedio anual, mostró claras diferencias entre la estación de ingreso de agua al embalse y el cuerpo. Espacialmente, en CG01 la concentración de OD fue siempre menor respecto al embalse (Figura 103).

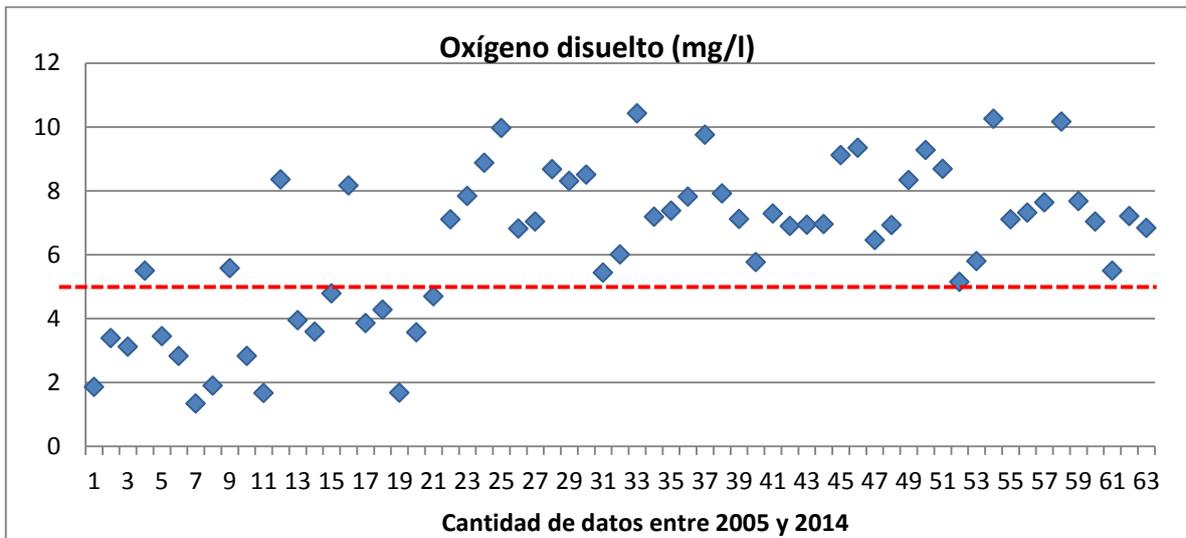


Figura 102. Variación de la concentración de OD en todas las estaciones de monitoreo del embalse Canelón Grande durante 10 años de monitoreo. La línea punteada indica el valor estándar de calidad (≥ 5 mg/l) del Decreto vigente (253/79).

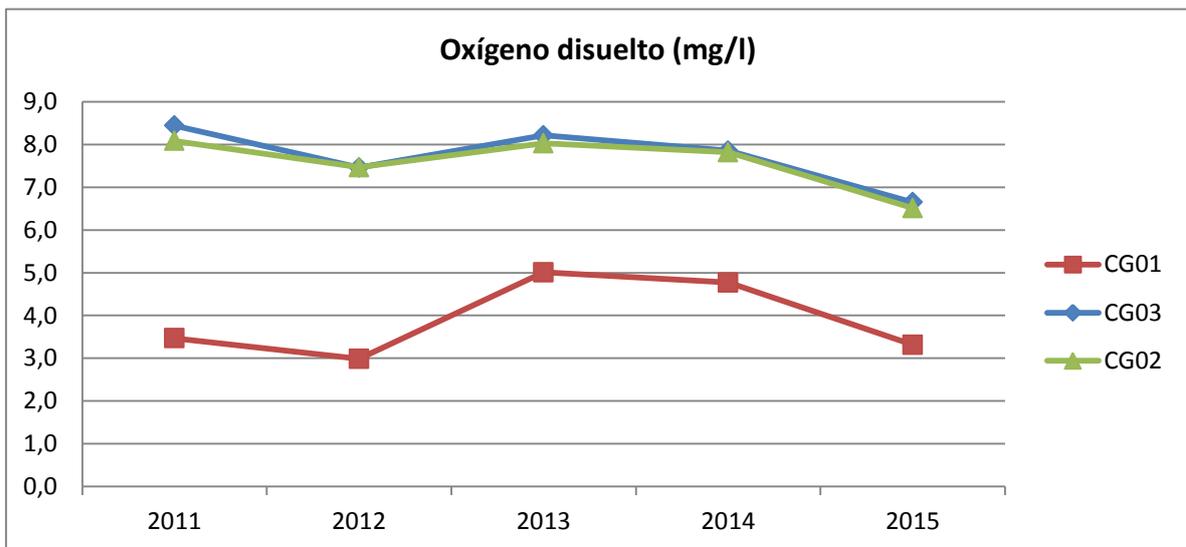


Figura 103. Variación espacial y temporal de la concentración de oxígeno disuelto, promedio anual, en el embalse Canelón Grande.

La turbidez del agua del embalse Canelón Grande es alta. Los valores para el período de estudio fueron de 2 a 150 UNT, con una mediana de 49,5 UNT ($n=46$). Teniendo como valor estándar de calidad un máximo de 50 UNT, se observa que la mediana alcanzó dicho valor y como muestra la Figura 104 el 46% de los registros superó el estándar de calidad.

La variación espacial y temporal de la turbidez del agua, presentó diferencias en el tiempo y en el espacio. La estación de ingreso de agua al embalse fue la que registró los valores (promedio anual) menores de turbidez. Mientras que ambas estaciones del cuerpo del embalse presentaron nuevamente valores promedio anual muy similares entre sí y superiores al agua que ingresa. La

causa de este incremento no es clara, ya que se esperaría lo contrario debido a que el agua que circula por el arroyo Canelón Grande con determinada turbidez, al ingresar al embalse, donde el flujo se enlentece y las partículas sedimentan, debería disminuir su turbidez. A lo largo del tiempo, se registró una tendencia decreciente desde el inicio del programa de monitoreo hasta 2013, seguido de un período de incremento de la turbidez a partir de dicho año (Figura 105).

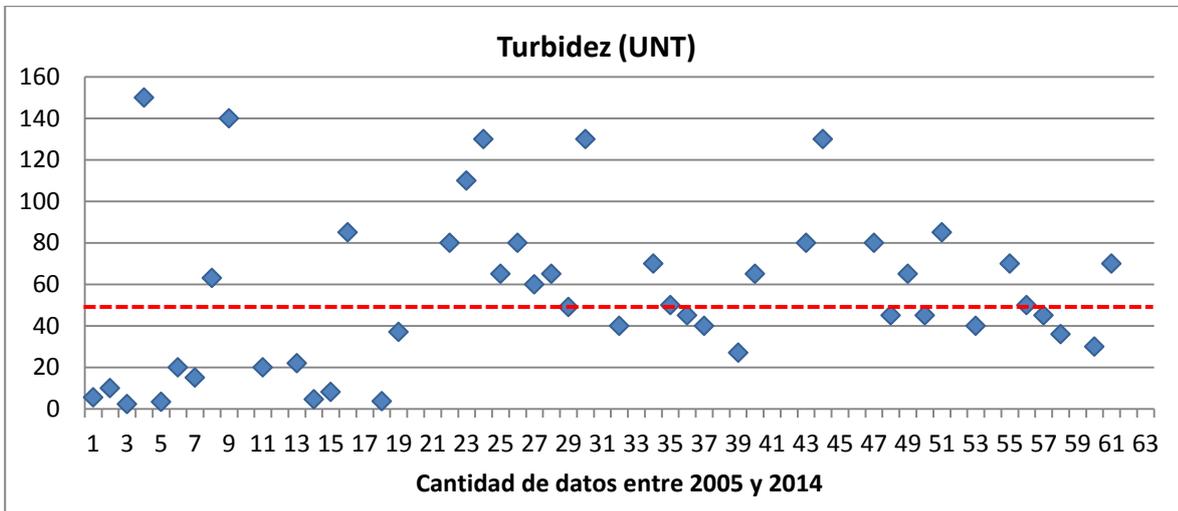


Figura 104. Variación de la turbidez del agua en todas las estaciones de monitoreo del embalse Canelón Grande durante 10 años de monitoreo. La línea punteada indica el valor estándar de calidad (≥ 5 mg/l) del Decreto vigente (253/79).

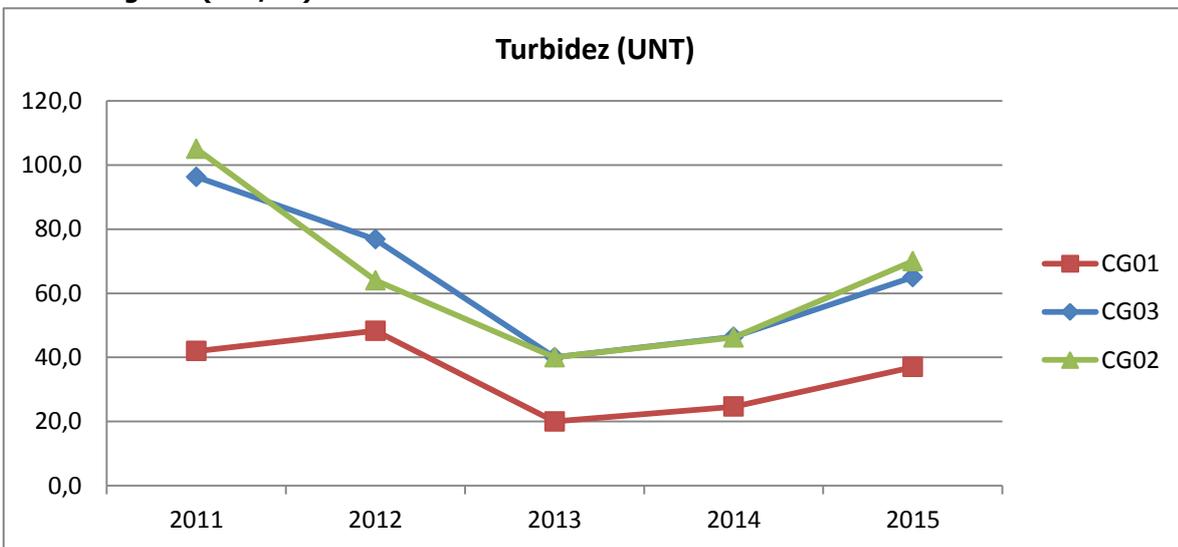


Figura 105. Variación espacial y temporal de la turbidez promedio anual del agua en el embalse Canelón Grande.

La clorofila a, como pigmento indicador de biomasa de organismos fotosintéticos como algas y vegetales, presentó baja concentración en el embalse de Canelón Grande. Sus niveles fueron de 0,1 a 28,6 ug/l, con una mediana de 1,2 ug/l (n=49). El valor máximo se registró en CG01 en mayo 2012,. En la variación espacial y temporal de este parámetro se registraron diferencias entre CG01 y las demás estaciones al inicio del programa de monitoreo, que disminuyeron a partir de 2013. Los altos

valores registrados en la estación de ingreso de agua al embalse determinaron esas diferencias. Como muestra la Figura 106, la estación CG01 presentó los niveles de clorofila anual más alta en general y CG03 como la más baja, del centro del embalse.

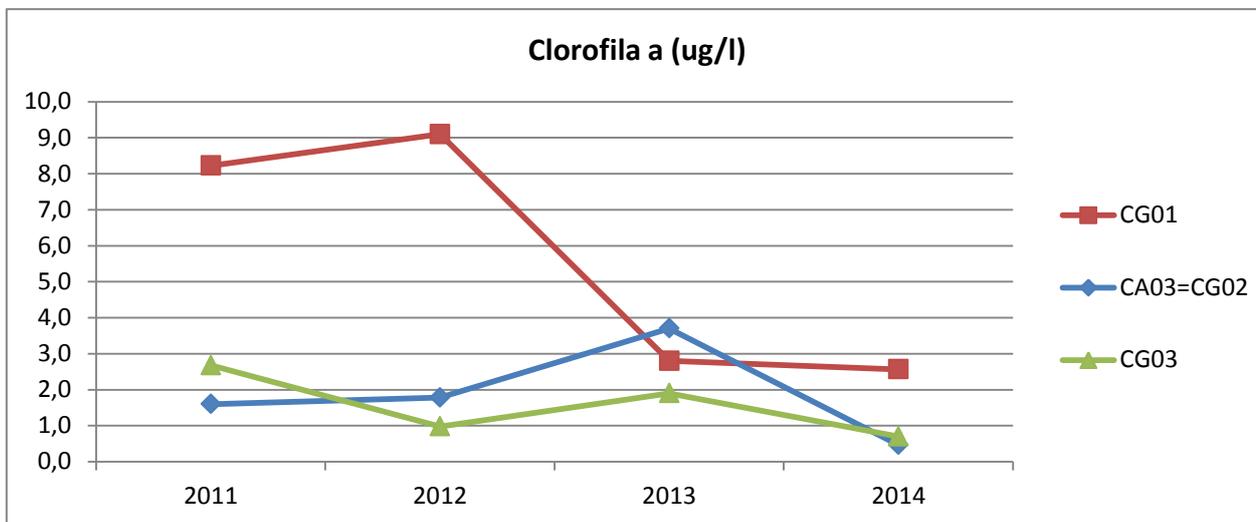


Figura 106. Variación espacial y temporal de la clorofila promedio anual en el embalse Canelón Grande.

Nutrientes

Entre los nutrientes del embalse Canelón Grande, la concentración de nitratos registró valores entre 0,04 y 1 mg/l, con una mediana de 0,35 mg/l (n=49). El estándar de calidad para este parámetro establece valores inferiores a 10 mg/l, mientras que en la modificación se propone un valor guía de 5 mg/l. Como muestra la Figura 107, el 100% de los registros de concentración de nitrato en el agua cumplieron con el estándar de calidad y con el valor guía.

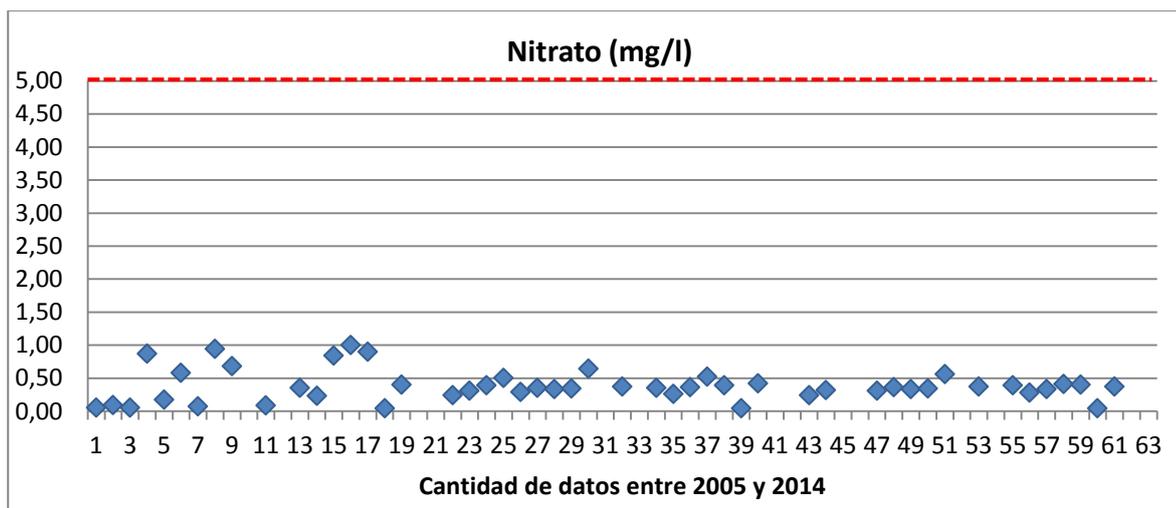


Figura 107. Variación de la concentración de nitrato en todas las estaciones monitoreadas del embalse Canelón Grande durante 5 años. La línea punteada indica el valor guía sugerido para modificar el estándar de calidad (≤ 5 mg/l) vigente por el Decreto 253/79.

La variación espacial y temporal de nitrato mostró que en la estación CG01 se registraron las mayores diferencias en la concentración promedio anual entre los diferentes años de estudio, mientras que en las estaciones del embalse las diferencias anuales fueron menos notorias (Figura 108).

