



MVOTMA

Ministerio de Vivienda
Ordenamiento Territorial
y Medio Ambiente

Monitoreo de Calidad del Agua Cuenca Río Santa Lucía

Informe 2015

Mayo 2017



Director Nacional de Medio Ambiente

Ing. Qco. Alejandro Nario

Área de Información Planificación y Calidad Ambiental

Gerente: Marisol Mallo

División Evaluación de Calidad Ambiental – DECA

Ing. Luis Reolón

Departamento Seguimiento de Componentes del Ambiente

Ing. Qca. Magdalena Hill

Redacción del Informe:

Magdalena Hill

Gabriel Yorda

Guillermo Cervetto

Responsable del Programa de Monitoreo:

Alejandro Cendón

Técnicos participantes:

Gabriel Yorda, Gerardo Balero, Javier Martínez, Guillermo Cervetto,

Luis Borda

Análisis de Laboratorio: Dpto. Laboratorio Ambiental DINAMA

Jefa Laboratorio: Natalia Barboza

Participan Intendencias de:

Canelones, Lavalleja, Florida y San José

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVO DEL INFORME	2
3. DISEÑO DEL PROGRAMA DE MONITOREO	2
4. ÁREA DE ESTUDIO	3
5. METODOLOGÍA	4
5.1. Estaciones	4
5.2. Frecuencia	5
5.3. Variables.....	5
5.4. Logística de muestreo	8
6. RESULTADOS	8
6.1. RÍO SANTA LUCÍA	9
6.1.1. Parámetros físico-químicos del agua.	10
6.1.2. Nutrientes	13
6.1.3. Parámetros microbiológicos del agua	15
6.1.4. Síntesis del río Santa Lucía	15
6.2. SANTA LUCÍA CHICO.....	17
6.2.1. Parámetros físico-químicos del agua	18
6.2.2. Nutrientes	21
6.2.3. Parámetros microbiológicos del agua	23
6.3. EMBALSE PASO SEVERINO	24
6.3.1. Parámetros físico-químicos del agua	24
6.3.2. Nutrientes	28
6.3.3. Parámetros microbiológicos del agua	29
6.3.4. Síntesis de la cuenca del río Santa Lucía Chico	30
6.4. RIO SAN JOSÉ.....	31
6.4.1. Parámetros físico-químicos del agua	32
6.4.2. Nutrientes	36
6.4.3. Parámetros microbiológicos del agua	37
6.4.4. Síntesis Río San José.....	38
6.5. ARROYOS CANELÓN GRANDE Y CANELÓN CHICO	39
6.5.1. Parámetros físico-químicos.....	40
6.5.2. Nutrientes	45
6.5.3. Parámetros microbiológicos	48
6.6. EMBALSE CANELÓN GRANDE.....	49
6.6.1. Parámetros físico-químicos.....	50

6.6.2. Nutrientes	53
6.6.3. Parámetros microbiológicos	55
6.6.4. Síntesis subcuenca Arroyo Canelón Grande y Canelón Chico	55
6.7. ARROYO COLORADO	57
6.7.1. Parámetros físico-químicos del agua	58
6.7.2. Nutrientes	61
6.7.3. Parámetros microbiológicos del agua	62
6.7.4. Síntesis de la subcuenca del Arroyo Colorado	63
6.8. ARROYO DE LA VIRGEN	64
6.8.1. Parámetros físico-químicos del agua	65
6.8.2. Nutrientes	68
6.8.3. Síntesis de la subcuenca del Arroyo de la Virgen	69
6.9. COMPUESTOS ORGANICOS	70
6.9.1. Síntesis de agroquímicos y AOX	71
7. ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA	72
7.1. Aplicación del IQA	73
7.2. Aplicación del ICA-SL	75
7.3. Aplicación del IET	77
8. SÍNTESIS.....	80
9. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA-	82
ANEXOS	83

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Zonas A (amarillo) y B (rosa) definidas para la gestión de la cuenca del sistema Río Santa Lucía.....	2
Figura 2: Cuenca del Río Santa Lucía diferenciando en las subcuencas que la componen y la ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad de agua.....	4
Figura 3: Ubicación de estaciones en la subcuenca del Río Santa Lucía.....	9
Figura 4: Esquema con la ubicación de las estaciones de monitoreo de Nivel 1 en la subcuenca del río Santa Lucía indicando los principales afluentes.....	9
Figura 5: Variación temporal y espacial de la temperatura en el río Santa Lucía durante 2015.....	10
Figura 6: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la conductividad en el río Santa Lucía durante 2015.....	10
Figura 7: Variación temporal y espacial del pH en el río Santa Lucía durante 2015.....	11
Figura 8: Variación temporal y espacial del oxígeno disuelto en el río Santa Lucía durante 2015.....	11
Figura 9: Variación temporal y espacial de la DBO ₅ en el río Santa Lucía durante 2015.....	12
Figura 10: Variación temporal y espacial de la turbidez en el río Santa Lucía durante 2015.....	13
Figura 11: Variación temporal y espacial del nitrógeno total en el río Santa Lucía durante 2015.....	14
Figura 12: Variación temporal y espacial del fósforo total en el río Santa Lucía durante 2015.....	15
Figura 13: Variación temporal y espacial de los coliformes termotolerantes en el río Santa Lucía durante 2015....	15
Figura 14: Cuenca del río Santa Lucía Chico con ubicación de las estaciones de monitoreo en el curso principal y en el Embalse Paso Severino.....	17
Figura 15: 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 y el nivel 3 del embalse Paso Severino.....	17
Figura 16: Variación temporal y espacial de la temperatura en el río Santa Lucía Chico durante 2015.....	18
Figura 17: Variación temporal y espacial de la conductividad en el río Santa Lucía Chico durante 2015.....	19
Figura 18: Variación temporal y espacial del pH en el río Santa Lucía Chico durante 2015.....	19
Figura 19: Variación temporal y espacial del oxígeno disuelto en el río Santa Lucía Chico durante 2015.....	20
Figura 20: Variación temporal y espacial de la DBO ₅ en el río Santa Lucía Chico durante 2015.....	20
Figura 21: Variación temporal y espacial de la turbidez en el río Santa Lucía Chico durante 2015.....	21
Figura 22: Variación temporal y espacial del nitrógeno total en el río Santa Lucía Chico durante 2015.....	22
Figura 23: Variación temporal y espacial del fósforo total en el río Santa Lucía Chico durante 2015.....	23
Figura 24: Variación temporal y espacial de los coliformes termotolerantes en el río Santa Lucía Chico durante 2015.....	23
Figura 25: Variación temporal y espacial de la temperatura en el embalse de Paso Severino durante 2015.....	24
Figura 26: Variación temporal y espacial de la conductividad en el embalse de Paso Severino durante 2015.....	25
Figura 27: Variación temporal y espacial del pH en el embalse de Paso Severino durante 2015.....	25
Figura 28: Variación temporal y espacial del oxígeno disuelto en el embalse de Paso Severino durante 2015.....	26
Figura 29: Variación temporal y espacial de la turbidez en el embalse de Paso Severino durante 2015.....	27

Figura 30: Variación temporal y espacial de la clorofila <i>a</i> el embalse de Paso Severino durante 2015.	27
Figura 31: Variación temporal y espacial del nitrógeno total en el embalse de Paso Severino durante 2015.....	28
Figura 32: Variación temporal y espacial del fósforo total en el embalse de Paso Severino durante 2015.	29
Figura 33: Variación temporal y espacial de los coliformes termotolerantes en el embalse de Paso Severino durante 2015.....	29
Figura 34: Subcuenca del río San José. Se indica la ubicación de las estaciones del monitoreo de Nivel 1 y de Nivel 2.....	31
Figura 35: Esquema con la ubicación de las estaciones de monitoreo en la subcuenca del río San José indicando las correspondientes al nivel 1 y el nivel 2. Se distinguen las estaciones del Programa JICA-DINAMA y del Rediseño DINAMA.....	32
Figura 36: Variación temporal y espacial de la temperatura en el río San José durante 2015.....	32
Figura 37: Variación temporal y espacial de la conductividad en el río San José durante 2015.	33
Figura 38: Variación temporal y espacial del pH en el río San José durante 2015.	33
Figura 39: Variación temporal y espacial del oxígeno disuelto en el río San José durante 2015.	34
Figura 40: Variación temporal y espacial de la DBO ₅ en el río San José durante 2015.....	35
Figura 41: Variación temporal y espacial de la turbidez en el río San José durante 2015.....	35
Figura 42: Variación temporal y espacial del nitrógeno total en el río San José durante 2015.....	36
Figura 43: Variación temporal y espacial del fósforo total en el río San José durante 2015.....	37
Figura 44: Variación temporal y espacial de los coliformes termotolerantes en el río San José durante 2015.....	38
Figura 45: Subcuenca del sistema Arroyos Canelón Grande y Canelón Chico. Se indica la ubicación de las estaciones del monitoreo de Nivel 1 en el cauce central y de Nivel 3 en el cuerpo del embalse.....	39
Figura 46: Esquema con la ubicación de las estaciones de monitoreo en la subcuenca de los Arroyos Canelón Grande y Chico indicando las correspondientes al nivel 1 y el nivel 3.....	39
Figura 47: Variación temporal y espacial de la temperatura en el Ao. Canelón Grande durante 2015.	40
Figura 48: Variación temporal y espacial de la temperatura en el Ao. Canelón Chico durante 2015..	40
Figura 49: Variación temporal y espacial de la conductividad en el Ao. Canelón Grande durante 2015.	41
Figura 50: Variación temporal y espacial de la conductividad en el Ao. Canelón Chico durante 2015.	41
Figura 51: Variación temporal y espacial del pH en el Ao. Canelón Grande durante 2015.	42
Figura 52: Variación temporal y espacial del pH en el Ao. Canelón Chico durante 2015.	42
Figura 53: Variación temporal y espacial del oxígeno disuelto en el Ao. Canelón Grande durante 2015..	43
Figura 54: Variación temporal y espacial del oxígeno disuelto en el Ao. Canelón Chico durante 2015.	43
Figura 55: Variación temporal y espacial del oxígeno disuelto en el Ao. Canelón Grande durante 2015.	44
Figura 56: Variación temporal y espacial del oxígeno disuelto en el Ao. Canelón Chico durante 2015.	45
Figura 57: Variación temporal y espacial del nitrógeno total en el Ao. Canelón Grande durante 2015.	46
Figura 58: Variación temporal y espacial del nitrógeno total en el Ao. Canelón Chico durante 2015.	46
Figura 59: Variación temporal y espacial del fósforo total en el Ao. Canelón Grande durante 2015.	47
Figura 60: Variación temporal y espacial del fósforo total en el Ao. Canelón Chico durante 2015.	47
Figura 61: Variación temporal y espacial de la clorofila <i>a</i> en el Ao. Canelón Grande durante 2015.....	48