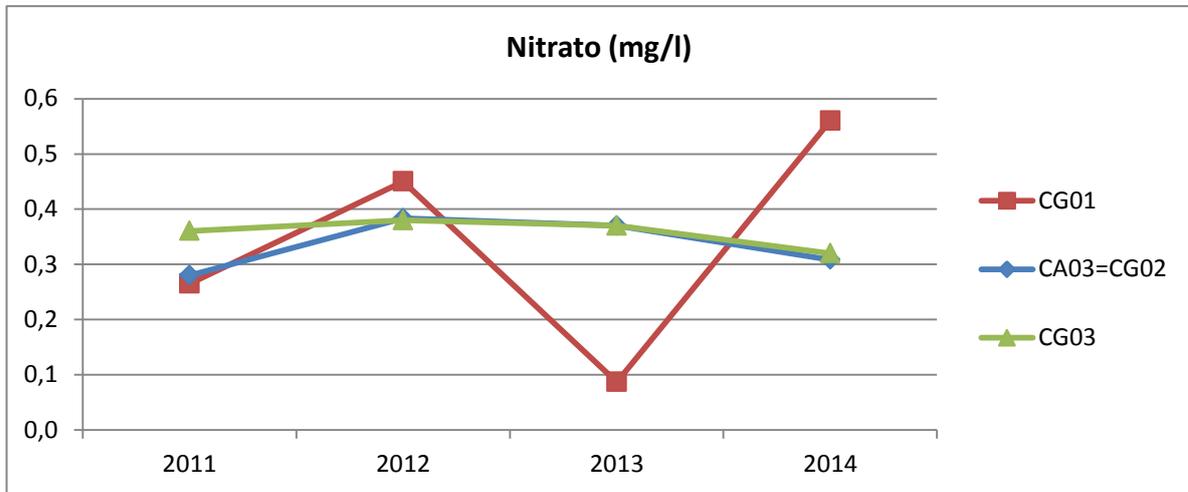


Figura 108. Variación espacial y temporal del nitrato promedio anual en el embalse Canelón Grande.

La concentración de nitrito registró valores entre 0,01 y 0,72 mg/l, con una mediana de 0,04 mg/l (n=39). Teniendo en cuenta el valor guía de calidad propuesto para la modificación del Decreto 253/79, en 5 años de datos se reportaron valores de incumplimiento equivalentes al 22% de los registros (Figura 109).

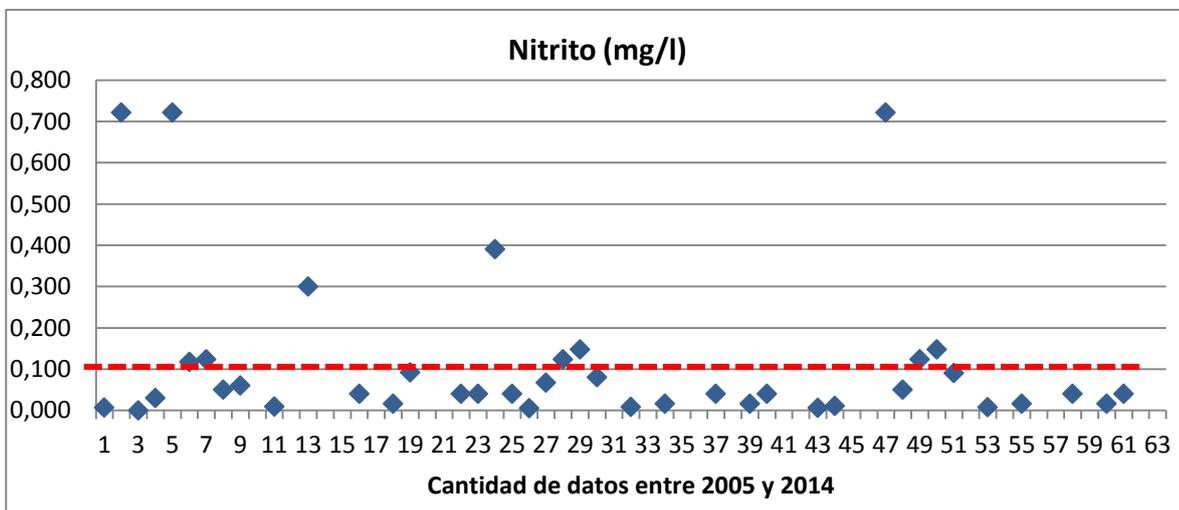


Figura 109. Variación de la concentración de nitrito en todas las estaciones monitoreadas del embalse Canelón Grande durante 5 años. La línea punteada indica el valor guía de calidad ($\leq 0,10$ mg/l) propuesto para modificar el Decreto 253/79.

Las concentraciones promedio anual de nitrito en las tres estaciones del embalse, mostraron tendencias diferentes entre los sitios. La estación de ingreso de agua al embalse (CG01) registró la concentración promedio más alta en 2011 y decayó; la estación de la represa (CG02) solo mostró

mayor valor en 2012; mientras que la estación del medio del embalse mostró descenso constante de sus niveles promedio anual entre 2011 y 2013 (Figura 110).

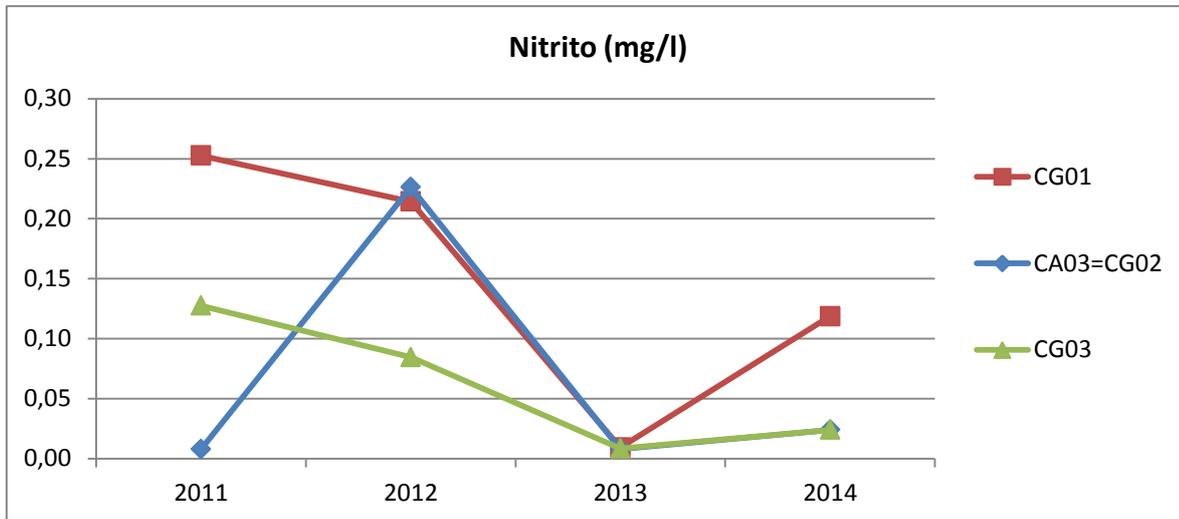


Figura 110. Variación espacial y temporal del nitrito promedio anual en el embalse Canelón Grande.

El amonio en el embalse tuvo un rango de concentración entre no detectable y 0,32 mg/l, con una mediana de 0,04 mg/l (n=49). Los valores más altos se registraron en CG01. En la variación espacio-temporal de este nutriente, las estaciones CG01 y CG02 mostraron similar comportamiento y concentraciones diferentes, con máximos en 2012 y tendencia decreciente con el tiempo. La estación del medio del embalse registró una disminución constante de la concentración de amonio a lo largo del período de estudio (Figura 111).

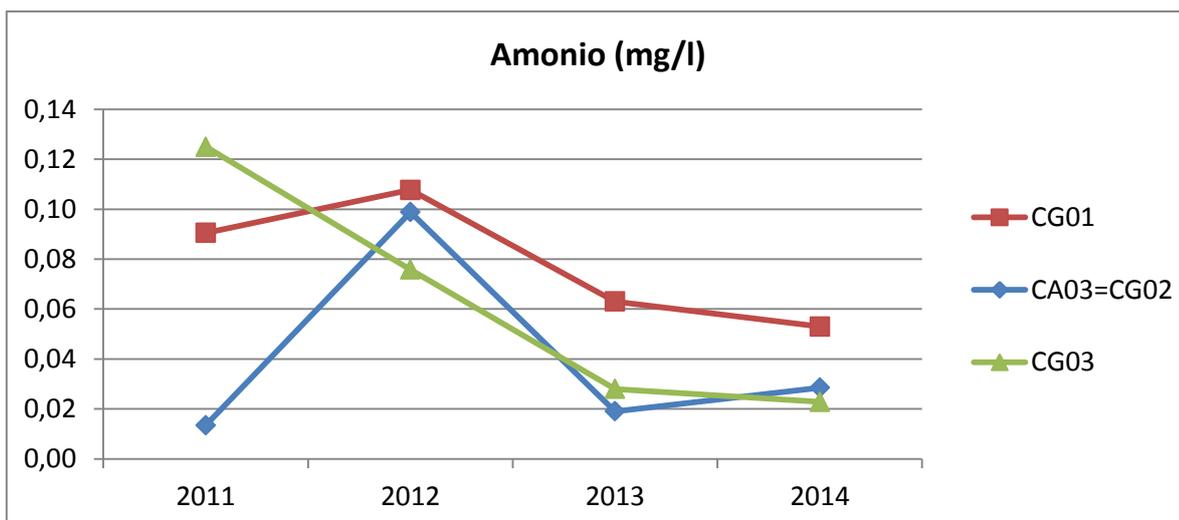


Figura 111. Variación espacial y temporal del amonio promedio anual en el embalse Canelón Grande.

El nitrógeno total en el embalse cuenta solo con registros de 2014 en las tres estaciones de monitoreo. Sus valores estuvieron entre 0,7 y 3 mg/l. La relación entre las concentraciones promedio anual del NT mostró que CG01 registró los niveles más altos (Figura 112).

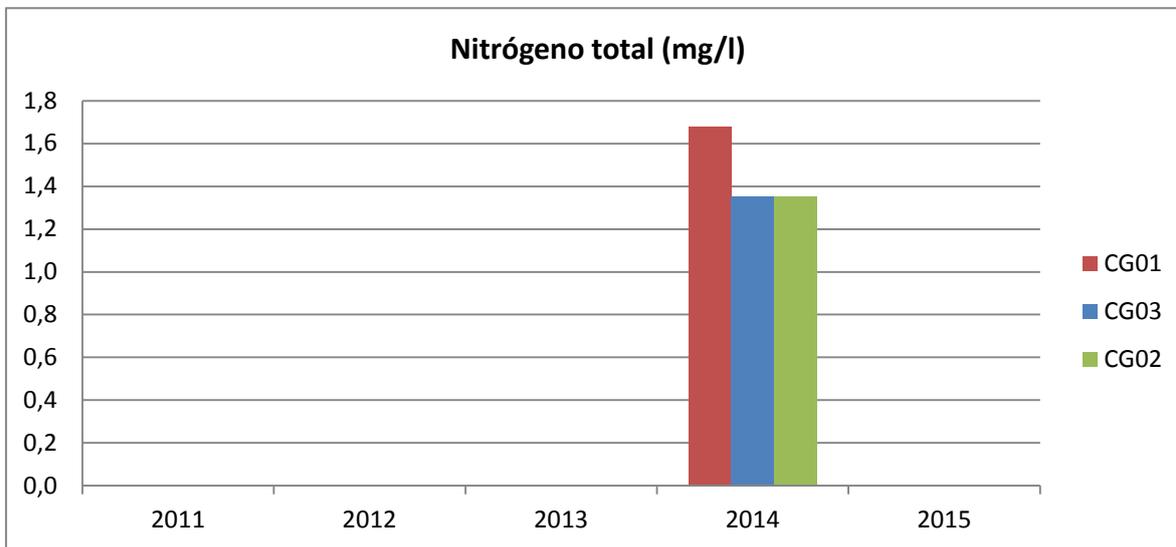


Figura 112. Variación espacial y temporal del nitrógeno total promedio anual en el embalse Canelón Grande.

La concentración de fósforo total en el embalse también mostró valores altos para cuerpos de agua natural. El rango de concentración en 5 años de datos estuvo entre 0,46 y 1,43 mg/l, con una mediana de 0,68 mg/l (n=48). Teniendo como referencia de calidad el valor que establece el Decreto 253/79, de 0,025 mg/l, se registró un incumplimiento en el 100% de los resultados obtenidos (Figura 113).

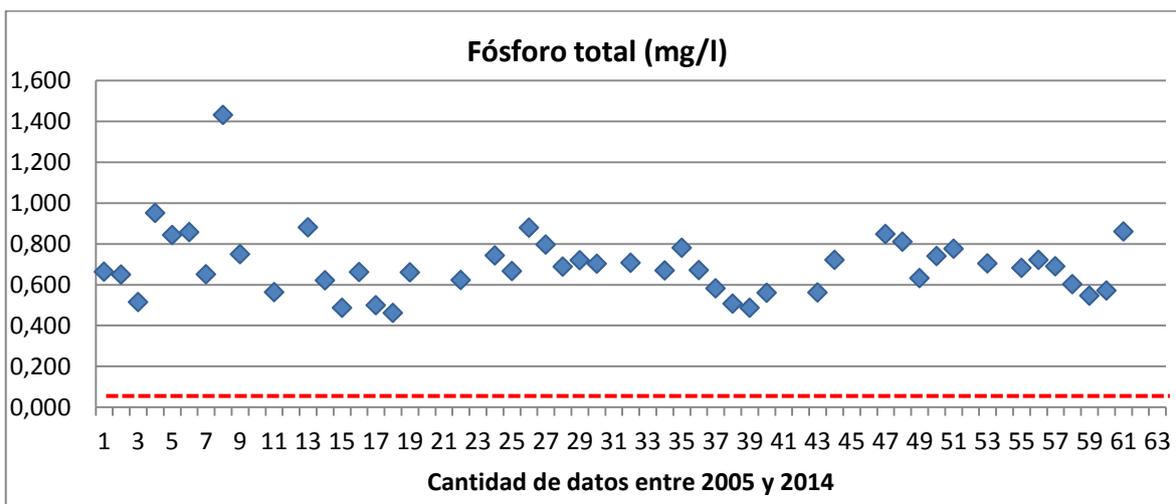


Figura 113. Variación de la concentración de fósforo total en todas las estaciones monitoreadas del embalse Canelón Grande durante 5 años. La línea punteada indica el valor estándar de calidad ($\leq 0,025$ mg/l) vigente en el Decreto 253/79.

La variación espacial y temporal de este nutriente mostró diferencias espaciales en la concentración promedio anual (de PT) entre CG01 y las estaciones del centro del embalse. Temporalmente se registró la misma tendencia en todas las estaciones, con un leve incremento entre 2011 y 2012, y un descenso constante de la concentración promedio del PT a partir de ahí (Figura 114).

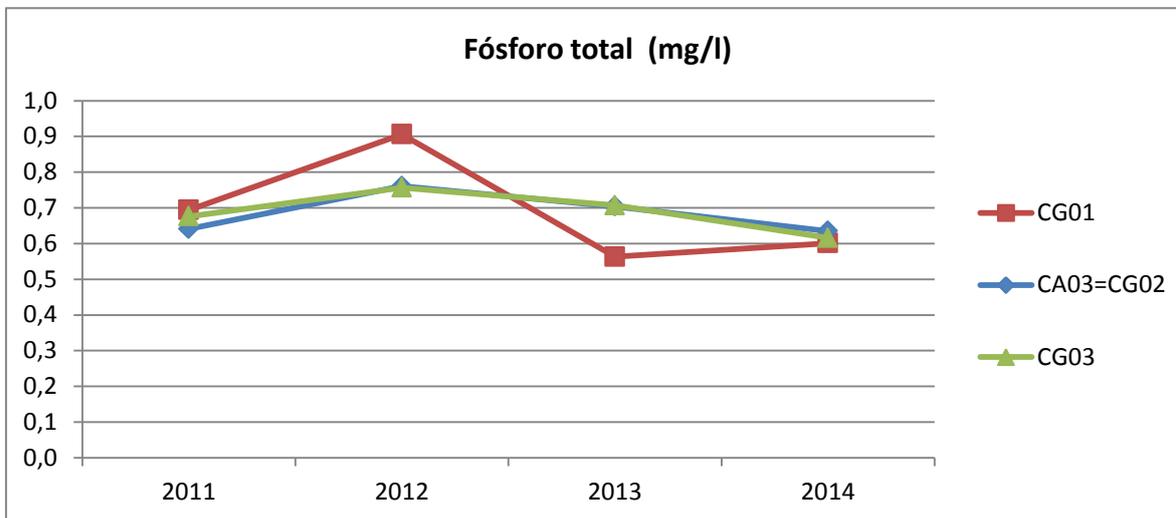


Figura 114. Variación espacial y temporal del fósforo total, promedio anual, en el embalse Canelón Grande.

Parámetros microbiológicos

Los niveles de coliformes termotolerantes en el embalse Canelón Grande estuvieron entre 10 y 30000 ufc/100ml con mediana de 178 ufc/100ml (n=33). Los datos corresponden a 2011 y 2014. Considerando el estándar de calidad de 2000 ufc/100ml actualmente vigente, el sistema cumplió en 97% de los datos con este parámetro (Figura 115).

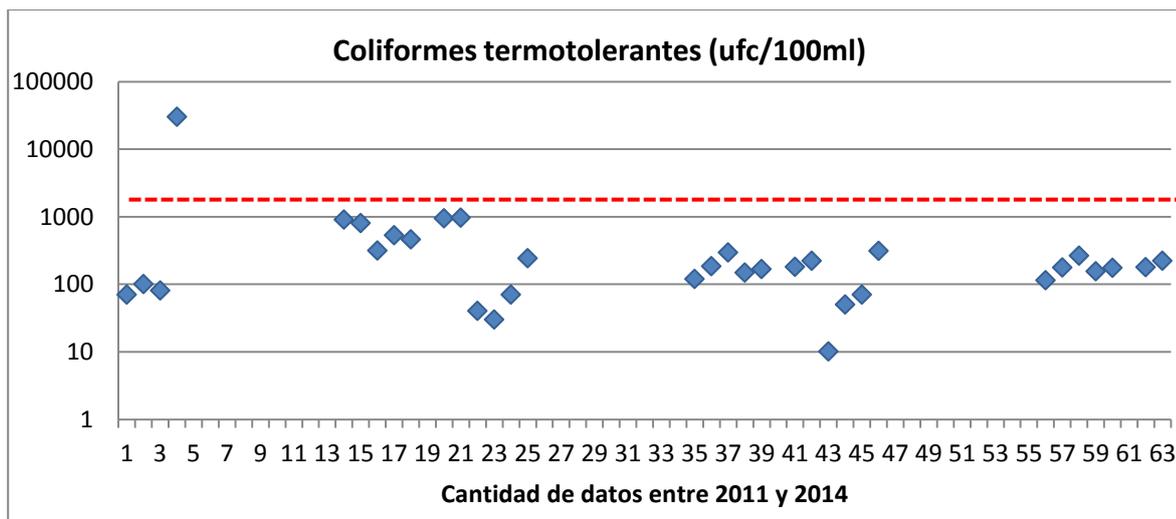


Figura 115. Variación de la concentración de coliformes termotolerantes en todas las estaciones monitoreadas del embalse Canelón Grande durante 5 años. La línea punteada indica el valor propuesto para modificar el estándar de calidad (≤ 2000 ufc/100ml) del Decreto 253/79.

En la variación espacial, la estación de ingreso al embalse registró los mayores valores promedio anual; mientras que temporalmente, y considerando que hay solo dos años de datos, hubo un descenso en la concentración de coliformes termotolerantes entre 2011 y 2014 (Figura 116).

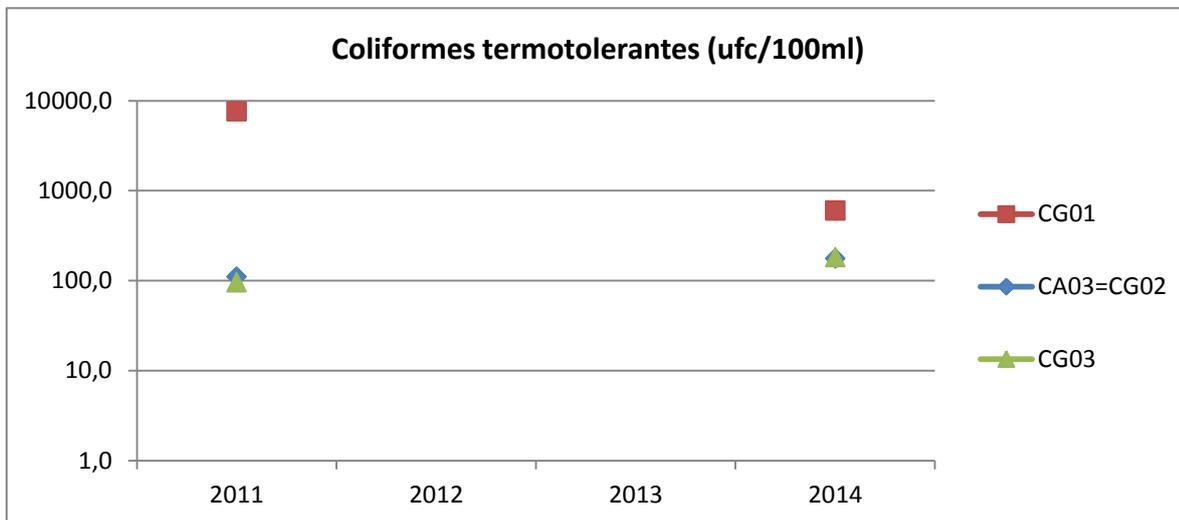


Figura 116. Variación espacial y temporal de la concentración de coliformes termotolerantes promedio anual en el embalse Canelón Grande.

Síntesis subcuenca Arroyo Canelón Grande y Canelón Chico

El monitoreo de la subcuenca de los arroyos Canelón Grande y Chico se inició en 2005 con 3 estaciones en el curso principal de los arroyos. Entre 2005 y 2010 se realizaron 20 muestreos, obteniendo 72 registros; entre 2011 y 2014, a partir del rediseño, se incluyeron estaciones aguas arriba de ambos cursos y en la represa Canelón Grande, alcanzando a 5 estaciones de muestreo. En este período se realizaron 14 muestreos obteniéndose 135 muestras en total.

Para todo el sistema (arroyos y embalse) hay 2 variables que cumplen con los estándares de calidad con una frecuencia >90% (pH y nitrato), le siguen nitrito (80 y 88% de cumplimiento en arroyos y embalse, respectivamente); DBO5 (con 73% de cumplimiento en arroyos), OD (con 48% en arroyo y 73% en embalse); Turbidez (con 67% en arroyos y 46% en embalse) y coliformes (con 80% en arroyo y 95% de cumplimiento en embalse). El fósforo total registró la menor frecuencia de cumplimiento con el estándar (<1%).

Esta subcuenca mostró los resultados de calidad de agua más bajos en términos generales. Las variables más comprometidas fueron el fósforo total, oxígeno disuelto, coliformes y turbidez. Si bien los arroyos muestran condiciones de recuperación en la estación CA04, de destaca la importancia de profundizar las medidas de recuperación de la calidad del agua en todo el sistema de la cuenca del Arroyo Canelón Grande y Chico.

ARROYO COLORADO

La subcuenca del arroyo Colorado, comprende también al arroyo Las Piedras. Se ubica en una zona altamente impactada por la presencia de industrias frigoríficas principalmente, pero también hay fuerte presión de otras industrias y de urbanización. Esta situación se observa en los resultados de calidad del agua de las estaciones C6 y C9, las cuales fueron monitoreadas en el período 2005-2010. El punto de monitoreo CO01, iniciado en 2011, se ubica en la desembocadura del A° Colorado sobre el río Santa Lucía (Figura 117); se considera representativo de la subcuenca que incluye también al Arroyo Las Piedras (Figura 118).

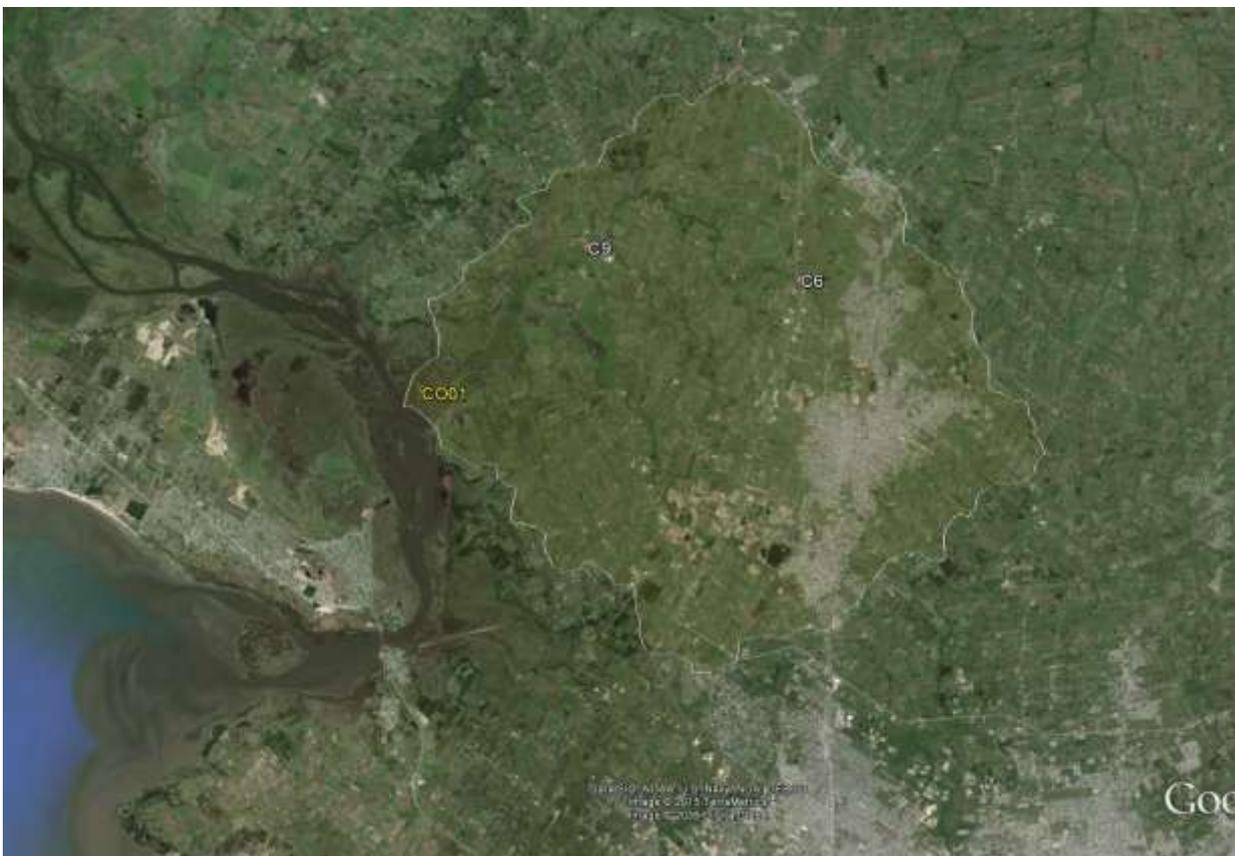


Figura 117- Ubicación de la estación de monitoreo en la subcuenca del A° Colorado

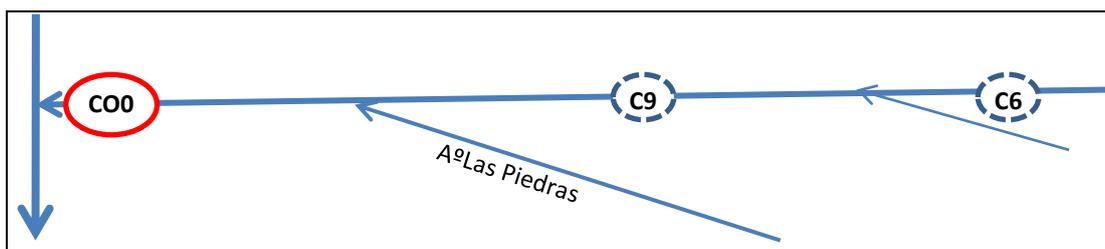


Figura 118. Diagrama del Arroyo Colorado y las estaciones de monitoreo de calidad de agua. Las líneas punteadas señalan estaciones del período 2005-2010.

Parámetros físico-químicos del agua

Respecto a la temperatura, los valores oscilaron entre 8.5 y 27°C, con una mediana de 19 (Figura 119). El comportamiento de las estaciones C6 y C9 fue homogénea a lo largo de los años en que se realizó el monitoreo. El punto CO01 mostró mayor amplitud y variación de la temperatura con el tiempo, con una tendencia ascendente en los últimos años.

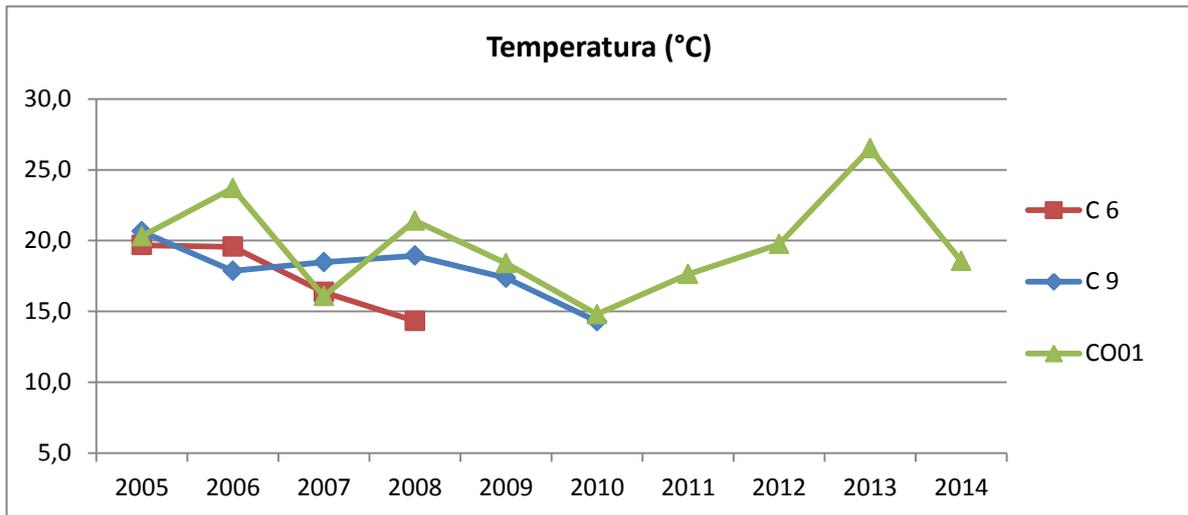


Figura 119- Variación temporal y espacial de la temperatura en la subcuenca del Arroyo Colorado

La conductividad en los puntos C6 y C9 fue similar entre 2005 y 2010, registrándose una marcada diferencia con CO01. Los valores de conductividad en esta subcuenca estuvieron entre 129 y 190000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con una mediana de 852 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ($n=84$). La gran amplitud en los valores de conductividad interanual que mostró la estación CO01, tiene mucha relación con su ubicación en el tramo de la desembocadura del arroyo y en área de influencia del Río de la Plata (Figura 120).

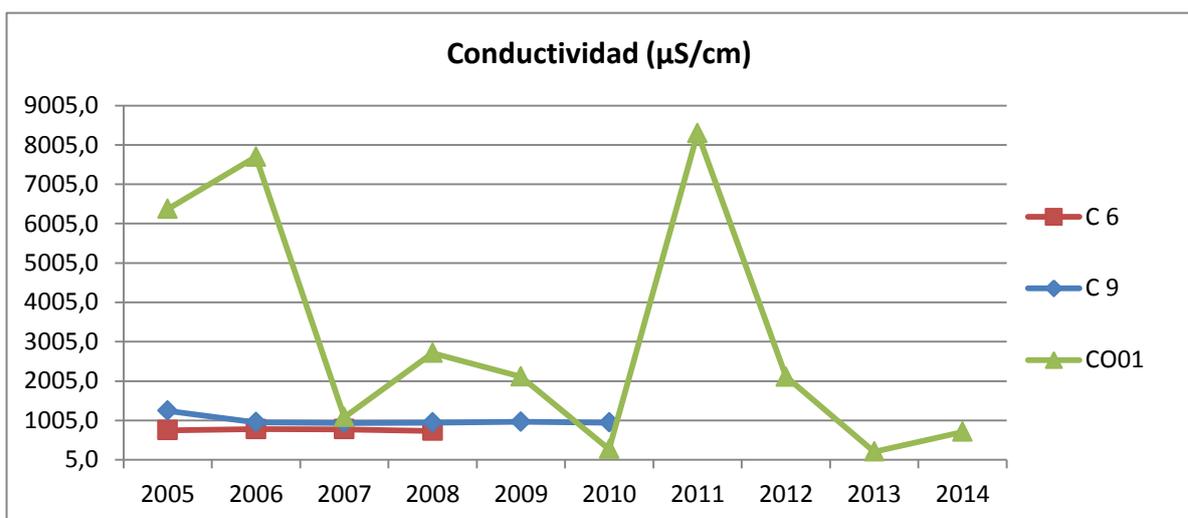


Figura 120- Variación temporal y espacial de la conductividad en la subcuenca del Arroyo Colorado

El pH durante 10 años de estudio registró una variación entre 6.4 y 8.1, con una media de 7.5 (n=83). Tomando como referencia el rango de cumplimiento que indica el Decreto 253/79 (entre 6,5 y 8,5), prácticamente todas las muestras analizadas cumplieron con este estándar de calidad (Figura 121). Solo 1% de los valores estuvo por debajo de los límites estándares.