Figura 62: Variación temporal y espacial del fósforo total en el Ao. Canelón Grande durante 2015.	49
Figura 63: Variación temporal y espacial del fósforo total en el Ao. Canelón Chico durante 2015.	49
Figura 64: Variación temporal y espacial de la temperatura en el embalse del Canelón durante 2015.	50
Figura 65: Variación temporal y espacial de la conductividad en el embalse del Canelón durante 2015.	50
Figura 66: Variación temporal y espacial (del pH en el embalse del Canelón durante 2015.	51
Figura 67: Variación temporal y espacial del oxígeno disuelto en el embalse del Canelón durante 2015.	51
Figura 68: Variación temporal y espacial de la turbidez en el embalse del Canelón durante 2015.	52
Figura 69: Variación temporal y espacial de la clorofila <i>a</i> en el embalse del Canelón durante 2015.	53
Figura 70: Variación temporal y espacial del nitrógeno total en el embalse del Canelón durante 2015.	54
Figura 71: Variación temporal y espacial del fósforo total en el embalse del Canelón durante 2015.	54
Figura 72: Variación temporal y espacial de los coliformes termotolerantes en el embalse del Canelón durante 2015.	55
Figura 73: Ubicación de la estación de monitoreo en la subcuenca del A° Colorado.	57
Figura 74: Diagrama del Arroyo Colorado y las estaciones de monitoreo de calidad de agua.	57
Figura 75: Variación temporal de la temperatura en la subcuenca del Arroyo Colorado durante 2015.	58
Figura 76: Variación temporal de la conductividad en la subcuenca del Arroyo Colorado durante 2015.	58
Figura 77: Variación temporal del pH en la subcuenca del Arroyo Colorado durante 2015.	59
Figura 78: Variación temporal del oxígeno disuelto en la subcuenca del Arroyo Colorado durante 2015.	59
Figura 79: Variación temporal de la DBO ₅ en la subcuenca del Arroyo Colorado durante 2015.	60
Figura 80: Variación temporal de la turbidez en la subcuenca del Arroyo Colorado durante 2015.	60
Figura 81: Variación temporal del nitrógeno total en la subcuenca del Arroyo Colorado durante 2015.	61
Figura 82: Variación temporal del fósforo total en la subcuenca del Arroyo Colorado durante 2015.	62
Figura 83: Variación temporal de los coliformes termotolerantes en la subcuenca del Arroyo Colorado durante 2015.	62
Figura 84: Ubicación de la estación de monitoreo en la subcuenca del A° de la Virgen	64
Figura 85: Variación temporal de la temperatura en la subcuenca del Arroyo de la Virgen durante 2015.	65
Figura 86: Variación temporal de la conductividad en la subcuenca del Arroyo de la Virgen durante 2015.	64
Figura 87: Variación temporal del pH en la subcuenca del Arroyo de la Virgen durante 2015.	66
Figura 88: Variación temporal del oxígeno disuelto en la subcuenca del Arroyo de la Virgen durante 2015.	66
Figura 89: Variación temporal de la DBO ₅ en la subcuenca del Arroyo de la Virgen durante 2015.	67
Figura 90: Variación temporal de la turbidez en la subcuenca del Arroyo de la Virgen durante 2015.	67
Figura 91: Variación temporal de la clorofila <i>a</i> en la subcuenca del Arroyo de la Virgen durante 2015.	68
Figura 92: Variación temporal del nitrógeno total en la subcuenca del Arroyo de la Virgen durante 2015.	68
Figura 93: Variación temporal del fósforo total en la subcuenca del Arroyo de la Virgen durante 2015.	69
Figura 94: Ubicación de las estaciones de monitoreo de agroquímicos y AOX en cursos de agua de la cuenca del Santa Lucía.	70

INDICE DE TABLAS

Tabla I: Niveles de Monitoreo de acuerdo con el objetivo del programa de vigilancia (JICA-DINAMA 2010, N°4).....	3
Tabla II: Nomenclatura y distribución de las estaciones de muestreo de acuerdo a la subcuenca donde se ubican y al Nivel de monitoreo	5
Tabla III: Ubicación geográfica de las estaciones monitoreadas en la cuenca del río Santa Lucía.	6
Tabla IV: Variables de calidad de agua incluidas en el Programa de Monitoreo de la Cuenca del Río Santa Lucía.	6
Tabla V: Valores estándar de los parámetros de calidad de agua para la Clase 3 de acuerdo con el Decreto 253/79 y modificativos	7
Tabla VI: Valores guía o estándar para compuestos orgánicos y referencias	7
Tabla VII: Valores de ponderación de los parámetros de calidad de agua utilizados en el IQA.....	72
Tabla VIII: Normalización de los parámetros de calidad de agua utilizados en el ICA-SL	73
Tabla IX: Valoración del estado trófico de ríos a partir del IET, elaborado según los valores de fósforo total, clorofila <i>a</i> o transparencia del agua.	73
Tabla X: Escala cromática asociada a las categorías de calidad del agua del IQA	73
Tabla XI: Promedio anual del cálculo del IQA en cada estación muestreada durante 2015.	75
Tabla XII: Escala cromática de calidad de agua según el ICA-SL, de acuerdo con la valoración conceptual y numérica del índice.	76
Tabla XIII: Promedio anual del cálculo del ICA-SL en cada estación muestreada durante 2015.	77
Tabla XIV: Valoración del estado trófico de ríos a partir del IET determinado según rangos de concentración de fósforo total, clorofila o profundidad de transparencia.	78
Tabla XV: Promedio anual del cálculo del IET en cada estación muestreada durante 2015.	79

ANEXOS

ANEXO 1: Resultado sinóptico de los porcentajes de cumplimiento e incumplimiento de cada variable con respecto a su valor estándar en las diferentes subcuencas muestreadas durante 2015.	83
Anexo 2: Mapas de calidad de agua y tablas de resultados en base a la aplicación de índices de calidad y de estado trófico	84

1. 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), 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 (2008-2011), 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.

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 (Figura 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:

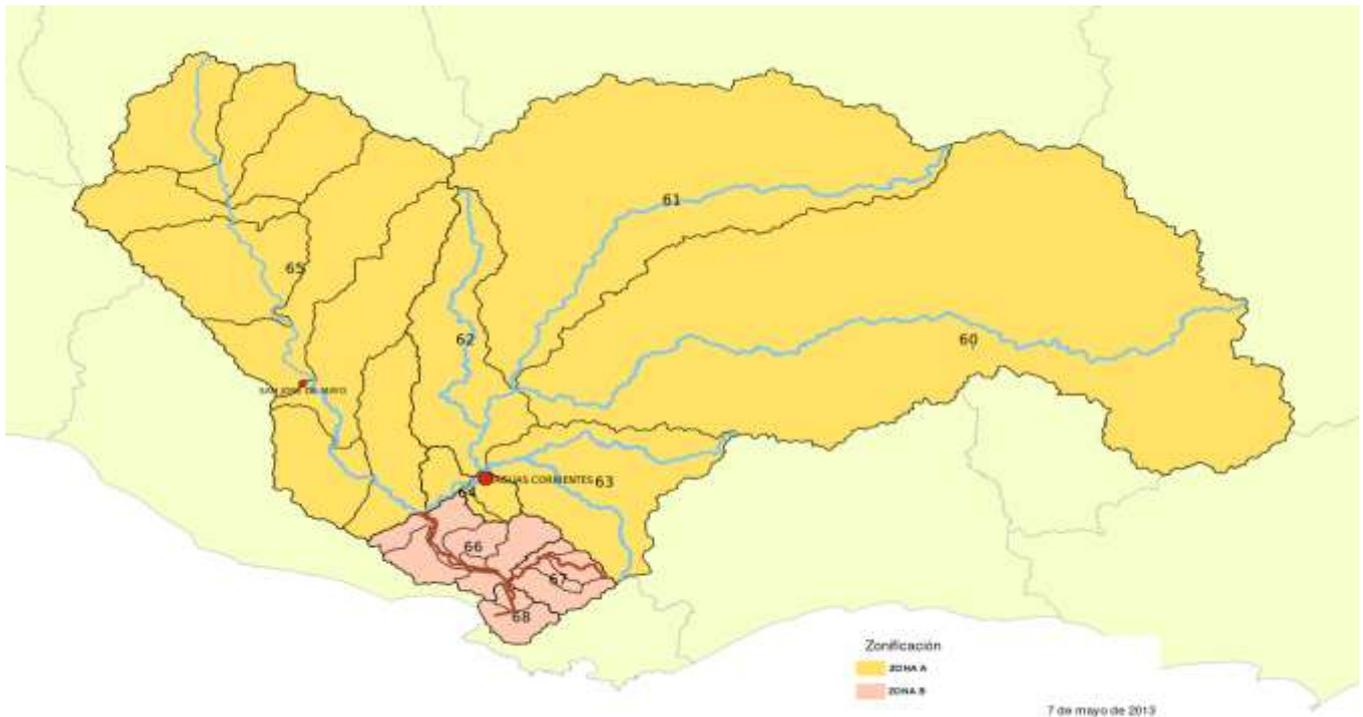


Figura 1. Zonas A (amarillo) y B (rosa) definidas para la gestión de la cuenca del sistema Río Santa Lucía.