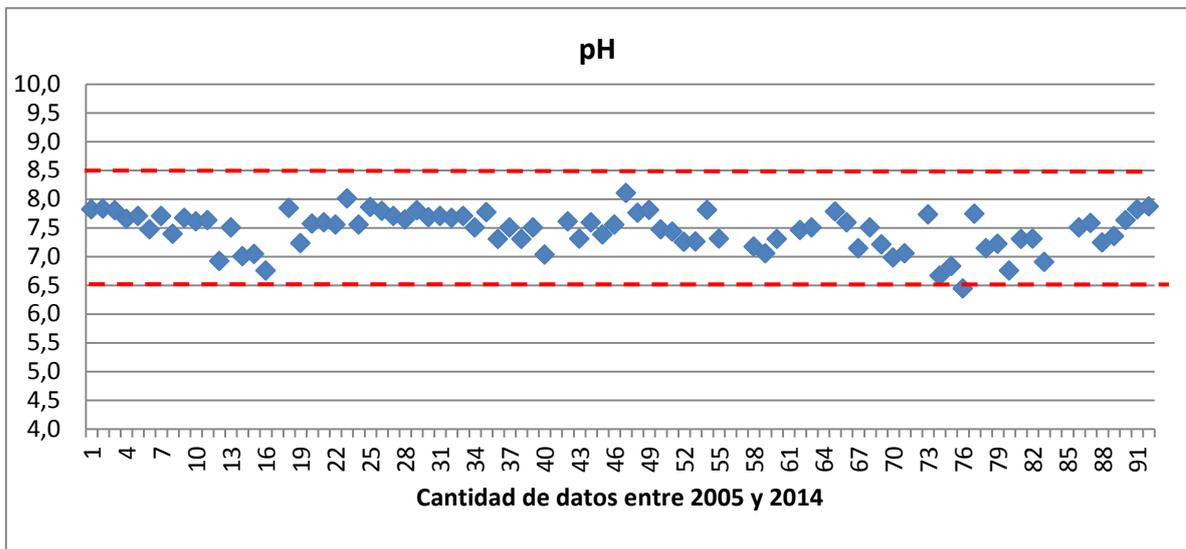


Figura 121- Valores de pH en todas las estaciones durante todo el período estudiado en la subcuenca del Arroyo Colorado. Las líneas punteadas indican el rango de valor estándar de calidad (6,5-8,6) vigente en el Decreto 253/79.

Se observa una tendencia a la disminución del pH en las tres estaciones monitoreadas entre el año 2005 y 2007. El valor mínimo se observó en la estación C6 en el año 2008, mientras que la estación CO01 ese año mostró uno de sus mayores valores. Este parámetro no tiene un patrón para todo el sistema, sino por sectores. Nuevamente la estación CO01 muestra gran amplitud de valores entre los años de monitoreo (Figura 122). En todo el período, el promedio anual cumplió con los niveles de calidad.

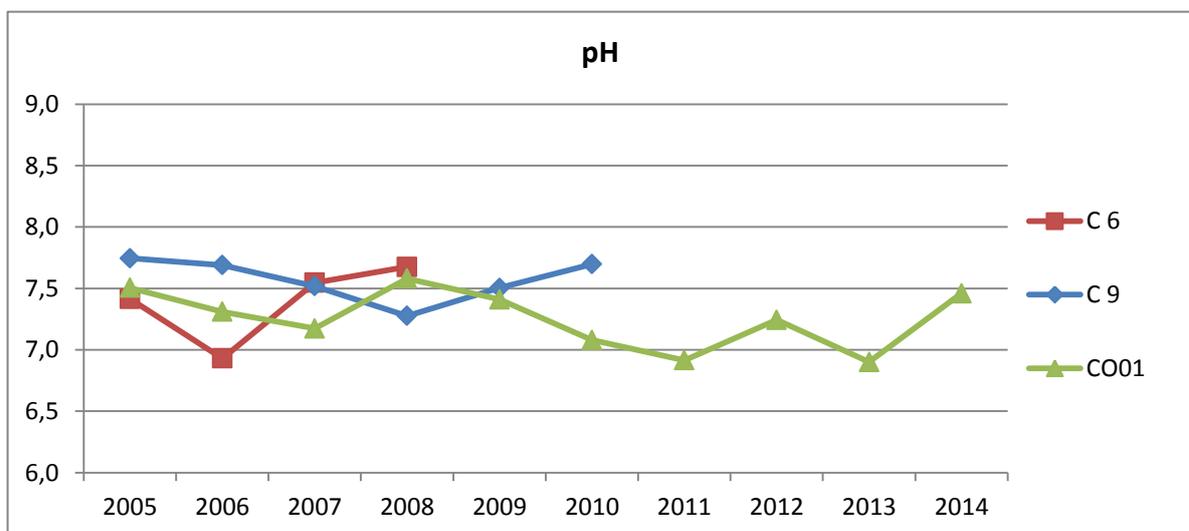


Figura 122- Variación espacial y temporal de pH, promedio anual, en las estaciones de monitoreo del arroyo Colorado durante el período de estudio

La concentración de Oxígeno disuelto en el agua, como valor absoluto (mgO_2/l), presentó un rango entre 1,6 y 9,6 mg/l , con una mediana de 5,6 mg/l ($n=73$) para 10 años de datos. Como se observa en la Figura 123, en esta subcuenca se registraron datos con valores inferiores a 5 mg/l en el 37% de los registros. Esto indica que es una subcuenca impactada dentro de la cuenca.

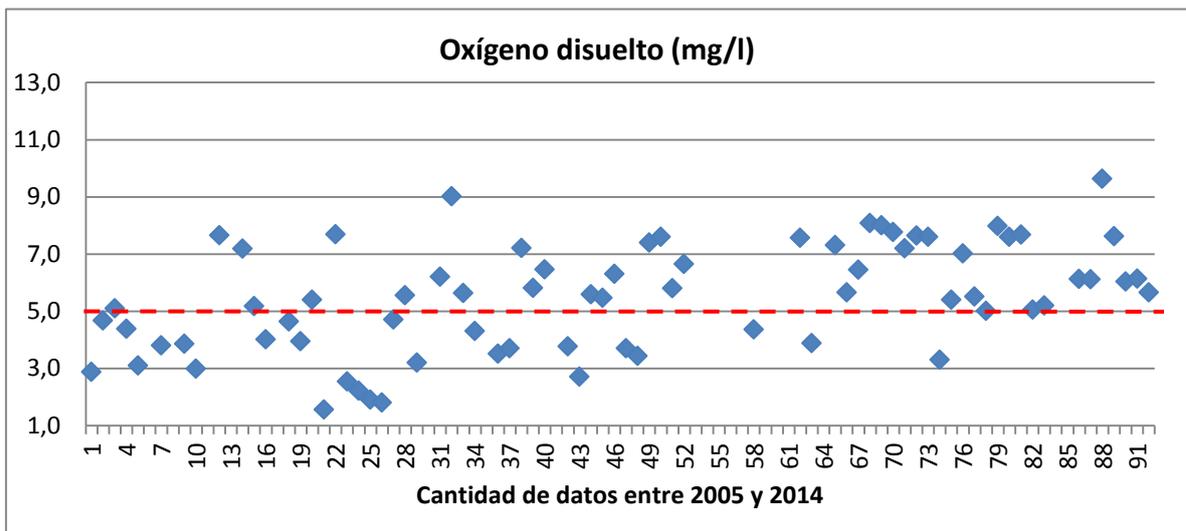


Figura 123- Variación de la concentración de oxígeno disuelto en todas las estaciones de la cuenca del Arroyo Colorado durante todo el período de estudio. La línea punteada indica el valor estándar de calidad ($\geq 5 \text{ mg/l}$) vigente en el Decreto 253/79.

La variación espacial y temporal de la concentración de OD en la cuenca del Arroyo Colorado, muestra que hay diferencias importantes entre estaciones y entre años. Los promedios anuales mostraron en todas las estaciones valores por debajo del estándar (Figura 124). En CO01 (salida de cuenca) excepto en el año 2007, siempre estuvieron por encima de 5 mg/l , lo que indica que hay una recuperación del curso hacia la desembocadura.

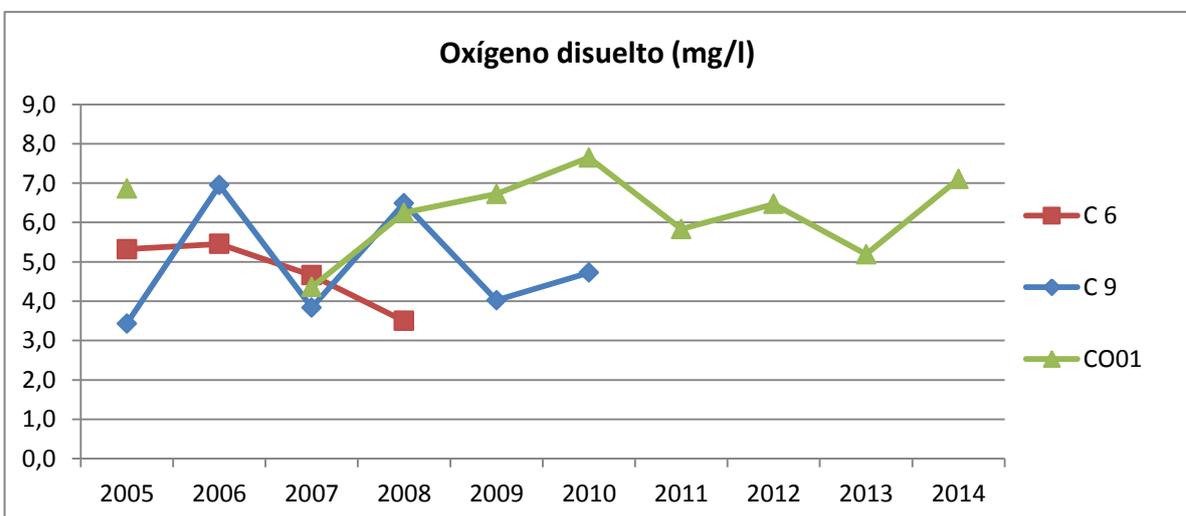


Figura 124- Variación espacial y temporal de oxígeno disuelto en las estaciones de monitoreo de la subcuenca del Arroyo Colorado

Los niveles de la Demanda Bioquímica de Oxígeno cumplen con el estándar que establece el Decreto 253/79 en casi todos los casos analizados (Figura 125). El 6 % de los valores mostraron una concentración superior al límite de calidad permitido (10 mg/l). En general la mayor parte de los resultados se expresan como menores al límite de detección, lo que no permite realizar análisis estadísticos ni ver tendencias.

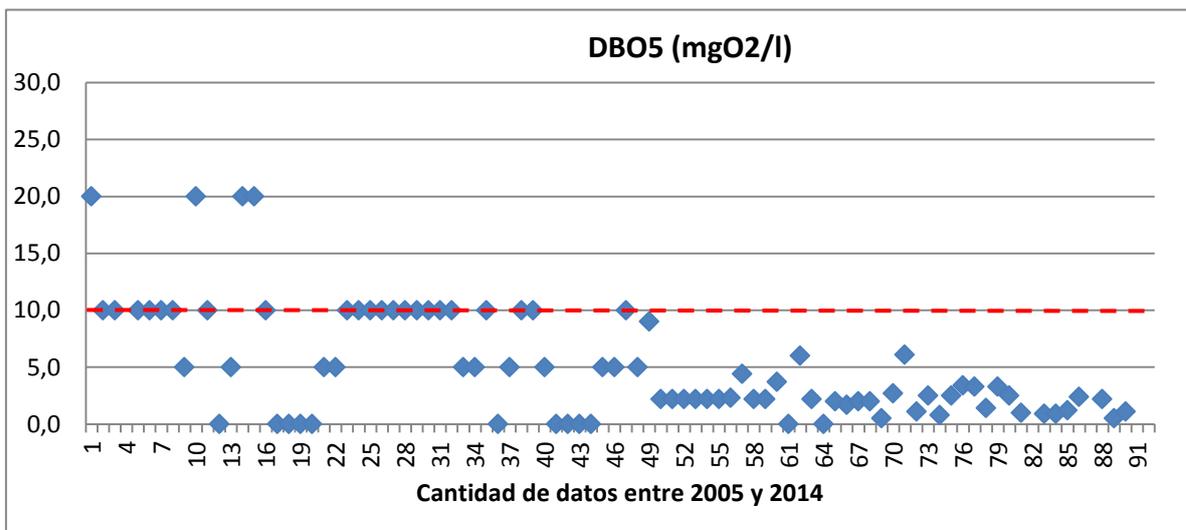


Figura 125- Variación de la concentración de DBO5 (mgO₂/l) en todas las estaciones y durante todo el período de monitoreo. La línea punteada indica el valor estándar de calidad (≤ 10 mg/l) vigente en el Decreto 253/79.

Los niveles de turbidez del agua mostraron valores entre 3 y 80 UNT, con una mediana de 10 UNT (n=84) durante los 10 años de monitoreo. En este período, se registraron valores que superaron el estándar e incumplieron con el nivel de calidad (50 UNT), el 2% de los registros (Figura 126).

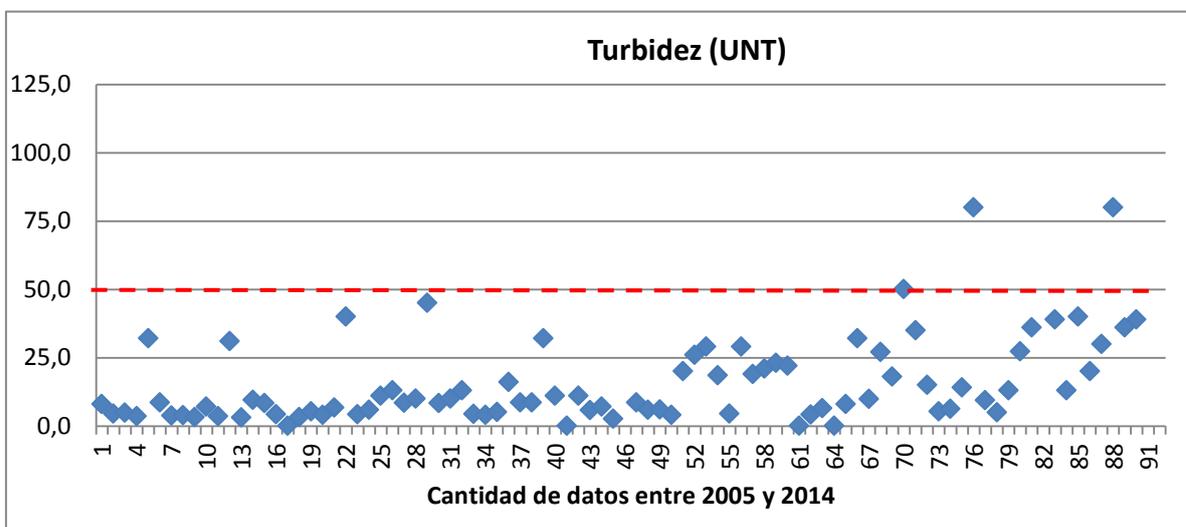


Figura 126- Variación de la turbidez del agua en todas las estaciones de monitoreo estudiadas durante el período de estudio. La línea punteada indica el valor estándar de calidad (≤ 50 UNT) vigente en el Decreto 253/79.

En el análisis del promedio anual por estación de monitoreo, se observan variaciones temporales de la turbidez del agua. Hacia 2009 se registraron incrementos de la variable en la estación CO01, al igual que hacia 2013 y 2014 (Figura 127). Se observan valores mayores de turbidez en la estación CO01, mientras que en las estaciones C6 y C9 siempre se vieron valores inferiores, excepto en el año 2008.

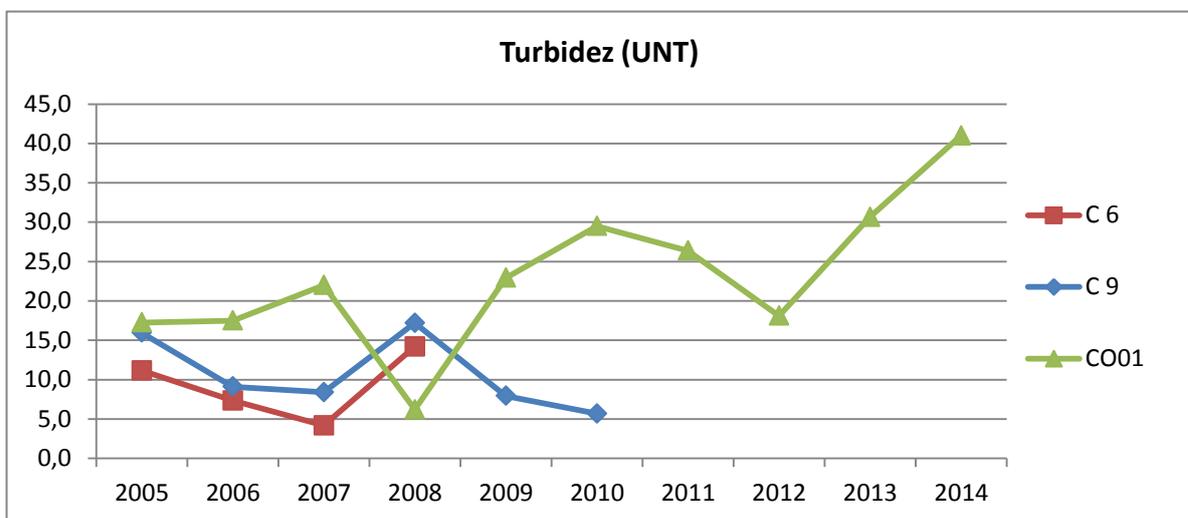


Figura 127- Variación espacial y temporal de la turbidez promedio anual en las estaciones de monitoreo de la cuenca del Arroyo Colorado

La clorofila a solo fue analizada en 2009 y 2010, mostrando valores entre 0.1 y 24 $\mu\text{g/l}$, con una mediana de 4,2 $\mu\text{g/l}$. La estación interior C6 mostró los mayores niveles en ambos períodos (Figura 128Figura 128).

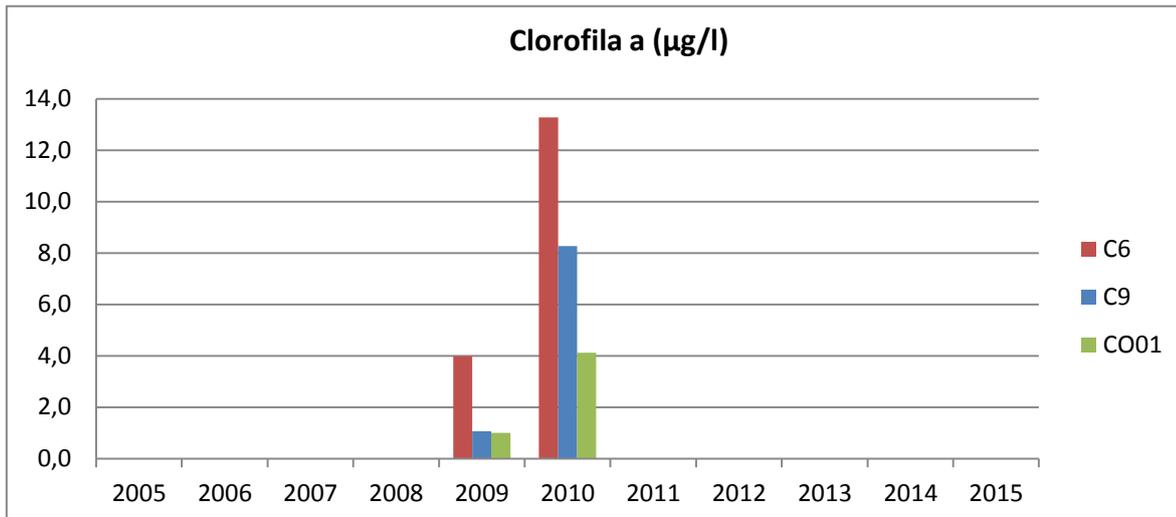


Figura 128. Variación temporal de la concentración promedio anual de clorofila a en el Arroyo Colorado

Nutrientes

El nitrato mostró siempre valores por debajo del estándar del Decreto 253/79 (10 mgNO₃-N/l) e incluso a lo que se propone en la modificación del mismo, que es 5 mgNO₃-N/l (Figura 129).

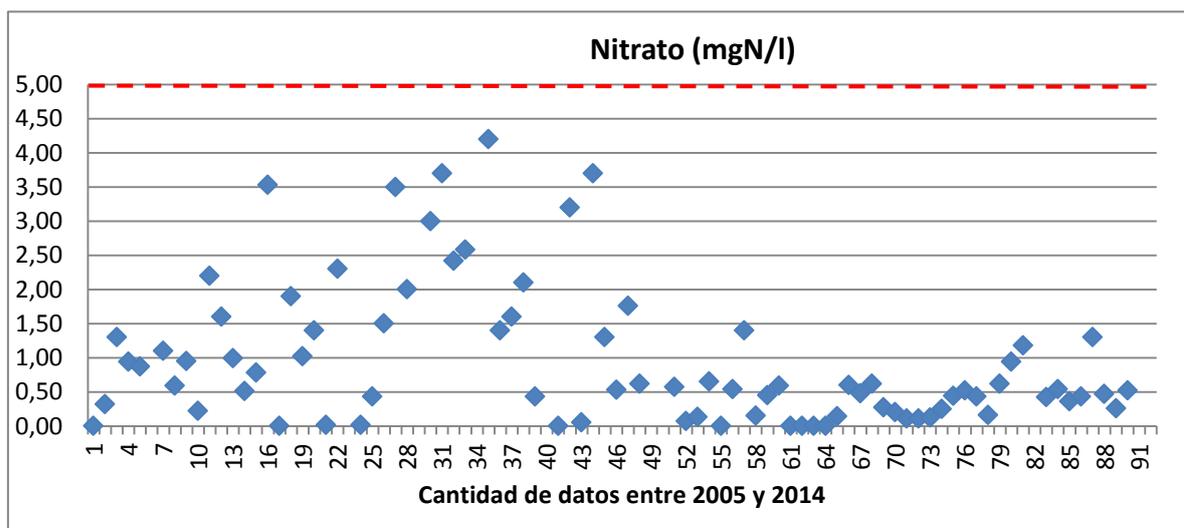


Figura 129- Variación de la concentración de nitrato del agua de la cuenca del Arroyo Colorado en todas las estaciones de monitoreo. La línea punteada indica el valor propuesto (≤ 5 mg/l) para modificar el estándar de calidad vigente en el Decreto 253/79.

Respecto al comportamiento espacial y temporal de la concentración de nitrato, se observó una disminución en todas las estaciones en el año 2010, siendo menos notoria la diferencia en CO01. A partir del año 2011 en la estación CO01 los promedios anuales se mantuvieron en el entorno de los 0,5 mgNO₃-N/l (Figura 130).

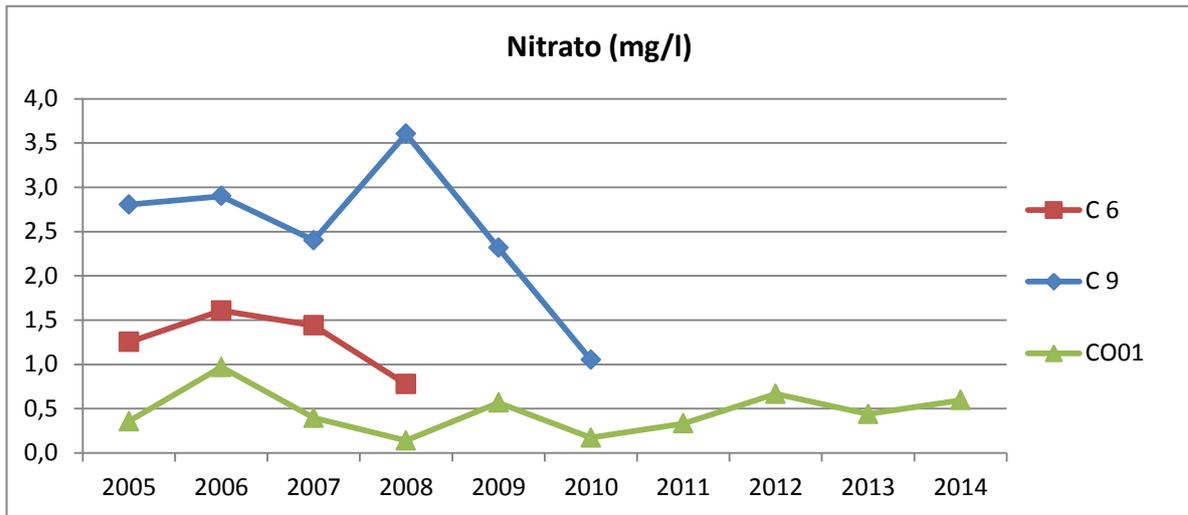


Figura 130- Variación espacial y temporal de nitrato en las estaciones de monitoreo de la cuenca del Arroyo Colorado

La concentración de NO₂, muestra valores entre ND (no detectables) y 3 mg/l, con un valor de mediana de 0,1 mg/l (n= 81). En base al valor guía de 0.1 mgNO₂-N/, se registraron 29 datos de NO₂ por encima de 0,1 mg/l, que representan 36 % de incumplimiento para 10 años de datos (Figura 131).

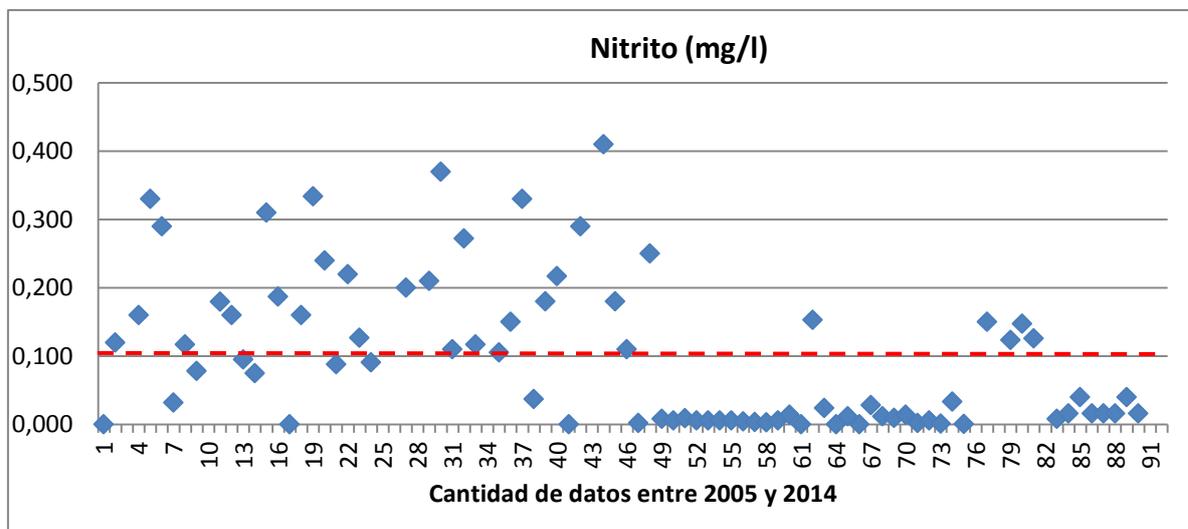


Figura 131- Variación de la concentración de nitrito en todas las estaciones de monitoreo de la cuenca del Arroyo Colorado. La línea punteada indica el valor propuesto (≤ 0.1 mg/l) para modificar el estándar de calidad vigente en el Decreto 253/79

La variación espacial de nitrito mostró diferencias importantes entre las estaciones del interior de la cuenca respecto a la del cierre (Figura 132). Las mayores concentraciones se encontraron en las primeras. Temporalmente, también se registraron oscilaciones interanuales, con un importante incremento de la concentración de nitrito en 2007 y 2009 en C6 y C9; y especialmente en 2012 en la

estación CO01 que siempre se mantuvo con niveles bajos. En 2013 y años subsiguientes, los niveles de nitrito fueron nuevamente inferiores al valor guía.

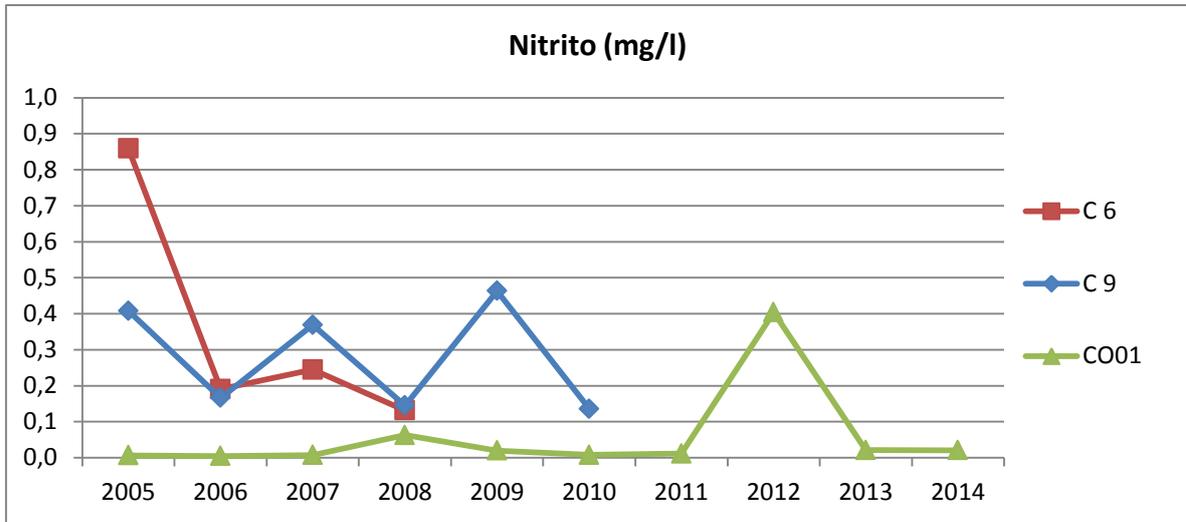


Figura 132. Variación espacial y temporal de nitrito en las estaciones de monitoreo de la cuenca del Arroyo Colorado

La concentración de amonio en la cuenca del arroyo Colorado registró valores entre 0,01 y 37 mg/l, valor considerado muy alto para un curso de agua natural. El valor de la mediana de concentración de amonio fue de 1,4 mg/l en 84 datos. Al igual que para los demás compuestos nitrogenados analizados, hubieron diferencias importantes entre las estaciones del interior de la cuenca y de cierre. En C6 la variación temporal no fue importante, al contrario de C9 en que hubieron fluctuaciones muy amplias en la concentración promedio anual de amonio entre 2005 y 2010 (Figura 133).

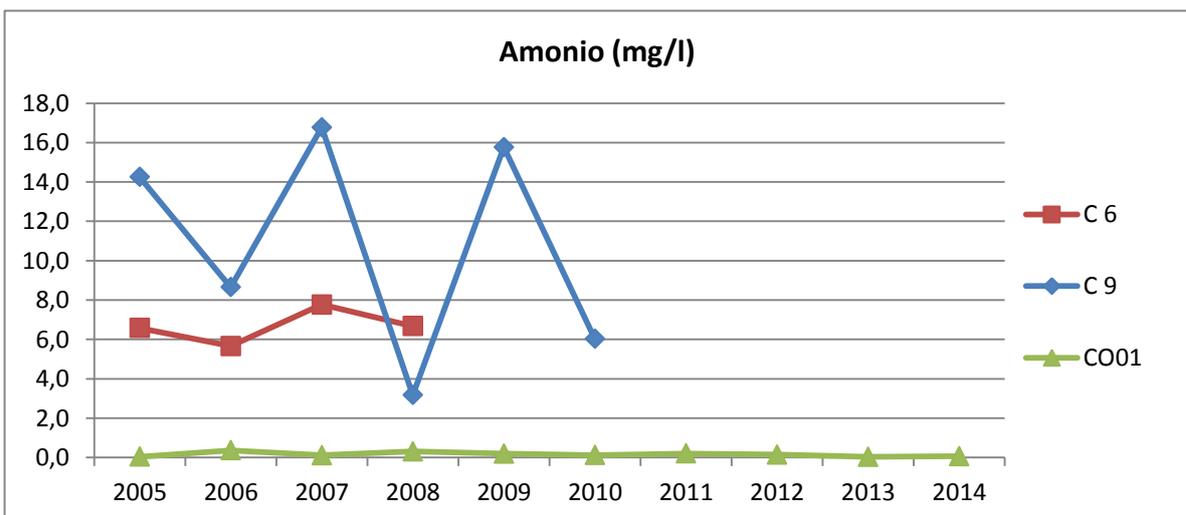


Figura 133- Variación espacial y temporal del amonio en las estaciones de monitoreo de la cuenca del arroyo Colorado

El fósforo total al igual que en toda la cuenca, mostró concentraciones por encima del valor del estándar y del valor guía. Las concentraciones registradas entre el año 2005 y 2014 se encontraron

entre 0.03 y 4.7 mgP/l, con un valor de mediana de 1 mg/l (n=79) (Figura 134). Debido a los altos niveles, la calidad del agua en relación al fósforo total solo cumplió con el estándar en el 5% de los resultados obtenidos.