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.

2. 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 del programa de monitoreo de agua que lleva adelante la División Calidad Ambiental de DINAMA para el año 2015 y disponiéndolos para su divulgación.

3. 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 I se detallan los niveles de monitoreo que se vienen ejecutando y los objetivos principales de cada uno.

Tabla I. 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.

4. 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.

De acuerdo con la organización del Programa de Monitoreo en niveles de muestreo, las estaciones fueron situadas en puntos estratégicos de las subcuencas. En la Fig. 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.

MAPA DE LA CUENCA DEL RÍO SANTA LUCÍA

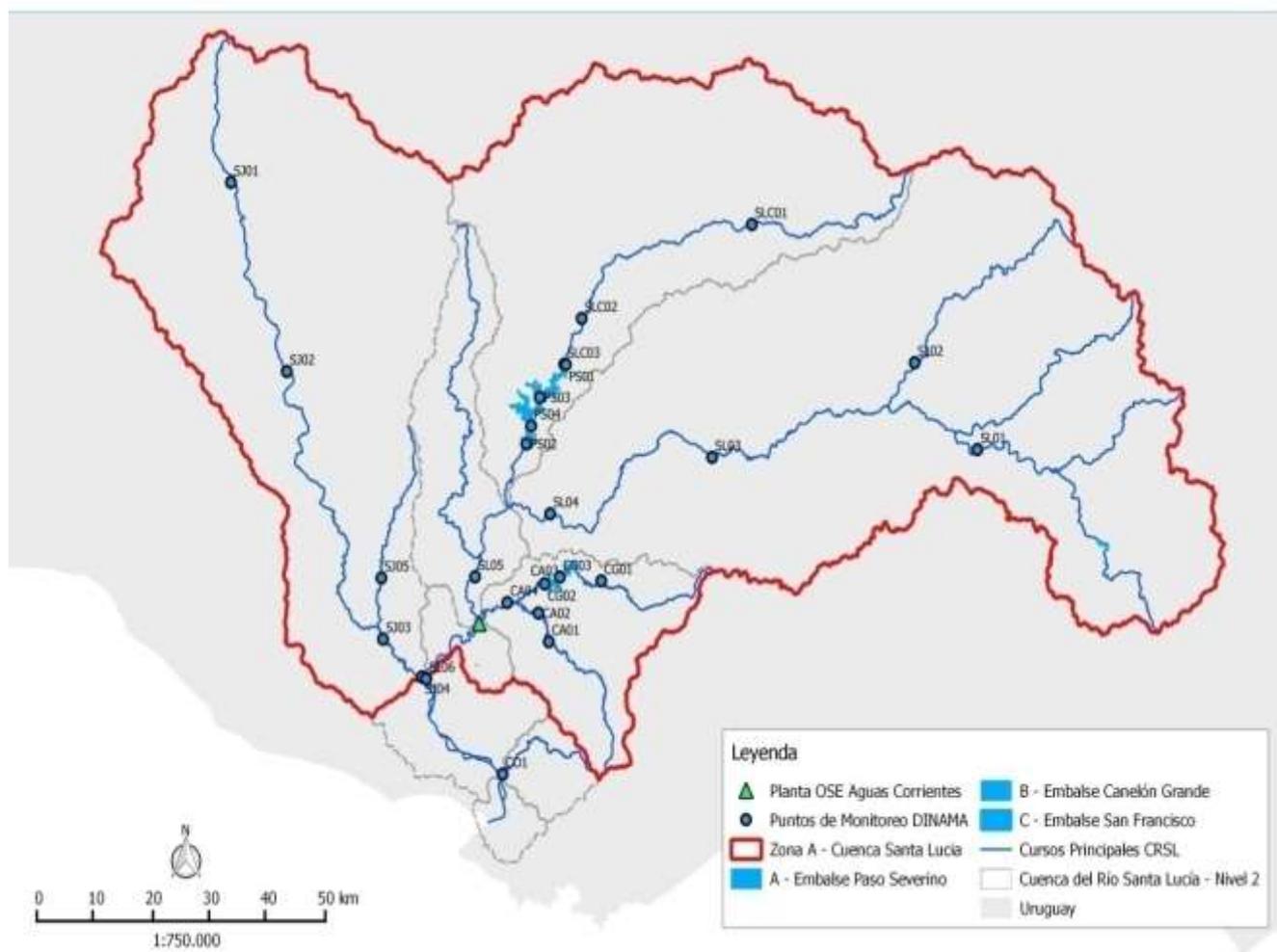


Figura 2. Cuenca del Río Santa Lucía diferenciando en las subcuencas que la componen y la ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad de agua consideradas para este informe.

Más antecedentes de calidad de agua, JICA-Dinama (2011) y Dinama - Estado del Ambiente, se encuentra disponible en la página web del MVOTMA: <http://www.mvotma.gub.uy/estado-del-ambiente.html>.

5. METODOLOGÍA

5.1. Estaciones

En cada subcuenca se definieron estaciones de monitoreo que corresponden al Nivel 1, Nivel 2 y Nivel 3; según las características de la misma y el objetivo de estudio. En la Tabla II 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 II. 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	Río Santa Lucía Chico	Río San José	Ao. Canelón	Ao. Colorado	Ao. de la Virgen
Estaciones de Nivel 1	SL01	SLC01	SJ01	CA01		
	SL02	SLC02	SJ02	CA02		
	SL03	SLC03=PS01	SJ03	CA03=CG02		
	SL04	SLC04	SJ04	CA04		
	SL05					
	SL06					
Estaciones de Nivel 2			SJ05		CO01	AV05
Estaciones de Nivel 3		Paso Severino		Canelón Grande		
		PS01=SLC03		CG01		
		PS02		CG02 = CA03		
		PS03		CG03		
		PS04				

La ubicación geográfica de estos puntos se describe en la tabla III.

5.2. Frecuencia

El monitoreo está diseñado para realizarse con una frecuencia bimestral, a fin de obtener seis datos al año. Durante el año 2015 se realizaron los seis muestreos previstos de forma normal.

5.3. Variables

Las variables de calidad de agua incluidas en este programa se presentan en la Tabla IV; fueron definidas inicialmente en el proyecto DINAMA-JICA, en el que participaron instituciones nacionales y departamentales. Algunas están incluidas en el Decreto 253/79 y modificativos (Tabla V), a las que se agregaron otras, por considerar que proporcionan información relevante para los objetivos del monitoreo. En tal sentido para el nitrito (NO₂) se consideró como valor de referencia el sugerido en el GESTA-Agua como objetivo de calidad (límite máximo) para aguas superficiales, siendo este valor de concentración de 0,1 mgN/l. Para el fósforo total se tuvieron en cuenta dos valores de referencia. El valor estándar que establece el Decreto 253/79 (25 µgP/l) y un valor guía sugerido por el GESTA-Agua para sistemas fluviales que no sean afluentes de sistemas lénticos, de 70 µgP/l, el cual está en revisión. Para los compuestos orgánicos que se analizan y que no se encuentran en el Decreto 253/79 o en la propuesta GESTA- Agua, se toman valores de referencia internacional (Tabla VI).

Tabla III: Ubicación geográfica de las estaciones monitoreadas en la cuenca del río Santa Lucía.

CURSO	CODIGO	LATITUD	LONGITUD
Santa Lucía	SL01	-34.267.278	-55.454.969
	SL02	-34.146.565	-55.574.089
	SL03	-34.281.428	-55.954.661
	SL04	-34.364.128	-56.250.143
	SL05	-34.449.545	-56.402.262
	SL06	-34.589.941	-56.494.136
Santa Lucía Chico	SLC01	-33.960.818	-55.884.454
	SLC02	-34.091.573	-56.203.815
	SLC03	-34.157.466	-56.235.538
Paso Severino	PS01	-34.157.466	-56.235.538
	PS02	-34.264.385	-56.305.925
	PS03	-34.200.756	-56.281.608
	PS04	-34.240.139	-56.297.608
San José	SJ01	-33.902.670	-56.863.237
	SJ02	-34.166.844	-56.759.739
	SJ03	-34.536.776	-56.577.320
	SJ04	-34.588.118	-56.502.750
	SJ05	-34.451.992	-56.580.147
Canelón	CA01	-34.538.216	-56.261.748
	CA02	-34.498.964	-56.282.067
	CA03	-34.452.847	-56.246.820
	CA04	-34.484.739	-56.341.036
Canelón Grande	CG01	-34.453.672	-56.162.942
	CG02	-34.460.330	-56.269.332
	CG03	-34.448.867	-56.241.611
Colorado	CO1	-34.721.983	-56.348.000
de la Virgen	AV05	-34.415.631	-56.415.975

Tabla IV: 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. Las demás variables desde el año 2004.

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 (α , β y SO ₄)*
	AOX *
	Glifosato *
	AMPA *

Tabla V. Valores estándar 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
DBO5	Máx. 10 mg/L
ACEITES Y GRASAS	Virtualmente ausentes
DETERGENTES	Máx. 1 mg/L en LAS
SUSTANCIAS FENÓLICAS	Máx. 0,2 mg/L en C6H5OH
AMONÍACO 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 UFC/100 ml en ninguna de al menos 5 muestras, debiendo la media geométrica de las mismas estar por debajo de 1000 UFC/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

Tabla VI. 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 µg/l	Valor guía propuesto por GESTA-Agua *
AMPA	No se cuenta con valor estándar ni de referencia	
Endosulfan	0.02 µg/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

5.4. 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 técnicos de DINAMA-DSCA que van al campo, técnicos de apoyo en Montevideo y técnicos del Dpto. de Laboratorio Ambiental de DINAMA en la recepción y análisis del material.