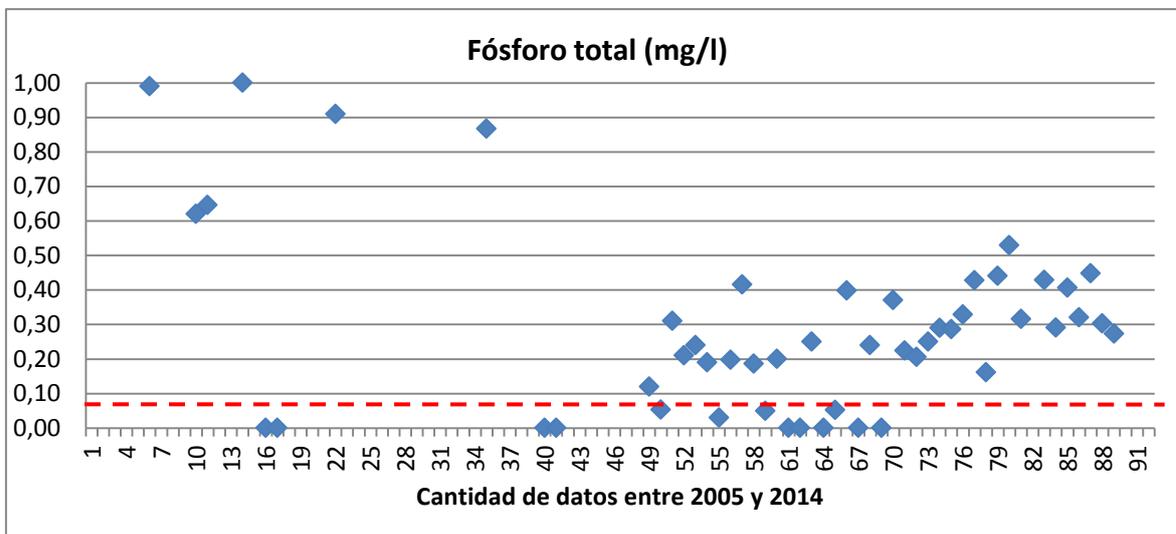


Figura 134- Variación de la concentración de fósforo total todas las estaciones de monitoreo de la subcuenca del Arroyo Colorado. La línea punteada indica el valor propuesto (≤ 0.07 mg/l) para modificar el estándar de calidad vigente en el Decreto 253/79

En el análisis espacio temporal de la concentración de fósforo total, promedio anual, se registran diferencias importantes entre los sitios, con los mayores valores en la estación C9 y valores sensiblemente menores en la estación CO01 (Figura 135).

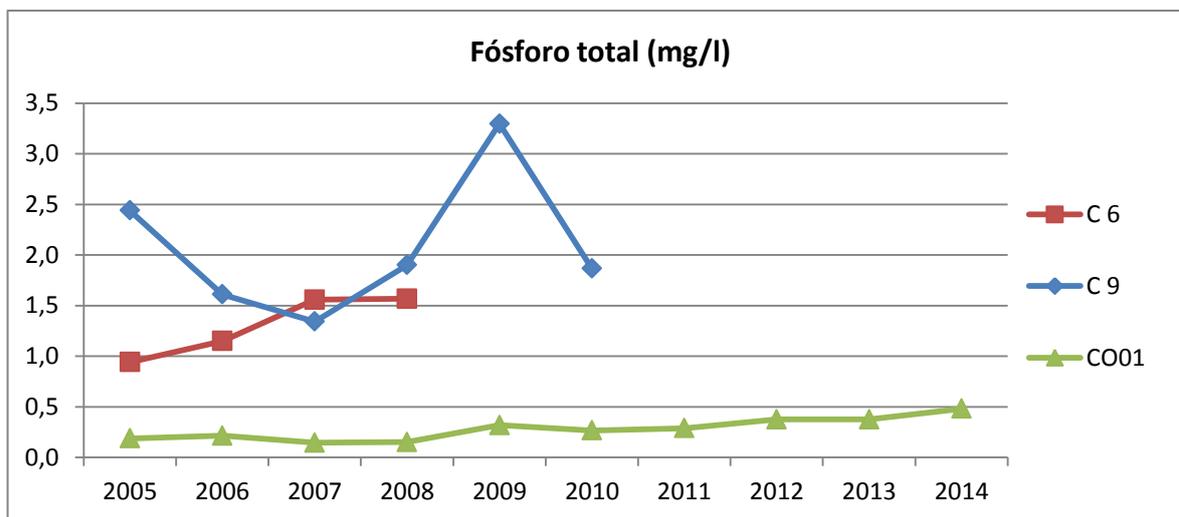


Figura 135- Variación espacial y temporal de fósforo total en las estaciones de monitoreo de la cuenca del arroyo Colorado

Parámetros microbiológicos del agua

La concentración de coliformes termotolerantes en la cuenca del arroyo Colorado registró niveles entre 10 y 3.300.000 ufc/100ml, con una mediana de 2850 ufc/100ml (Figura 136). Los valores más altos se registraron en las estaciones interiores y durante el primer período de monitoreo. La frecuencia de cumplimiento de este parámetro de calidad solo fue del 44% de los registros obtenidos.

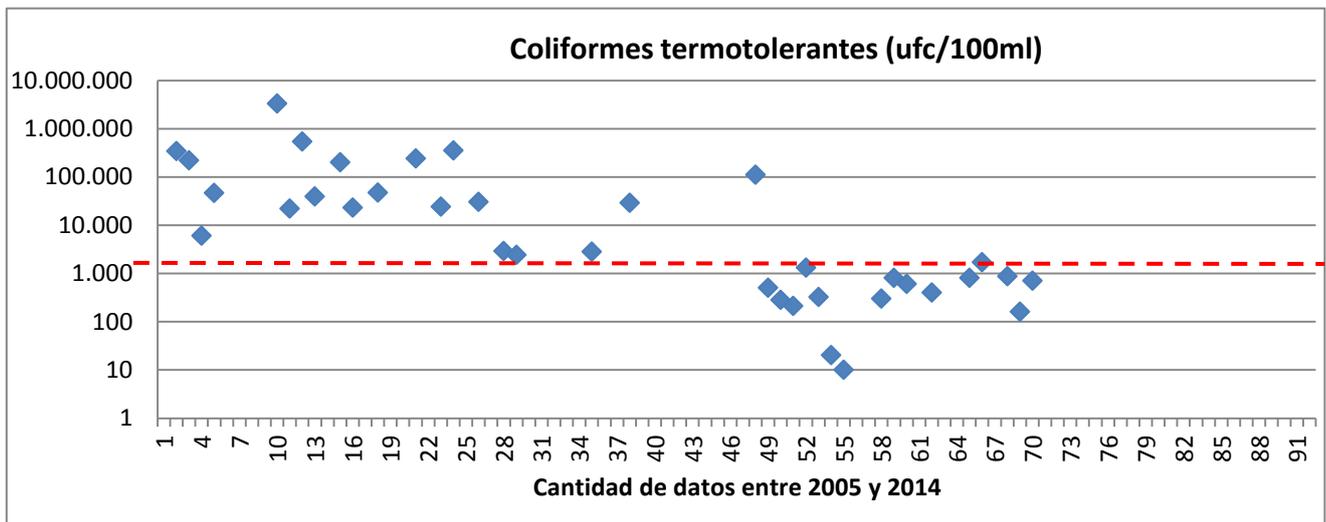


Figura 136- Variación de la concentración de coliformes termotolerantes (ufc/100ml) de las estaciones de monitoreo de la subcuenca del Arroyo Colorado. La línea punteada indica el valor del estándar de calidad vigente en el Decreto 253/79 (≤ 2000 ufc/1000ml).

La variación espacial y temporal de la concentración promedio anual de coliformes en la cuenca del arroyo Colorado, mostró valores máximos en C6 y mínimos en CO01, para todo el período de estudio. La estación C6 registró niveles que indican fuerte contaminación por coliformes, los cuales en menor magnitud pero también incumpliendo con el estándar de calidad, se observaron en C9. Dado que el monitoreo en esos sitios no fue continuado, se desconoce la evolución temporal. No obstante en CO01, se observa un incremento del promedio anual de coliformes a partir de 2007 (Figura 137).

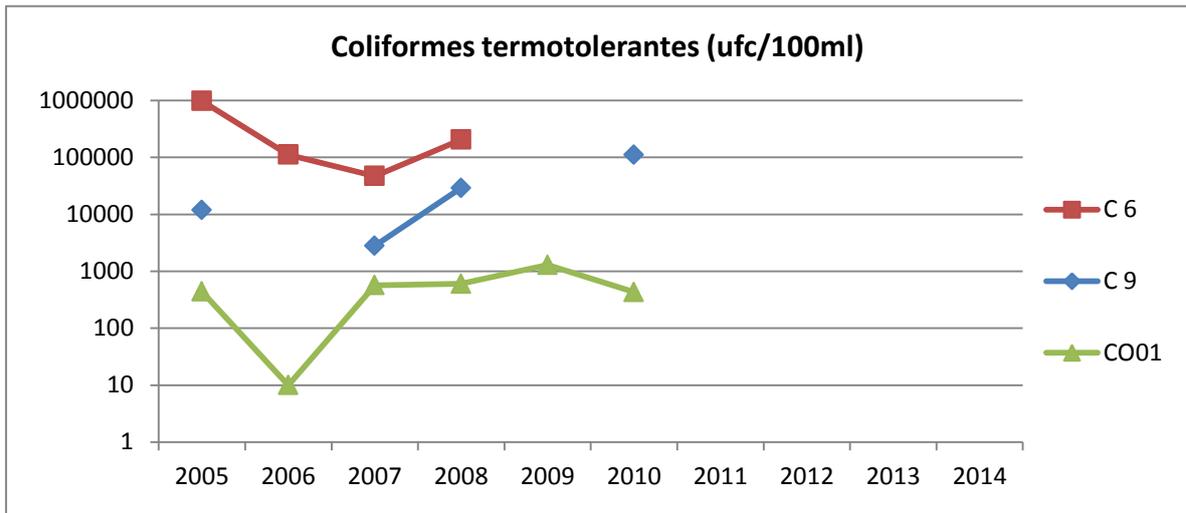


Figura 137. Variación espacial y temporal del amonio en las estaciones de monitoreo de la cuenca del arroyo colorado

Síntesis de la subcuenca del Arroyo Colorado

La subcuenca del Arroyo Colorado tiene señales fuertes de contaminación del agua. En total se realizaron 43 muestreos en la estación próxima a la desembocadura del arroyo y 23 en las interiores, que fueron suspendidas en 2010. Entre los parámetros de calidad de agua respaldados por estándares de calidad del Decreto 253/79 o sus propuestas de modificación, los que registraron mayor frecuencia de cumplimiento (>90%) pH, DBO5, Turbidez y nitrato; mientras que con un cumplimiento menor al 70% se registraron el oxígeno disuelto, nitrito, coliformes y fósforo total. A pesar que esta subcuenca se encuentra en la zona B, declarada no prioritaria en el plan de recuperación de la cuenca del Santa Lucía, los resultados indican que debe realizarse un fuerte esfuerzo para recuperar la calidad de agua en esta cuenca.

COMPUESTOS ORGANICOS

Las características de la cuenca y los usos del suelo asociados hacen que el uso de productos agroquímicos sea extensivo en toda el área. El conocimiento de cuales son los productos más utilizados y la necesidad de desarrollos analíticos para su determinación hicieron que a partir de julio de 2013 se pudiera comenzar a analizar estos compuestos en las estaciones PS02, SL05, SL06, SJ04, SJ05 y CA04 (Figura 138). Se concretaron en este período 7 campañas y 42 análisis en cada parámetro



Figura 138. Ubicación de las estaciones de monitoreo de agroquímicos y AOX en cursos de agua de la cuenca del Santa Lucía, a partir de 2013.

Los compuestos que se analizan son: AMPA, Atrazina, Endosulfan alfa, Endosulfan beta, Endosulfan sulfato, Glifosato y AOX. Nuestro país cuenta con legislación para la concentración máxima permitida de endosulfán, en el Decreto 253/79. Para las demás sustancias, excepto AMPA y AOX, se proponen valores guía a través del GESTA-Agua, que se muestran en la **iError! No se encuentra el origen e la referencia..** De los compuestos analizados, el AMPA (metabolito del glifosato) y AOX no tienen estándar para cuerpos de agua superficial. Para este último caso se toma como referencia el valor 25 µg/l reportado por la República Federal de Alemania para protección de biota acuática y prevención de la contaminación del agua¹³.

¹³ Water Quality Class II, LAWA procedure for the chemical classification of bodies of water.

Atrazina

Este compuesto fue cuantificado en una sola campaña, siendo este valor de 0.3 µg/l en la estación SJ05. Si se comparan estos valores con el estándar a aplicar de 1.8µg/l resulta que todos los valores fueron inferiores, por lo que hay un 100% de cumplimiento del estándar.

Glifosato y AMPA

En el 50% de los resultados (42 en total) el glifosato no fue detectado o cuantificado. El mayor valor encontrado fue de 4.6 µg/l en el 2014 en el punto CA04, siendo el estándar de 65µg/l. Por tanto se puede concluir que hay un 100% de cumplimiento para este compuesto. Para el AMPA el valor máximo fue de 1.4 µg/l también en 2014 en la estación SJ04.

Endosulfán

De los análisis reportados para los años 2013 y 2014, en ningún caso fue detectado ninguna de las tres formas analizadas: α, β y sulfato. Hay un 100% de cumplimiento para estos compuestos.

AOX

De los datos que son analizados en el presente reporte, el 21% superó el estándar tomado como referencia de 25 µg/l. La concentración de AOX registró valores entre <10 y 123 µg/l, con ese valor máximo en la estación PS02 en marzo de 2014. En esa misma fecha (marzo de 2014) se presentaron excedencias en SJ04 y SL06 con valores de 51 y 58µg/l respectivamente. Los puntos CA04, SJ05 y SL05 presentaron excedencias puntuales menores a 34µg/l.

Síntesis de agroquímicos y AOX

Los niveles de detección de los agroquímicos estuvieron siempre por debajo del valor estándar o guía, y generalmente por debajo del límite de detección analítico. Por lo tanto, para estos compuestos se registró un cumplimiento del 100% de los valores guía o del estándar de concentración en agua.

Para la concentración de AOX en agua se registraron valores que superaron el valor de referencia (25 µg/l) en 21% de los registros.

ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA

De acuerdo con los resultados obtenidos por Quintans (2015) de la selección de datos de los programas de monitoreo, disponibles para la elaboración de índices de calidad, son aplicables los índices WQI e IQA para los años 2009 y 2010. Estos índices se calculan como la sumatoria de los parámetros que lo componen multiplicado por un factor de ponderación por cada parámetro, como se

muestra:
$$WQI = \sum_{i=1}^n Q_i W_i$$

Donde WQI= Water quality index

Q_i= factor aplicado al parámetro "i", que se extrae de las "curvas de función" (Brown et al., 1970).

W_i= ponderación aplicado al parámetro "i", según se muestran en la Tabla 1 y Tabla 2

Tabla 1. Valores de ponderación de los parámetros de calidad de agua utilizados en el WQI.

PARAMETRO DE CALIDAD DE AGUA	PESO (w)
Oxígeno disuelto	0,17
Coliformes fecales	0,16
pH	0,11
DBO ₅	0,11
Nitratos	0,10
Fosfatos	0,10
Desvío de la temperatura	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos Totales	0,07

Tabla 2. Valores de ponderación de los parámetros de calidad de agua utilizados en el IQA.

PARAMETRO DE CALIDAD DE AGUA	PESO (w)
Oxígeno disuelto	0,17
Coliformes termotolerantes	0,15
pH	0,12
DBO ₅	0,10
Temperatura	0,10
Nitrógeno total	0,10
Fósforo total	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos totales	0,08

Para la aplicación del índice de calidad de agua elaborado para la cuenca del sistema Santa Lucía a partir del informe del convenio DINAMA-F.Ciencias (2006-2008), identificado como ICA-SL, pueden utilizarse los datos entre 2005 y 2011, ponderados según se muestra en la siguiente fórmula, normalizados como se indica en la Tabla 3.

$$ICA-SL = (3 \cdot OD + 3 \cdot cond + 2 \cdot PT + 1 \cdot NO_3^{2-} + 1 \cdot SST) / 10$$

Tabla 3. Normalización de los parámetros de calidad de agua utilizados en el ICA-SL

	Factor de Normalización (Ci)				
	100	75	50	25	1
Oxígeno disuelto (mg/l)	>9	9-7.7	7.6-6.3	6.2-5	<5
Conductividad (µS/cm)	<360	360-643	644-926	927-1210	>1210
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	<6	6-12	12.1-18.6	18.7-25	>25
Nitrato (µg/l)	<100	100-280	281-460	461-650	>650
Fósforo total (µg/l)	<70	70-380	380-690	690-1000	>1000

En la aplicación del índice de estado trófico IET (de Lamparelli 2004) fue posible utilizar información de todo el período de estudio. El IET presenta la escala de calidad del agua según la concentración

de las variables que muestra la Tabla 4. Entre todas, se seleccionó el fósforo total como la variable más explicativa.