6. 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 durante el año 2015 según se detalla en cada caso. Se muestra la evolución de las diferentes variables a lo largo del año y la variación espacial en cada uno de los puntos de muestreo. En la variación espacial solo se incluyen los puntos de muestreos ubicados a lo largo del curso principal que se analiza.

6.1. RÍO SANTA LUCÍA

En esta sub-cuenca se tienen seis estaciones de monitoreo, según se muestra en la Figura 3 y sus resultados serán presentados en este informe, mientras que en la figura 4 se esquematiza la ubicación de dichas estaciones en relación a la llegada de afluentes del río.



Figura 3: Ubicación de estaciones en la subcuenca del río Santa Lucía.

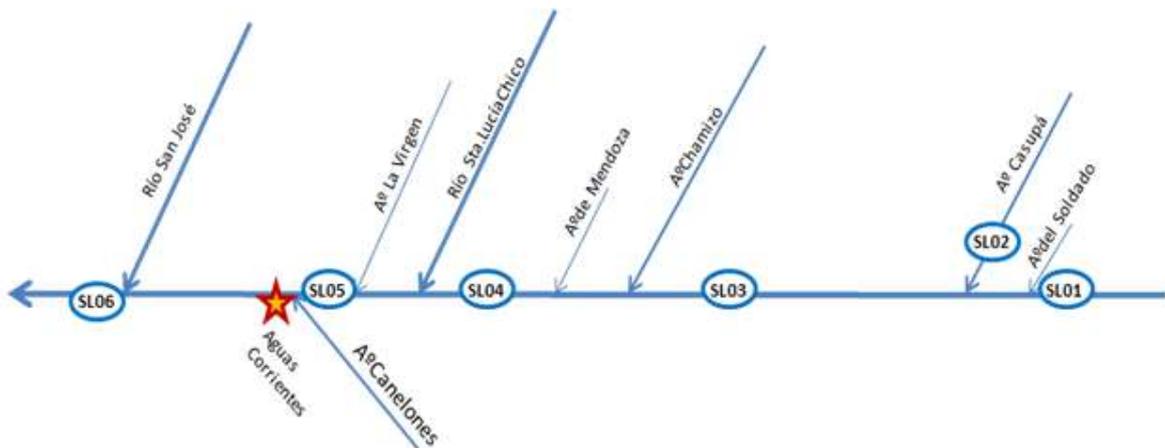


Figura 4. Esquema con la ubicación de las estaciones de monitoreo de Nivel 1 en la subcuenca del río Santa Lucía indicando los principales afluentes

6.1.1. Parámetros físico-químicos del agua.

La temperatura del agua (Figura 5) varió entre un máximo de 27,1 °C (estación SL04 en marzo) y un mínimo de 9,5 °C (estación SL02 en julio), con un promedio en el año de 19,6°C. La variación espacial de la temperatura no mostró diferencias notorias entre los sitios, aunque se percibe una tendencia al aumento desde las nacientes hacia la desembocadura.

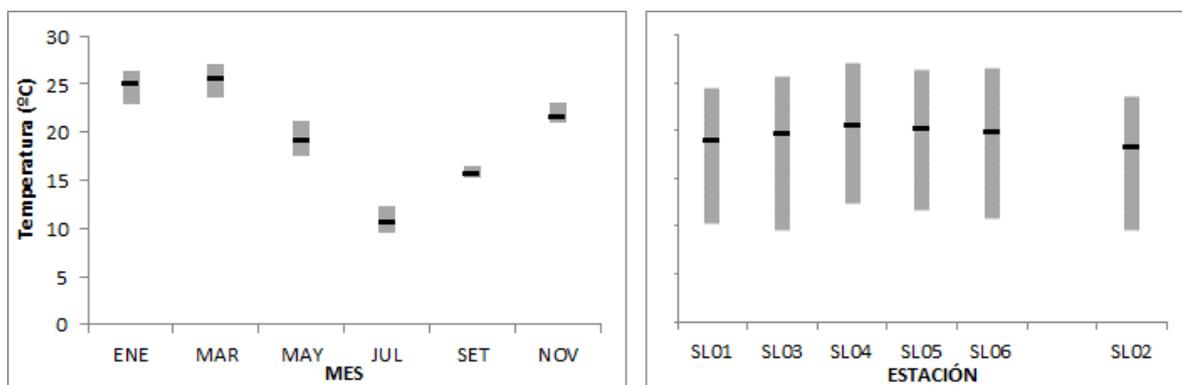


Figura 5: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la temperatura en el río Santa Lucía durante 2015.

La conductividad del agua (Figura 6) se caracterizó por un máximo de 533,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (SL06 en mayo) y un mínimo de 194,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (SL02 en setiembre). El promedio fue de 345,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esta variable muestra una tendencia al incremento desde las nacientes hacia la desembocadura.

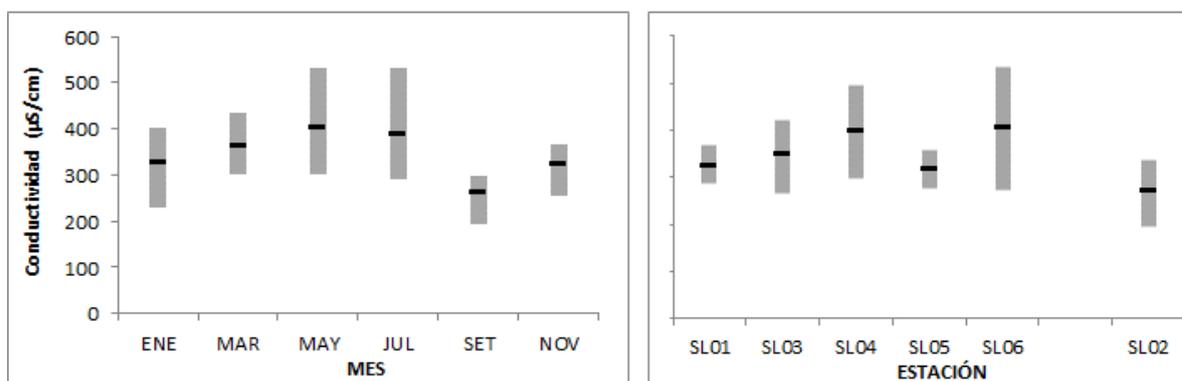


Figura 6: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la conductividad en el río Santa Lucía durante 2015.

La variabilidad de la conductividad es escasa en los puntos de la cuenca alta y aumenta su variabilidad hacia las estaciones de la cuenca baja.

El pH promedio del río Santa Lucía (Figura 7) durante 2015 fue predominantemente básico, con un máximo de 9,05 (SL03 en setiembre), un mínimo de 7,75 (SL06 en noviembre), y un promedio anual de 8,3.

Se observa una tendencia al aumento de pH desde la cabecera hacia la desembocadura, a pesar de que en la estación SL06 se registran los valores más bajos.

En el 25% de las muestras tomadas (9/36), los valores de pH excedieron el valor de referencia fijado en el decreto 253 (entre 6,5 y 8,5). En el anexo 1 puede verse una tabla comparativa del cumplimiento de las diferentes variables.

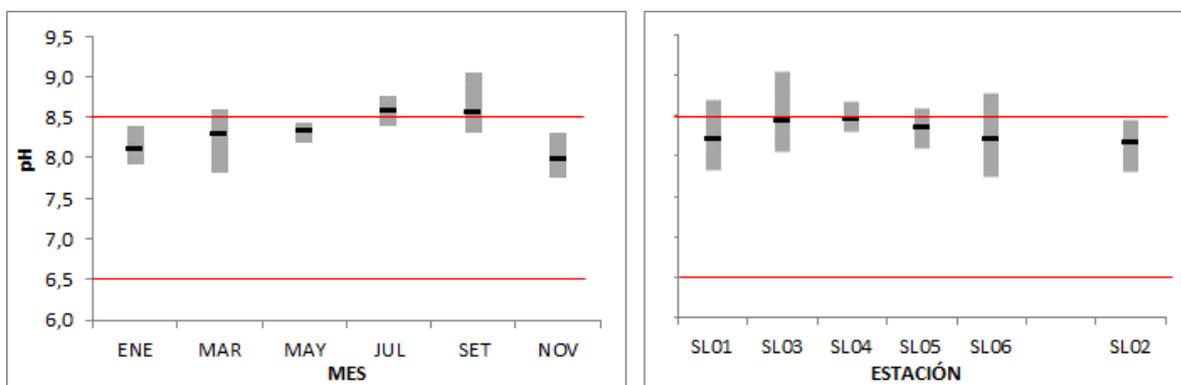


Figura 7: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del pH en el río Santa Lucía durante 2015. La líneas roja indica el rango superior del estándar de pH establecido en la legislación (6,5-8,5) para aguas naturales (Clase 3).

La concentración de oxígeno en el agua (Figura 8) se situó en valores extremos de 11,7 mg/l de máximo (SL03 en setiembre) y 6,37 de mínimo (SL02 en marzo), con un promedio de 8,7 mg/l.

Las aguas más oxigenadas se observan en la cuenca media del río, mientras que en la cuenca alta se registran los valores mínimos; en líneas generales se percibe una leve tendencia al aumento de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua desde la cabecera hacia la desembocadura. Más allá de las fluctuaciones espaciales y/o temporales de esta variable, las concentraciones de oxígeno disuelto se encuentran siempre por encima del valor mínimo aceptable fijado en el decreto 253, indicando un buen nivel de oxigenación del cuerpo de agua.

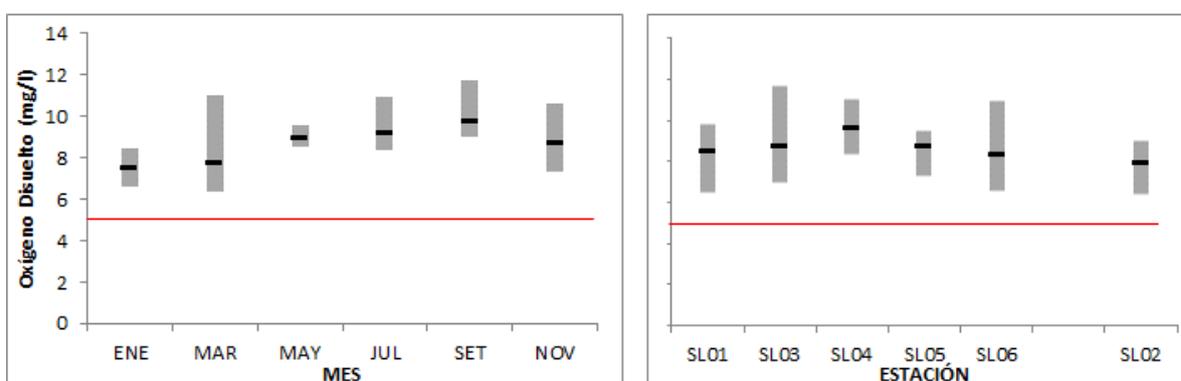


Figura 8: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del oxígeno disuelto en el río Santa Lucía durante 2015. La línea roja indica el valor del estándar de OD establecido en la legislación (> 5 mg/l) para aguas naturales (Clase 3).

Los niveles de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (Figura 9) se ubicaron entre un máximo de 10,0 mg/l (SL04 en enero) y un mínimo de 0,5 mg/l en tres ocasiones (10% del total, en la estación SL02 en enero, marzo y mayo). Este valor (0,5 mg/l) corresponde al límite de detección de la técnica utilizada. El promedio fue de 3,1 mg/l.

Durante 2015 no se perciben fluctuaciones temporales de esta variable, pero espacialmente se observan concentraciones más altas a nivel de la cuenca media y medio alta (SL03, SL04 y SL05), y más bajas concentraciones a nivel de cuenca alta (SL01 y SL02) y cuenca baja (SL06). A pesar de estas bajas concentraciones en la cuenca baja, la tendencia general es al aumento de la DBO₅ a lo largo del curso del río. En la estación SL04 se reportan las más altas concentraciones de DBO₅, así como el más amplio rango de variación durante el ciclo anual; resultados llamativos, si se considera que dicha estación está ubicada en un área rural, sin incidencia antrópica directa.

A pesar de las fluctuaciones registradas, en una sola ocasión (3%) el valor observado alcanzó el límite marcado en el decreto 253 (10 mg/l), mientras que el resto de las observaciones se mantuvieron en valores bajos, de, aproximadamente, la mitad del valor guía. En el curso principal del Santa Lucía, la DBO₅ cumple con la norma establecida.

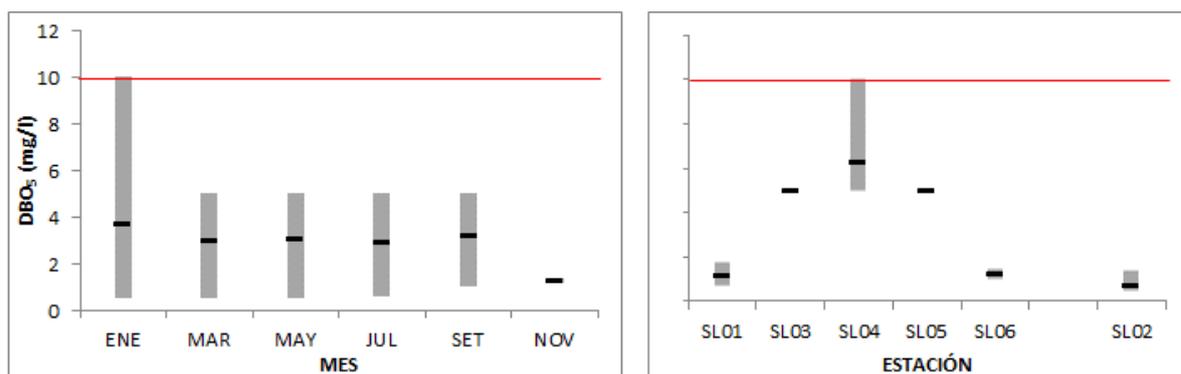


Figura 9: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la DBO₅ en el río Santa Lucía durante 2015. La línea roja indica el valor del estándar de DBO₅ establecido en la legislación (≤ 10 mg/l) para aguas naturales (Clase 3).

Los niveles de turbidez del agua (Figura 10) mostraron valores extremos de 22,0 NTU (SL06 en noviembre) y 0,75 NTU (SL01 en mayo), con un promedio anual de 8,3 NTU.

Hay una marcada tendencia al aumento de la turbidez a lo largo del curso del río, pero siempre manteniéndose dentro de los valores aceptados por el decreto 253 (50 NTU), situándose, el valor más alto registrado durante 2015, a la mitad de esta valor guía.

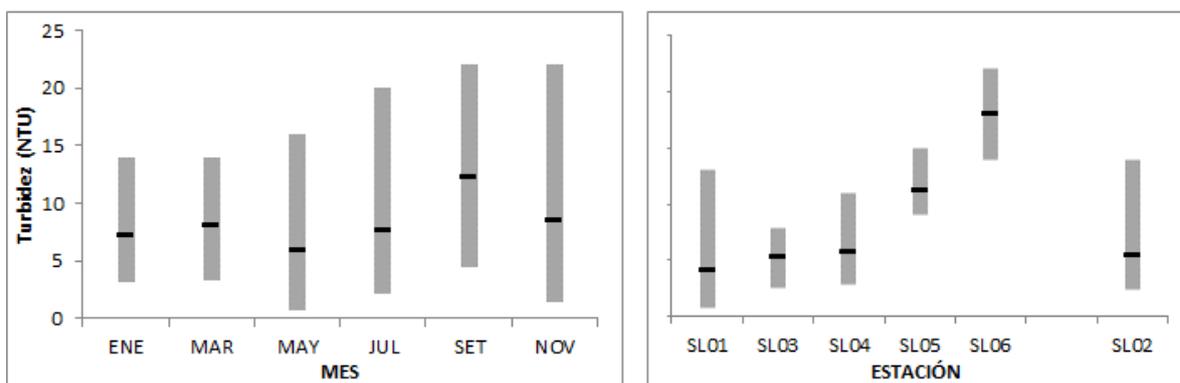


Figura 10: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la turbidez en el río Santa Lucía durante 2015.

6.1.2. Nutrientes

Los nutrientes analizados en este trabajo son compuestos de nitrógeno (nitrato, nitrito, amonio y nitrógeno total) y de fósforo (fósforo total). Con respecto a los productos nitrogenados, a consecuencia de la alta cantidad de resultados que se encuentran por debajo de los límites de detección de las técnicas y teniendo en cuenta que todos los valores observados se sitúan muy por debajo de los estándares establecidos en el decreto 257/79, se presentan gráficamente sólo los resultados para Nitrógeno Total.

Los nitratos (NO_3) se detectaron entre un máximo de 1,11 mg/l (SL06 en mayo) y mínimos en dos ocasiones, con valores por debajo del límite de detección de la técnica, 0,016 mg/l (SL03 y SL04 en marzo). El promedio fue de 0,3 mg/l.

En el caso de los nitratos, el 28% de los resultados (10/36) se encontraron por debajo de los límites de la técnica analítica. No se observa un patrón de variación definido a lo largo del ciclo anual, pero sí a nivel espacial: las concentraciones de NO_3 son máximas (e iguales) en las dos estaciones extremas (SL01 y SL06). A partir de SL03 (mínimos valores en el río) se produce un incremento sostenido de la concentración de NO_3 en el curso principal, lo que marca una tendencia al aumento a lo largo del curso. La estación SL02 reporta los aportes del Ao. Casupá, los que, en 2015, fueron promedialmente bajos (0,08 mg/l).

Los nitritos (NO_2) estuvieron en el 100 % de las observaciones por debajo de los límites de la técnica. 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/l, por lo cual, el NO_2 , durante 2015, cumple con la normativa.

El amonio libre mostró un máximo de 0,018 mg/l (SL03 en setiembre) y mínimo de 0,0003 mg/l (SL06 en noviembre). El promedio anual para esta variable fue de 0,004 mg/l. El amonio libre muestra una clara tendencia al descenso desde la cabecera hacia la desembocadura, siempre dentro de los valores admitidos en el decreto 253.

El Nitrógeno Total (Figura 11) se caracterizó por una concentración máxima de 1,62 mg/l (SL06 en mayo) y, en dos ocasiones, un mínimo de 0,105 mg/l (SL02 y SL03 en enero), coincidentes con el límite de la técnica. El promedio anual del NT fue de 0,7 mg/l.

La variación temporal del NT a lo largo del año no muestra un patrón definido. La variación espacial se caracteriza por mayores concentraciones en la estación más cercana a la desembocadura (SL06), y concentraciones muy cercanas en las estaciones SL01 y SL05. En las restantes estaciones (SL02, SL03 y SL04) las concentraciones son aproximadamente la mitad. La tendencia general es al aumento desde las nacientes hacia la desembocadura, a pesar de las altas concentraciones en SL01. Las concentraciones de NT aumentaron en las dos estaciones extremas, con respecto al año precedente, pero disminuyeron en las 4 estaciones intermedias.