Tabla 4 Valoración del estado trófico de ríos a partir del IET, elaborado según los valores de fósforo total, clorofila a o transparencia del agua.

Nivel trófico	Fósforo total (mg/L)	Clorofila a (g/L)	DS (m)	IET
Ultraoligotrófico	$\leq 0,013$	$\leq 0,74$	$\geq 2,4$	≤ 47
Oligotrófico	$0,013 < PT \leq 0,035$	$0,74 < Clo-a \leq 1,31$	$2,4 > S \geq 1,7$	$47 < IET \leq 52$
Mesotrófico	$0,035 < PT \leq 0,137$	$1,31 < Clo-a \leq 2,96$	$1,7 > S \geq 1,1$	$52 < IET \leq 59$
Eutrófico	$0,137 < PT \leq 0,296$	$2,96 < Clo-a \leq 4,70$	$1,1 > S \geq 0,8$	$59 < IET \leq 63$
Supereutrófico	$0,296 < PT \leq 0,640$	$4,70 < Clo-a \leq 7,46$	$0,8 > S \geq 0,6$	$63 < IET \leq 67$
Hipereutrófico	$> 0,640$	$> 7,46$	$< 0,6$	> 67

Aplicación del WQI

A partir de las categorías de calidad del agua se elaboraron escalas cromáticas para cada índice, a fin de facilitar su visualización (Tabla 5 a

Tabla 10). En la Tabla 5 se muestra la escala para el WQI y en las Tabla 6 a

Tabla 10, los resultados de su aplicación a las estaciones de monitoreo de calidad de agua de la cuenca en el período que se indica en la primera fila.

Tabla 5. Escala cromática asociada a la calidad de agua resultante de la aplicación del WQI.

CARACTERISTICA DEL AGUA	VALOR NUMERICO	REPRESENTACION CROMATICA
Excelente	91-100	
Buena	71-90	
Media	51-70	
Mala	26-50	
Muy mala	0- 25	

De acuerdo con el WQI, la calidad del agua del río Santa Lucía muestra mejores condiciones que en los demás sistemas, ya que presenta buena calidad en las estaciones de la cuenca alta (L1, L2) y en SL01, cuenca medio-alta, aguas abajo de la ciudad de Minas. En el río Santa Lucía Chico predomina una calidad de agua media, con condiciones buena en algunos tramos y períodos concretos. En el río

San José se registraron valores de mala condición en la estación S4, situada en el arroyo Cagancha, no obstante para el sistema predominó la calidad media. Mientras que en los sistemas Arroyo Canelón Grande y Chico predominó la calidad de agua mala con la excepción de la estación CA03 de condición media; y en el Arroyo Colorado, predominó la calidad de agua mala, con la excepción de la estación CO01 de condición media también.

Tabla 6. Resultados de la aplicación de WQI en las estaciones de monitoreo del río Santa Lucía entre 2009 y 2010.

	ABR 2009	AGO 2009	MAY 2010	JUL 2010	SEP 2010	NOV 2010
L1	Buena	buena	buena	Media	Buena	Buena
L2	buena	Media	Buena	Buena	Buena	Buena
SL01	Buena	Media	Buena	Buena	Media	Media
SL03			Media	Media	Media	Media
SL04			Media	Media	Media	Media
SL05			Media	Media	Media	Media
S6			Media	Media		
S7			Media	Media		

Tabla 7. Resultado de la aplicación del WQI en las estaciones de monitoreo del río Santa Lucía Chico entre 2009 y 2010.

	MAR 2009	AGO 2009	MAY 2010	JUL 2010	SEP 2010	NOV 2010
F2	Media	Media	Buena	Media	Media	Media
F3 SLC02	Media	Media	Buena	Media	Media	Media
F4 SLC03	Media	Media	Media	Media	Buena	Media
F5	Media	Media	Media	Media	Media	Media

Tabla 8. Resultado de la aplicación del WQI en las estaciones de monitoreo del río San José entre 2009 y 2010

	NOV 2008	MAR 2009	AGO 2009	MAY 2010	JUL 2010	SEP 2010	NOV 2010
SJ03		Media	Media	Media	Media	Media	Media
S1	Media	Media	Media	Buena	Media	Media	Media
S2		Media	Buena	Media	Media	Media	
S3		Media	Media	Media	Media	Media	Media
S9		Media	Media	Media	Media	Media	Media
S4			Mala	Media	Media	Mala	Mala

Tabla 9. Resultado de la aplicación del WQI en las estaciones de monitoreo del Arroyo Canelón Grande y Chico entre 2009 y 2011

	MAR 2009	ABR 2009	AGO 2009	MAY 2010	JUL 2010	SEP 2010	NOV 2010	ENE 2011	MAR 2011
CA02	Mala								
CA03	Mala	Media	Media	Media	Media	Media	Media		
CA04	Mala	Media	Media	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala

Tabla 10. Resultado de la aplicación del WQI en las estaciones de monitoreo del Arroyo Colorado entre 2009 y 2010

	MAR 2009	AGO 2009	MAY 2010	JUL 2010	SEP 2010	NOV 2010
C6	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala
C9	Mala	Mala	Mala	Media	Mala	Mala
CO01		Media	Media	Media	Media	Media

Aplicación del IQA

En el índice aplicado por CETESB-Brasil (Tabla 11), los rangos que definen las categorías son iguales al WQI, pero los parámetros y las ponderaciones tienen leves variaciones.

Tabla 11. Escala cromática asociada a las categorías de calidad del agua del IQA.

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

Para el IQA, los resultados por estación y por muestreo entre 2008 y 2010 muestran que el río Santa Lucía presenta condiciones de calidad buena con mayor frecuencia que en el índice anterior. Manteniéndose la relación observada para aquel, donde el río Santa Lucía se presenta con mejores condiciones de calidad que los demás sistemas (

Tabla 12). El río Santa Lucía Chico tiene calidad predominantemente media, pero muestra mala condición en forma constante en la estación aguas abajo de la ciudad de Florida, o en la cola del embalse Paso Severino (SLC03). En este sentido el IQA se muestra más sensible a determinadas variables indicadoras de contaminación (Tabla 13) en relación al WQI. El río San José mostró predominancia de calidad media, con períodos de mala calidad en el Arroyo Cagancha (Tabla 14). Este sistema pudo ser evaluado en dos períodos: 2009-2010 y en 2014. Por otra parte, los arroyos Canelón Grande, Canelón Chico y Colorado mostraron predominancia de mala calidad para los

períodos que se indican en la Tabla 15 y Tabla 16. En el sistema Arroyo Canelón Grande, al igual que en el índice WQI, solo en la estación CA03 que se ubica en la zona más profunda del embalse, el IQA mostró valores de calidad media. Algo similar ocurre con la estación CO01 del arroyo Colorado, que se encuentra en la desembocadura de este sistema e influenciado por el efecto diluyente del río Santa Lucía próxima a su desembocadura en el Río de la Plata.

Tabla 12. Resultado de la aplicación del IQA en las estaciones de monitoreo del río Santa Lucía entre 2009 y 2010

	MAY 2008	JUL 2008	NOV 2008	MAR 2009	ABR 2009	AGO 2009	MAY 2010	JUL 2010	SEP 2010	NOV 2010
L1	Buena	Media	Buena	Media	Buena	Media	Buena	Buena	Buena	Buena
L2	Buena	Buena	Buena	Media	Buena	Buena	Buena	Buena		
SL01					Media	Media	Media	Media	Media	Media
SL03				Media	Buena	Media	Media	Media	Media	Media
SL04				Media						
SL05				Media						

Tabla 13. Resultado de la aplicación del IQA en las estaciones de monitoreo del río Santa Lucía Chico en 2009, 2010 y 2014

	ABR 2009	AGO 2009	MAY 2010	JUL 2010	SEP 2010	NOV 2010	ENE 2014	MAR 2014	MAY 2014	JUL 2014	SEP 2014	NOV 2014
F2	Media	Media	Buena	Media	Media	Media						
F3												
SLC02	Media											
F4												
SLC03	Mala											
F5	Media	Media	Media	Media	Media	Media						

Tabla 14. Resultado de la aplicación del IQA en las estaciones de monitoreo del río San José en 2009, 2010 y 2014

	ABR 2009	AGO 2009	MAY 2010	JUL 2010	SEP 2010	NOV 2010	ENE 2014	MAR 2014	MAY 2014	JUL 2014	SEP 2014	NOV 2014
S5												
SJ03	Media											
S1		Media	Media	Media	Media	Media						
S2	Media	Buena	Media	Media	Media							
S3	Media	Media	Media	Media	Media	Media						
S9	Media	Media	Media	Media	Media	Media						
S4	Mala	Media	Media	Mala	Mala							

Tabla 15. Resultado de la aplicación del IQA en las estaciones de monitoreo de los Arroyos Canelón Grande y Canelón Chico entre 2009 y 2010

	MAR 2009	ABR 2009	AGO 2009	MAY 2010	JUL 2010	SEP 2010	NOV 2010
CA02	Mala						
CA03	Media						

CA04	Mala	Media	Media	Mala	Mala	Mala	Mala
------	------	-------	-------	------	------	------	------

Tabla 16. Resultado de la aplicación del IQA en las estaciones de monitoreo del Arroyo Colorado en 2009, 2010 y 2014

	ABR 2009	AGO 2009	MAY 2010	JUL 2010	SEP 2010	NOV 2010	ENE 2014	MAR 2014	MAY 2014	JUL 2014	SEP 2014
C6	Mala										
C9	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala					
CO01	Media										

Aplicación del ICA-SL

El Índice de Calidad de Agua del Santa Lucía, fue generado inicialmente para arroyos de la cuenca, estableciendo rangos de valor propios del sistema y definiendo categorías de calidad en función de dichos rangos. En el trabajo de Quintans (2015) se estableció una comparación entre las clases de calidad determinadas por el ICA-SL y otros índices aplicados, resultando una herramienta efectiva y coherente con la realidad de la calidad del agua definida también por otros parámetros.

Las clases de calidad definidas por este índice son levemente diferentes a las anteriores (WQI e IQA), e incluyen cuatro rangos de calidad a diferencia de los cinco rangos de los índices WQI e IQA. En la

Tabla 17 se presenta la escala cromática de calidad definida por el ICA-SL.

Según el ICA, el río Santa Lucía tiene mayor frecuencia de calidad buena en relación a los demás índices aplicados. Se mantiene la condición de buena en las estaciones de la alta cuenca, pero también en la zona media, próximo a la unión con el río Santa Lucía Chico (SL04) y aguas abajo de la desembocadura de éste (SL05). Los años 2007 y 2008 registraron mayor frecuencia de calidad regular en casi todo el sistema, no obstante en los siguientes 2009 y 2010 el río mostró señales de recuperación (

Tabla 18). La cantidad de datos disponibles para la elaboración de este índice alcanzó desde 2005 a 2011.

Para el río Santa Lucía Chico, el ICA-SL determinó que la calidad predominante fuera regular en un período más amplio de tiempo (Tabla 19). En la estación aguas abajo de Florida, también se registró mala calidad en algunas ocasiones. A su vez el río San José para este índice registró calidad regular en más sitios que para otros índices, y mostró la calidad muy mala del arroyo Cagancha en el único muestreo de 2004. Luego permaneció como mala calidad para este sitio y para la estación S9 (

Tabla 20). En el arroyo Canelón Chico, el ICA-SL indicó mala calidad aguas abajo de la ciudad de Canelones (CA02) entre 2007 y 2008, recuperándose levemente a partir de 2010. La mejor calidad de este sistema, al igual que en los demás índices, se registró en la estación del embalse (

Tabla 21). En el arroyo Colorado (Tabla 22) la calidad del agua presentó características de muy mala y mala, y al igual que en los demás índices, la estación de la desembocadura se presentó entre regular y mala (Tabla 23).

Tabla 17. Escala cromática de calidad de agua según el ICA-SL, de acuerdo con la valoración conceptual y numérica del índice.

Valoración	Rango	Escala cromática
BUENA	>75	
REGULAR	>50 <75	
MALA	>25 <50	
MUY MALA	<25	

Tabla 18. Resultado de la aplicación del ICA-SL en las estaciones de monitoreo del Río Santa Lucía entre 2004 y 2011

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
L1	Buena	Buena	Buena	Buena	Regular	Buena	Buena	
L2	Buena							
SL01	Buena	Buena	Regular	Regular	Regular	Regular		
SL03	Buena	Buena	Buena	Regular	Regular	Buena	Buena	
SL04	Buena	Regular	Regular	Regular	Regular	Buena	Buena	
SL05	Buena	Buena	Regular	Regular	Regular	Buena	Regular	Regular
S6		Regular		Regular	Regular	Regular	Regular	
S7	Regular	Regular		Regular	Regular	Regular	Regular	

Tabla 19. Resultado de la aplicación del ICA-SL en las estaciones de monitoreo del río Santa Lucía Chico entre 2004 y 2014

AÑO	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
F2	Regular	Regular	Regular	Mala	Regular	Regular	Buena				
F3 = SLC02		Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Buena	Regular	Regular	Regular	Regular
F4= SLC03	Regular	Regular	Regular	Regular	Mala	Regular	Regular	Mala	Regular	Mala	Regular

F5	Regular										
----	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	--	--	--	--

Tabla 20. Resultado de la aplicación del ICA-SL en las estaciones de monitoreo del río San José entre 2004 y 2014

AÑO	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
S5 SJ03	Regular	Regular	Regular	Regular	Mala	Regular	Mala	Regular	Mala	47	Regular
S1	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular				
S2	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular				
S3	Regular	Regular	Regular	Regular	Mala	Regular	Regular				
S9	Mala	Mala	Regular	Regular	Regular	Mala	Regular				
S4	Muy mala	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala				

Tabla 21. Resultado de la aplicación del ICA-SL en las estaciones de monitoreo del Arroyo Canelón Grande y Chico entre 2004 y 2011

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
CA02		Mala	Mala	Muy mala	Muy mala	Mala	Mala	
CA03	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	
CA04		Mala	Mala	Mala	Mala	Regular	Mala	Mala

Tabla 22. Resultado de la aplicación del ICA-SL en las estaciones de monitoreo del Arroyo Colorado entre 2004 y 2014

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
C6	Muy mala	Muy mala	Muy mala	Mala	Muy mala	Muy mala	Mala				
C9	Muy mala	Muy mala	Mala	Muy mala	Mala	Muy mala	Muy mala				
CO01	Mala	Regular		Regular	Mala	Regular	Regular	Mala	Mala	Regular	Regular

Tabla 23. Resultados de calidad del agua según la aplicación de los tres índices considerados.

WQI-NSF		2009	2010	IQA-CETESB		2009	2010	ICA-FC		2009	2010
SL	L6-SL01	72	73	SL	L6-SL01	55	56	SL	L6-SL01	55	—
	C7-SL03	67	70		C7-SL03	64	65		C7-SL03	76	81
	C3-SL04	—	60		C3-SL04	60	60		C3-SL04	74	83
	C1-SL05	—	57		C1-SL05	59	57		C1-SL05	83	68
	L1	73	73		L1	69	77		L1	91	91
	L2	72	80		L2	71	77		L2	79	98
	S6	62	62		S6	—	—		S6	64	73
S7	61	60	S7	—	—	S7	65	73			
SLCh	F2	62	69	SLCh	F2	60	66	SLCh	F2	68	78
	F3-SL02	63	68		F3-SL02	59	65		F3-SL02	70	79
	F4-SLC03	61	64		F4-SLC03	41	46		F4-SLC03	61	66
	F5	59	63		F5	57	64		F5	57	70
SJ	S5-SJ03	61	60	SJ	S5-SJ03	59	57	SJ	S5-SJ03	54	50
	S1	65	67		S1	60	63		S1	68	75
	S2	64	67		S2	61	63		S2	60	65
	S3	63	63		S3	61	58		S3	60	65
	S4	46	51		S4	47	48		S4	47	53
	S9	55	60		S9	53	54		S9	39	27
CG y Ch	C2-CA04	49	45	CG y Ch	C2-CA04	48	43	CG y Ch	C2-CA04	40	28
	C4-CA03	55	58		C4-CA03	55	56		C4-CA03	40	28
	C5-CA02	40	43		C5-CA02	37	38		C5-CA02	64	73
Colo	C6	42	42	Colo	C6	38	34	Colo	C6	24	34
	C9	44	46		C9	38	39		C9	16	15
	Co01	63	63		Co01	60	59		Co01	56	70

Los resultados de la aplicación de los tres índices muestran similitudes en la calidad del agua en los mismos tramos. En la

Tabla 23 se observa que las estaciones de las zonas más altas de la cuenca del río Santa Lucía presentan las mejores condiciones mientras que las estaciones de Canelón Grande y Chico y Colorado las peores.