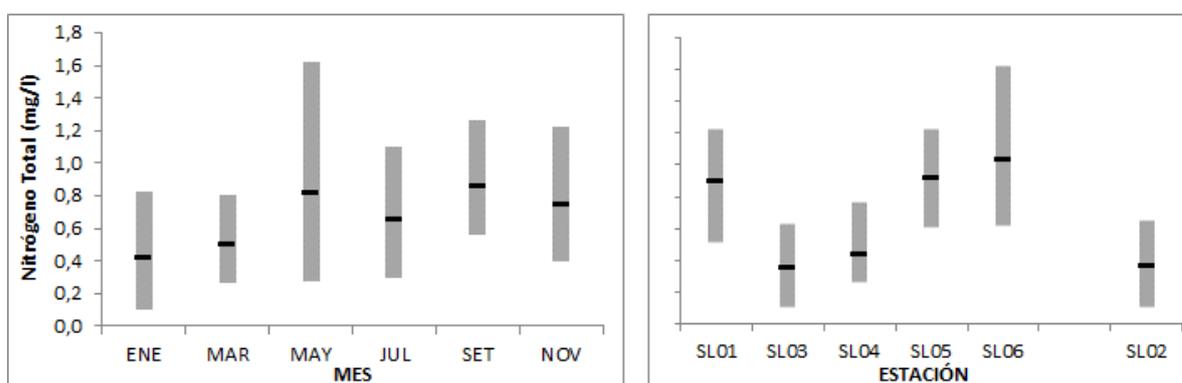


Figura 11: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del nitrógeno total en el río Santa Lucía durante 2015.

La concentración de PT (Figura 12) en el curso principal del río Santa Lucía se situó entre un máximo de 486 $\mu\text{g/l}$ (SL06 en mayo) y un mínimo de 26 $\mu\text{g/l}$ (SL02 en mayo), con un promedio de 171 $\mu\text{g/l}$.

Según la legislación vigente, la concentración de este nutriente debe ser inferior a 25 $\mu\text{g/l}$ en cursos de agua natural; mientras que está en discusión una propuesta de actualización de este valor a 70 $\mu\text{g/l}$.

La variación temporal del PT en el río Santa Lucía a lo largo del 2015 no muestra un patrón de variación definido. La variación espacial muestra un gradiente positivo desde las nacientes hacia la desembocadura. A pesar de esa tendencia, en la estación SL01 se observan valores superiores a los registrados en las estaciones SL02 y SL03.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el 100 % de los resultados incumplió con el valor estándar de 25 $\mu\text{g/l}$ de PT, y el 94.5 % no cumplió con el valor de 70 $\mu\text{g/l}$. 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

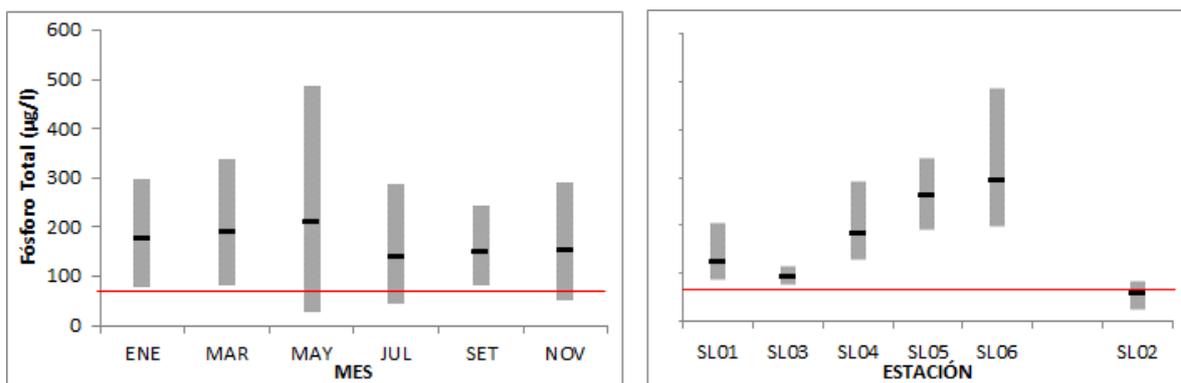


Figura 12: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del fósforo total en el río Santa Lucía durante 2015.

6.1.3. Parámetros microbiológicos del agua

Los Coliformes Termotolerantes (Figura 13) presentaron una densidad máxima de 6600 UFC/100 ml (SL01 en julio) y una densidad mínima de 10 UFC/100 ml, con un promedio anual de 620 UFC/100 ml.

La variación temporal no mostró tendencias claras en el período. La variación espacial muestra tres estaciones con densidades más altas (SL01, SL03 y SL06) con respecto a las otras tres.

El 7 % de los valores (2/27) no cumplió con el estándar de calidad, o sea, superó los 2000 UFC/100 ml

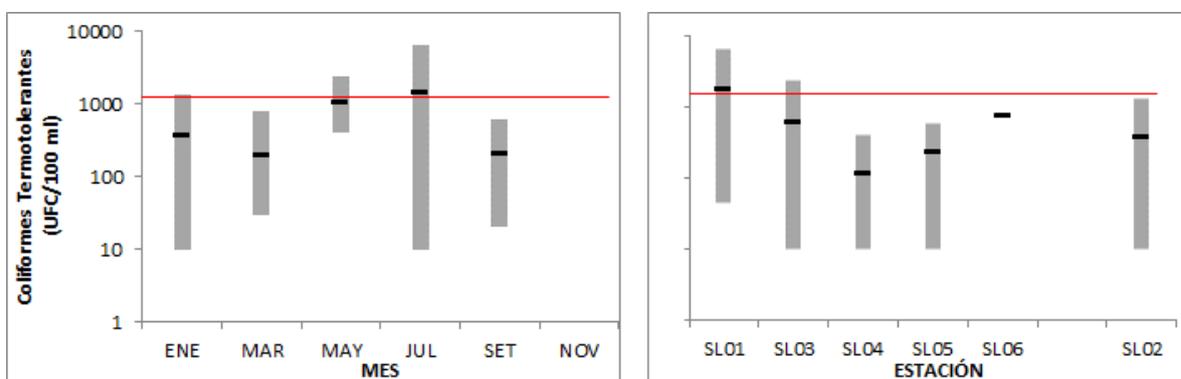


Figura 13: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de los coliformes termotolerantes en el río Santa Lucía durante 2015.

6.1.4. Síntesis del río Santa Lucía

En este informe se procesaron los resultados de 12 variables, consideradas las más relevantes para este objetivo, de las cuales 8 tienen valores de referencia estándar.

De las 8 variables con valores de calidad de referencia, 4 de ellas tuvieron un cumplimiento del 100% de los registros con respecto al estándar (OD, Turbidez, NO3 y NO2); 2 alcanzaron cumplimiento > 90%

(DBO5 y Coliformes Termotolerantes); 1 con cumplimiento > 70% (pH) y 1 que incumplió el estándar en el 100% de los registros (PT). En este último caso (PT), si se considera el valor guía propuesto de 70 µg/l el PT cumpliría con este estándar sólo un 5.5% de las muestras.

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.

Las variables no detalladas en esta descripción se muestran temporalmente estables en la cuenca y con valores bajos, no representando un riesgo potencial.

6.2. SANTA LUCÍA CHICO

Para el análisis de la calidad del agua en la cuenca del Río Santa Lucía Chico, se incluyen las estaciones del curso principal y del embalse Paso Severino (Figura 14). Las estaciones F2 aguas arriba de la ciudad de Florida, y F5, aguas abajo del embalse Paso Severino, no contempladas en este informe, pertenecen a la primera etapa del programa de monitoreo (Figura 15).

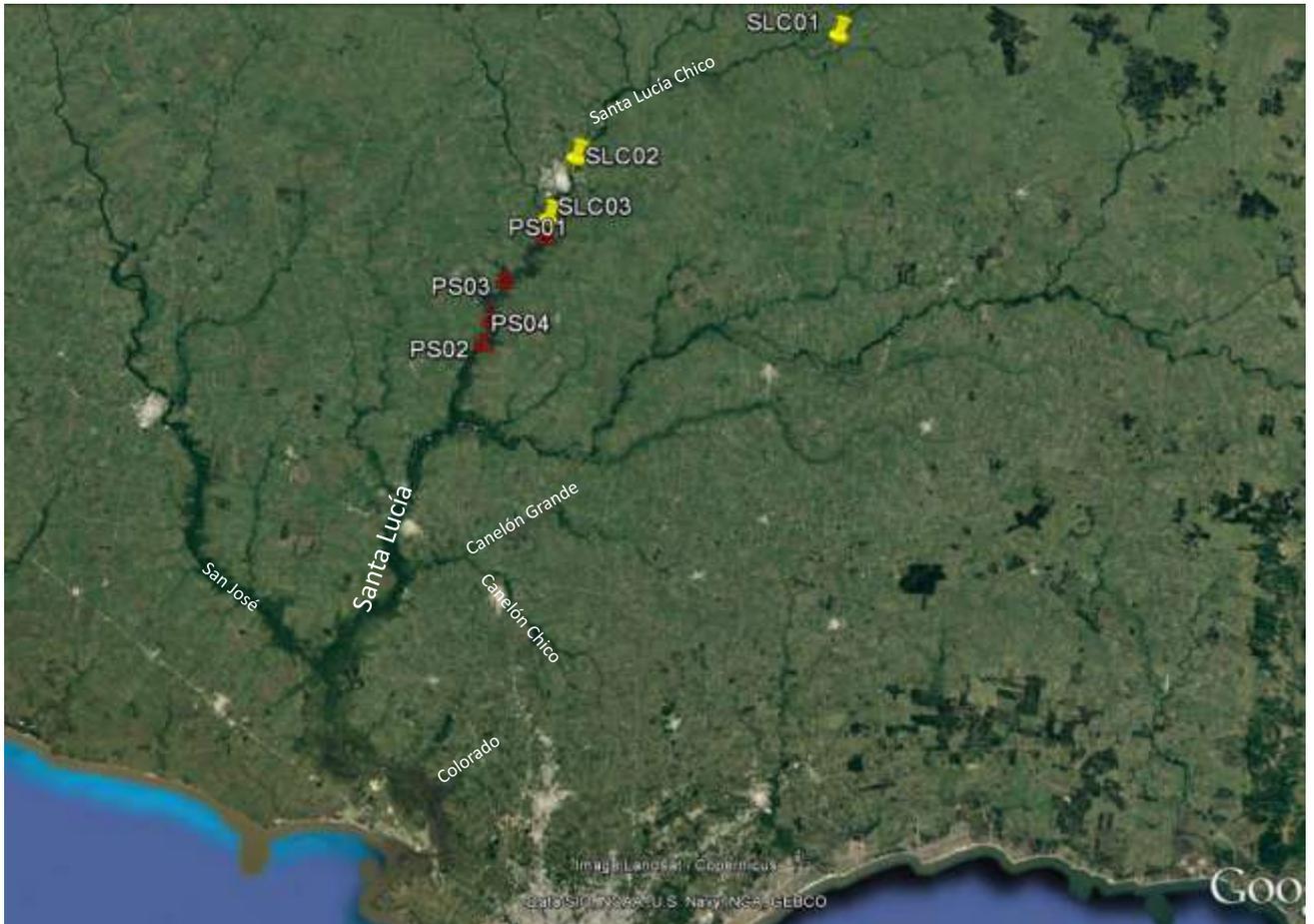


Figura 14- Cuenca del río Santa Lucía Chico con ubicación de las estaciones de monitoreo en el curso principal (icono "chinche") y en el Embalse Paso Severino (icono triángulo)

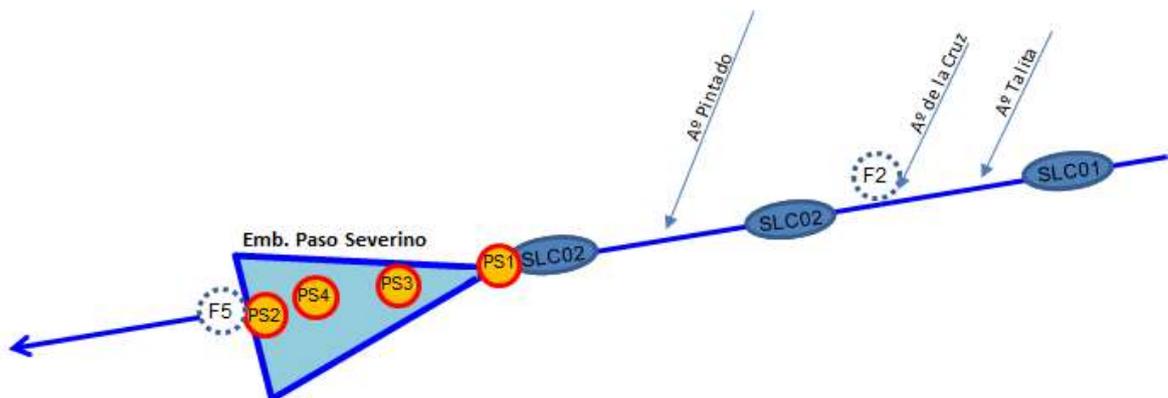


Figura 15. Esquema con la ubicación de las estaciones de monitoreo en la subcuenca del río Santa Lucía Chico indicando las correspondientes al nivel 1 del cauce principal (círculos azules) y el nivel 3 del embalse Paso Severino (círculos amarillos).

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

A consecuencia de las dificultades para acceder por tierra a la estación PS01=SLC03, y a la alta peligrosidad de su acceso por agua, durante 2015 sólo pudo realizarse un muestreo en la misma. Los resultados de esta estación pertenecen al muestreo de noviembre.

6.2.1. Parámetros físico-químicos del agua

La temperatura del agua (Figura 16) registró una máxima de 25,4 °C (SLC02 en marzo) y una mínima de 8,4 °C (SLC01 en julio), con un promedio anual de 18,7 °C.

Espacialmente se percibe una tendencia al aumento de la temperatura desde la cabecera hacia la desembocadura, con promedios de temperatura de 17,9 °C en la estación SLC01 y de 22,0 °C en la estación PS01=SL03. Históricamente la estación PS01=SLC03 mostró diferencias en la temperatura promedio anual respecto al resto de las estaciones fluviales, siendo los promedios anuales menores en este sitio (De León & Hill, 2015). En 2015, por el contrario, la temperatura en esta estación (cabeza del embalse) es mayor que en las estaciones en el curso del río.

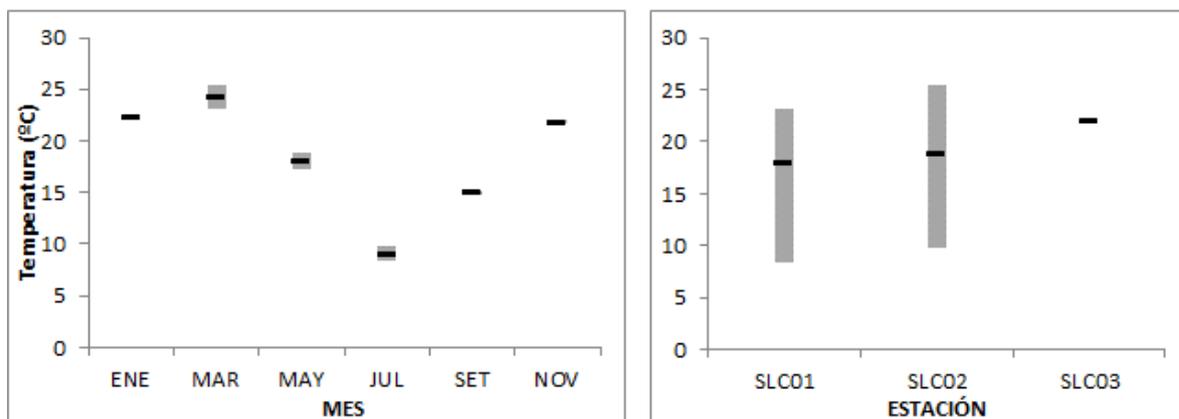


Figura 16: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la temperatura en el río Santa Lucía Chico durante 2015.

La conductividad del agua (Figura 17) se caracterizó por una concentración máxima de 443,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (SLC02 en mayo) y una mínima de 237,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (SLC02 en enero), con un promedio anual de 330,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La variación temporal de la conductividad durante el año 2015 marca un ciclo con máximos en otoño y mínimos en primavera. Espacialmente, se percibe una tendencia al aumento de conductividad desde SLC01 hacia PS1=SLC03.

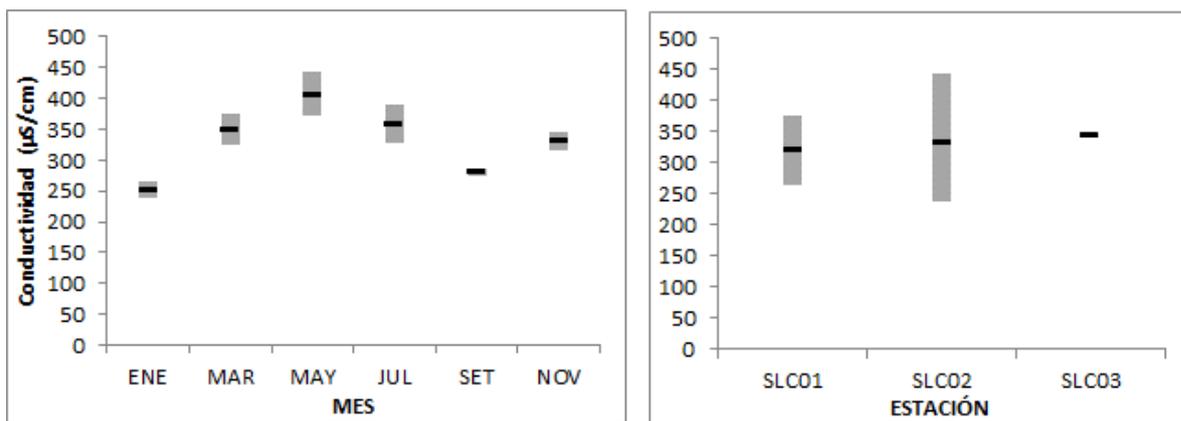


Figura 17: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la conductividad en el río Santa Lucía Chico durante 2015.

El pH (Figura 18) presentó niveles situados entre un máximo de 8,78 (SLC02 en julio) y un mínimo de 7,69 (SLC01 en noviembre), con un promedio anual de 8,1.

No se observa un patrón definido de variación temporal a lo largo del año, más allá de un rango de variación más amplio en los meses fríos. La variación espacial muestra una tendencia al descenso desde las nacientes hacia la desembocadura, aunque las mayores concentraciones se observan en la estación SLC02.

De las mediciones realizadas durante 2015, el 15% tuvieron registros que no cumplen con el estándar de calidad establecido por el Decreto 253/79. En este caso, se observaron valores elevados de pH, por encima del valor de 8,5 fijado. Asimismo, se observan varios valores cercanos a ese límite superior, que implicarían una basificación del cuerpo de agua.