Aplicación del IET

El Índice de Estado Trófico se puede aplicar a los parámetros indicadores de eutrofización que se muestran en la Tabla 24. Para el sistema de la cuenca del Santa Lucía el parámetro utilizado fue fósforo total porque ha sido monitoreado con mayor regularidad y la información es confiable. Por otra parte, la clorofila a, que está muy relacionada a la productividad primaria, en este sistema está controlada por otros factores como la turbidez o el tiempo de residencia del agua y no refleja el estado trófico. El IET es numérico, pero a los fines de compararlo con los demás índices aplicados en este trabajo, se generó una escala cromática que se ilustra en la Tabla 24.

Tabla 24. Valoración del estado trófico de ríos a partir del IET determinado según rangos de concentración de fósforo total, clorofila o profundidad de transparencia.

Nivel trófico	Fósforo total (mg/L)	Clorofila a (µg/L)	DS (m)	IET
---------------	----------------------	--------------------	--------	-----

Ultraoligotrófico	$\leq 0,013$	$\leq 0,74$	$\geq 2,4$	≤ 47
Oligotrófico	$0,013 < PT \leq 0,035$	$0,74 < Clo-a \leq 1,31$	$2,4 > S \geq 1,7$	$47 < IET \leq 52$
Mesotrófico	$0,035 < PT \leq 0,137$	$1,31 < Clo-a \leq 2,96$	$1,7 > S \geq 1,1$	$52 < IET \leq 59$
Eutrófico	$0,137 < PT \leq 0,296$	$2,96 < Clo-a \leq 4,70$	$1,1 > S \geq 0,8$	$59 < IET \leq 63$
Supereutrófico	$0,296 < PT \leq 0,640$	$4,70 < Clo-a \leq 7,46$	$0,8 > S \geq 0,6$	$63 < IET \leq 67$
Hipereutrófico	$> 0,640$	$> 7,46$	$< 0,6$	> 67

La aplicación del IET para las estaciones del Río Santa Lucía entre 2005 y 2014 muestra una tendencia al incremento del estado trófico a lo largo del tiempo y hacia la desembocadura. Esto se visualiza en el sentido vertical y horizontal de la tabla, respectivamente. Las estaciones que aparecen con menor nivel trófico (oligo a mesotrófico) se encuentran en las nacientes del río Santa Lucía. Mientras que hacia el final del tramo medio y aguas debajo de la llegada del Santa Lucía Chico, el estado trófico se incrementa hacia eutrófico y supereutrófico. En las estaciones que muestran continuidad en los datos para todo el período (SL03, SL04 y SL05) la misma tendencia se observa con mayor claridad (Tabla 25).

En el río Santa Lucía Chico, la evolución del estado trófico en el tiempo muestra en general un incremento desde un estado mesotrófico al inicio del programa de monitoreo en las estaciones más aguas arriba; mientras que hacia aguas abajo (antes y después de la ciudad de Florida) el sistema muestra condiciones supereutróficas hasta hipereutróficas en 2011 y 2012 (

Tabla 26).

Tabla 25. IET en base al Fósforo total (promedio anual) en las estaciones del Río Santa Lucía.

AÑO	L1	L2	SL01	SL02	SL03	SL04	SL05	SL06	S6	S7
2005	55	57	59	-	58	63	63	-	63	63
2006	52	56	59	-	56	60	59	-	61	60
2007	51	56	59	-	60	62	62	-	61	59
2008	54	56	62	-	62	62	64	-	60	64
2009	57	66	-	59	62	64	-	58	65	-
2010	55	57	59	-	60	63	66	-	65	64
2011	-	-	67	63	65	67	64	66	-	-
2012	--	-	-	60	63	65	66	67	--	-
2013	-	-	-	59	60	63	64	66	-	-
2014	-	-	-	59	60	63	64	66	-	-
Promedio	54	58	53	60	61	63	64	61	62	62

Tabla 26. IET en base al Fósforo total (promedio anual) en las estaciones del Río Santa Lucía Chico.

AÑO	SLC01	F2	F3-SLC02	F4-SLC03	F5
2004		61		66	64
2005		57	61	65	63
2006		56	57	62	62
2007		59	60	62	60
2008		61	64	68	66
2009		62	62	65	67
2010		61	62	64	65
2011	59		67	71	
2012	66		66	69	
2013	59		64	66	
2014	59		63	64	
Promedio	61	60	63	66	64

El río San José mostró condiciones de estado mesotrófico al inicio del programa de monitoreo en las estaciones aguas arriba de la ciudad de San José (S1 y S2 que no se continuaron a partir de 2011). Así como también mostró condiciones de recuperación pasando de estados eutrófico a mesotrófico en la estación más próxima a las nacientes que se monitorea desde 2011 (SJ01). Aguas debajo de San José, el sistema mantiene altos niveles de estado trófico llegando a mantener condiciones de hipereutrofia en el arroyo Cagancha (Tabla 27).

El estado trófico de los arroyos Canelón Grande, Canelón Chico y Colorado muestra predominancia del estado hipereutrófico según el contenido de fósforo total (

Tabla 28 y

Tabla 29). Esa situación decrece en la estación de la desembocadura del arroyo Colorado, posiblemente mitigada por el efecto diluyente del río Santa Lucía en ese punto.

Tabla 27. IET en base al Fósforo total (promedio anual) en las estaciones del Río San José.

AÑO	SJ01	SJ02	S1	S2	SJ03	S4	SJ05	SJ04	S9
2004				62	65	78	77	67	72
2005			57	59	65	71	76	67	63
2006			59	60	64	68	68	67	64
2007			59	57	61	59	70	67	63
2008			65	61	68	64		66	63
2009			63	63	67	73			67
2010			62	62	65	73			66
2011	61	65			68				
2012	61	64			69				
2013	57	62			54				
2014	62	63			66				
Promedio	60	64	61	61	65	69	73	67	65

Tabla 28. IET en base al Fósforo total (promedio anual) en las estaciones de los arroyos Canelón Grande y Chico.

Año	CG01	CA03	CA04	CA02
2005	68	68	71	73
2006	63	63	70	71
2007	66	66	71	75
2008	68	68	74	78
2009	70	70	70	74
2010	69	69	72	74
2011	69	69	70	76
2012	71	70	71	75
2013	69	70	71	73
2014	69	69	70	71
Promedio	68	68	71	74

Tabla 29. IET en base al Fósforo total (promedio anual) en las estaciones del Arroyo Colorado.

AÑO	C6	C9	CO01
-----	----	----	------

2004	76	78	61
2005	74	75	63
2006	73	74	61
2007	71	73	61
2008	72	75	60
2009	74	78	66
2010	74	75	65
2011			65
2012			66
2013			67
2014			67
Promedio	73	75	64

En el Apéndice, se presentan los mapas de la cuenca del Santa Lucía con la visualización de los tramos donde se ha podido establecer la calidad y estado trófico del agua en función de los índices utilizados en este trabajo.

SÍNTESIS

Entre los resultados más relevantes del programa de monitoreo de calidad de agua de la Cuenca del Río Santa Lucía obtenidos en el período 2005- 2014, se registró cumplimiento de los estándares de calidad de agua con alta frecuencia (>90%) en casi todas las subcuencas. Las excepciones fueron las subcuencas del arroyo Canelón Grande y Chico y la del Arroyo Colorado. Ambas con fuerte presión industrial y urbana.

El parámetro que registró la menor frecuencia en el cumplimiento del estándar de calidad fue el fósforo total, que en la mejor situación alcanzó el 18% de cumplimiento y fue en la cuenca principal del río Santa Lucía. Esta variable está muy asociada al aporte de nutrientes de origen difuso desde la cuenca hidrográfica, incrementada por importantes aportes puntuales en las subcuencas del sistema Arroyo Canelones y del Arroyo Colorado.

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

En términos generales, todos los cursos de agua mostraron mejores niveles de cumplimiento hacia la parte alta de la cuenca, con un gradual deterioro en el tramo medio y hacia la desembocadura. Fenómeno que es natural en todos los sistemas fluviales debido a la acumulación de cargas a medida que el sistema fluye hacia la desembocadura.

En la zona A incluida en el Plan de Acción de Protección de la cuenca, la subcuenca del río Santa Lucía registró los mayores niveles de cumplimiento, lo que refleja las mejores condiciones en la calidad del agua. La subcuenca del sistema arroyo Canelones, ubicada en esta misma zona A, fue la que presentó los menores niveles de cumplimiento de los estándares de esta zona. En la zona B del Plan de Acción de Protección de la Cuenca, la subcuenca del arroyo Colorado también presentó un alto grado de incumplimiento de los estándares.

Respecto a compuestos orgánicos, se analizaron cinco compuestos o conjunto de compuestos de los cuales el Endosulfán está comprendido en el Decreto 253/79 y la Atrazina y Glifosato en los nuevos valores guía propuesto por GESTA-Agua. Se constata un 100% de cumplimiento para atrazina, endosulfán y glifosato, mientras que el 24% de los valores de AOX superaron el nivel guía de 25 µg/l. Respecto a la aplicación de diversos índices de calidad de agua en esta cuenca, se seleccionaron tres índices de calidad y uno de estado trófico. Los tres primeros (WQI, IQA, ICA-SL) coincidieron en que la calidad predominante es de media/regular, con características de buena calidad en algunas partes

altas de la cuenca; y con mala/muy mala en la cuenca del arroyo Colorado y Canelón Chico. El estado trófico según el índice IET también muestra incremento desde estado mesotrófico en las nacientes a supereutrófico en la desembocadura de los ríos, y desde el inicio hacia el presente del programa de monitoreo. Los arroyos Canelón Grande, Chico y Colorado, son predominantemente hipereutróficos según este índice.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA-

- Achkar Marcel, Ana Dominguez y Fernando Pesce.2012. Cuenca del Río Santa Lucía – Uruguay. Aportes para la discusión ciudadana. Disponible en: <http://www.redes.org.uy>
- Achkar, Marcel, Lic. Ismael Díaz, Lic. Ana Laura Mello, Ing. Agr. Pablo Modernel, Lic. Luis Ordeig Di Leone. 2013. FLORIDA SUSTENTABLE. Sistematización del conocimiento existente sobre la Cuenca medio inferior del río santa Lucía Chico e Identificación de líneas de investigación necesarias para una gestión sustentable del territorio. Informe final del Proyecto.
- Arocena1 Rafael *, Guillermo Chalar1, Carlos Perdomo2, Daniel Fabián1, Juan Pablo Pacheco1, Mauricio González1, Vanesa Olivero1, Macarena Silva1, Patricia García1, Verónica Etchebarne1 . Impacto de la producción lechera en la calidad de los cuerpos de agua. Disponible en: <http://revistas.unlp.edu.ar/index.php/domus/issue/current/showITmopca>
- Arocena, R.; Chalar, G.; Fabián, D.; De León, L.; Brugnoli, E.; Silva, M.; Rodó E.; Machado L., Pacheco JP., Castiglioni R., Gabito L. 2008. Evaluación ecológica de cursos de agua y Biomonitorio. Informe final. Convenio DINAMA-Fac. Ciencias. Uruguay.
- Bonilla Sylvia y Mariana Meerhoff. 2013. Informe CASAS. Calidad de Agua de Sistemas Acuáticos Superficiales. Estado actual de la calidad del agua de sistemas acuáticos superficiales. en Uruguay y recomendaciones, con énfasis en la cuenca del Río Santa Lucía. Facultad de Ciencias y Centro Universitario Regional Este. Informe de consultoría.
- Inda H. & Indarte E. 2009. Informe de situación sobre fuentes de contaminación difusa en la cuenca del Río Santa Lucía. Convenio JICA-DINAMA. Diciembre 2009.
- JICA-DINAMA. 2008. Proyecto sobre el control y gestión de la calidad del agua en la Cuenca del Río Santa Lucía. Informe de avance N°1. Octubre 2008.
- JICA-DINAMA. 2009. Proyecto sobre el control y gestión de la calidad del agua en la Cuenca del Río Santa Lucía. Informe de avance N°2. Marzo 2009.
- JICA-DINAMA. 2009. Proyecto sobre el control y gestión de la calidad del agua en la Cuenca del Río Santa Lucía. Informe de avance N°3. Octubre 2009.
- JICA-DINAMA. 2010. Proyecto sobre el control y gestión de la calidad del agua en la Cuenca del Río Santa Lucía. Informe de avance N°4. Marzo 2010.
- JICA-DINAMA. 2010. Proyecto sobre el control y gestión de la calidad del agua en la Cuenca del Río Santa Lucía. Informe de avance N°5. Octubre 2010.
- Petraglia Cecilia Ing. Agr.1, Ing. Agr. Martin Dell'Acqua2, Ing. Agr. Rossina Aunchayna2 , Ing. Agr. Sebastián Varela2,3. 2013. Cuenca del río Santa Lucía: relevamiento de la localización y área de cultivos extensivos de verano 2012-2013 en base a imágenes satelitales. Anuario OPYPA 2013.

- Quintans, F. 2015. Propuesta de aplicación de índices de calidad de agua para la Cuenca del Santa Lucía. Informe de consultoría. Proyecto PNUD URU/14/001. DINAMA-DCA.

_____000_____

APÉNDICE

Síntesis del programa de monitoreo de calidad de agua de la cuenca del Santa Lucía, en relación al período de muestreo, cantidad de estaciones y de datos, y resultados obtenidos para las variables indicadoras de calidad de agua que tienen niveles estándares, o valores guía propuesto, en la legislación (Decreto 253/79). Donde hay dos valores de % se refiere al río y el embalse correspondiente, respectivamente.

	Río Santa Lucía	% Cumplimiento Normativa 253/79	Río Santa Lucía Chico	% Cumplimiento Normativa 253/79	Río San José	% Cumplimiento Normativa 253/79	Aº Canelones	% Cumplimiento Normativa 253/79	Aº Colorado	% Cumplimiento Normativa 253/79
período de monitoreo	2005-2010/ 2011-2015									
cantidad de estaciones	17		11		10		8		3	
cantidad de muestras	285		155		247		207		92	
O.D. rango y mediana (mg/l)	3-12,8 (7,9)	96%	3,6-11,4 (7,4)	89%	3-11 (6,6)	81%	0,5-11 (5)	48%	1,6-9,6 (5,6)	63%
DBO5-rango y mediana mg/l	0,4-10 (2,4)	99%	0,5-12 (2,2)	98%	0,4-32 (2,2)	97%	3,8-20 (5)	73%	0,5-36800 (5)	60%
pH rango y mediana	5,4-8,9 (7,6)	93%	6-9 (7,6)	95%	5,6-9 (7,6)	94%	6-8,5 (7,5)	96%	6,4-8 (7,5)	95%
Turbidez rango y mediana (UNT)	1,3-110 (11)	97%	2,1-50 (17)	100%	1,4-95 (14)	96%	2,3-150 (33)	67%	2,6-80 (9,6)	98%
NO3-rango y mediana (mg/l)	0,01-1,3 (0,24)	100%	0,02-2,4 (0,28)	100%	0,01-7,9 (0,42)	99%	0,01-8,2 (0,6)	97%	0,01-8,3 (0,6)	97%
NO2-rango y mediana	0,001-1,4 (0,006)	92%	0,001-0,72 (0,04)	92%	0,001-1,4 (0,01)	97%	0,0012-0,7 (0,021)	85%	0,0005-9,8 (0,11)	63%

(mg/l)										
PT-rango y mediana (mg/l)	0,009-1,1 (0,140)	18%	0,018-1,7 (0,24)	3 y 0 %	0,004-4,9 (0,25)	3%	0,023-9,3 (0,81)	1 y 0 %	0,03-4,7 (0,99)	0%
Coliformes termot. Rango y mediana (ufc/100ml)	5-22000 (182)	89%	10-72000 (390)	72%	10-11000000 (600)	91%	10-470000 (210)	80%	10-3300000 (2850)	39%

MAPAS DE CALIDAD DE AGUA EN BASE A LA APLICACIÓN DE ÍNDICES DE CALIDAD Y DE ESTADO TRÓFICO