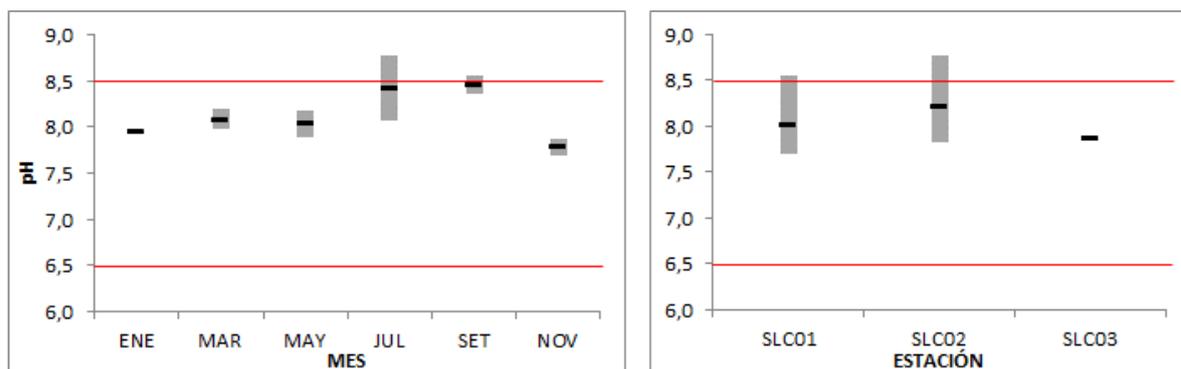


Figura 18: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del pH en el río Santa Lucía Chico durante 2015.

La concentración de oxígeno disuelto en el agua del río Santa Lucía Chico (Figura 19) fluctuó entre un máximo de 8,85 mg/l (SLC02 en julio) y un mínimo de 6,58 (SLC01 en marzo), con un promedio anual de 7,90

La variación temporal del OD mostró el claro ciclo inverso con la temperatura, observándose valores mayores en los meses fríos. Espacialmente no se observan diferencias entre estaciones. Tanto a nivel de promedios como de rango de variación las tres estaciones consideradas muestran valores similares.

El 100% de los valores de OD observados durante 2015 presentó valores siempre superiores al límite de calidad, indicando que el sistema presenta buenas condiciones de oxigenación del agua en todo el período de estudio para todos los sitios analizados.

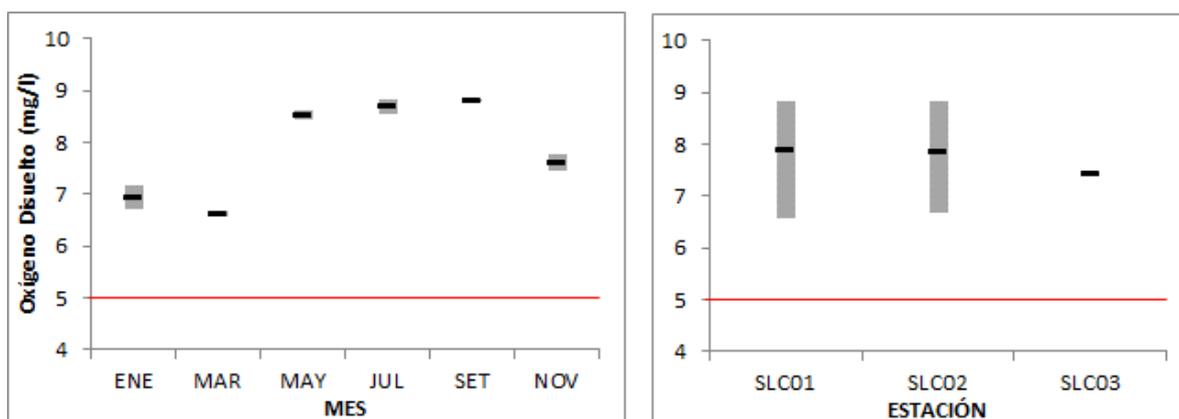


Figura 19: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del oxígeno disuelto en el río Santa Lucía Chico durante 2015.

La demanda bioquímica de oxígeno analizada en el río Santa Lucía Chico durante 2015 (Figura 20) fluctuó entre un máximo de 3,1 mg/l (SLC02 en noviembre) y un mínimo de 0,6 mg/l (SLC02 en julio), con un promedio anual de 1,7 mg/l.

La variación temporal marca valores más bajos en los meses fríos, mientras que la variación espacial muestra un aumento de concentración desde la cabecera hacia la desembocadura

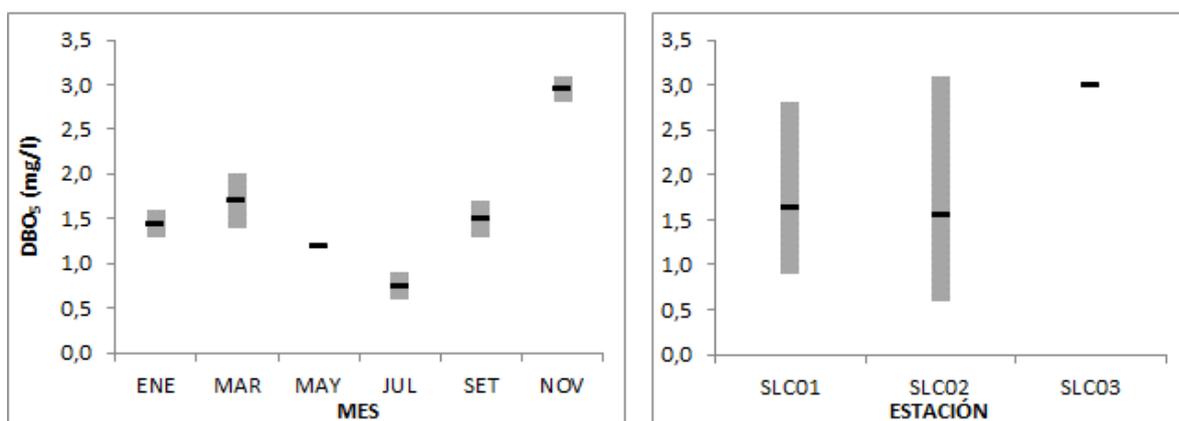


Figura 20: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la DBO₅ en el río Santa Lucía Chico durante 2015.

Todos los valores de DBO₅ se mantuvieron muy por debajo del valor de referencia (≤ 10 mg/l) durante todo el año 2015.

Los niveles de turbidez del agua (Figura 21) mostraron valores extremos de 60,0 NTU (SLC01 en julio) y 1,8 NTU (SLC02 en marzo), con un promedio anual de 17,1 NTU.

Hay una marcada tendencia al descenso de la turbidez a lo largo del curso del río, manteniéndose dentro de los valores aceptados por el decreto 253 (50 NTU), sólo observándose un registro que supere este valor guía, en el caso del máximo anual. El resto de los valores observados se encuentran muy por debajo de este valor de referencia.

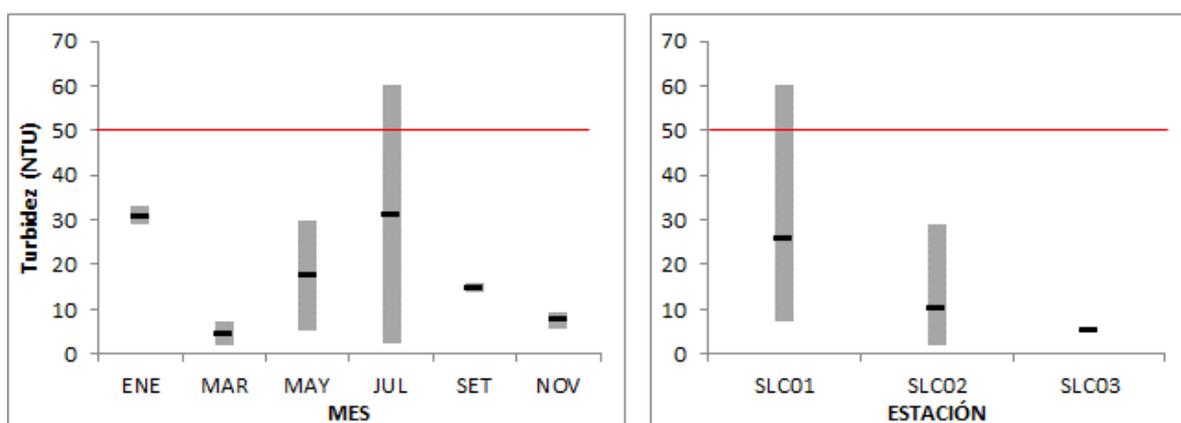


Figura 21: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la turbidez en el río Santa Lucía Chico durante 2015. La línea roja indica el valor del estándar de turbidez establecido en la legislación (50 NTU) para aguas naturales (Clase 3).

6.2.2. Nutrientes

La concentración de nitrato en el agua superficial del curso principal estuvo entre 0,63 mg/l (SLC02 en enero) y 0,02 mg/l (SLC02 en marzo), con un promedio anual de 0,20 mg/l.

No se observa ningún patrón de variación temporal, pero si un claro aumento de la concentración de NO_3 desde las nacientes hacia la desembocadura, como ya se observara en años precedentes (De León & Hill, 2015). Todos los valores de NO_3 observados se encuentran muy por debajo del valor de referencia fijado en el decreto 253 (≤ 5 mg/l).

Los nitritos (NO_2) estuvieron en el 100 % de las observaciones por debajo de los límites de la técnica. 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/l, por lo cual, el NO_2 , durante 2015, cumple con la normativa.

El amonio libre se ubicó en un rango acotado entre un máximo de 0,005 mg/l (SLC01 en marzo) y un mínimo de 0,00018 mg/l (SLC01 en julio). El promedio anual fue de 0,0016 mg/l.

No se percibe un patrón de variación temporal definido durante el ciclo anual, pero sí se observa una tendencia a la disminución de las concentraciones de amonio libre desde las nacientes hacia la desembocadura, distribución opuesta a lo observado años precedentes por De León & Hill, 2015.

Todas las muestras de amonio libre tomadas durante 2015 cumplen con el estándar.

El nitrógeno total (NT) en el río Santa Lucía Chico (Figura 22) fluctuó entre un máximo de 1,10 mg/l (SLC01 en julio) y un mínimo de 0,43 mg/l (SLC01 en enero), con un promedio de 0,80 mg/l a lo largo del año. Se observa una tendencia a presentar mayores concentraciones en aguas más frías, así como una clara tendencia al aumento desde las nacientes hacia la desembocadura.

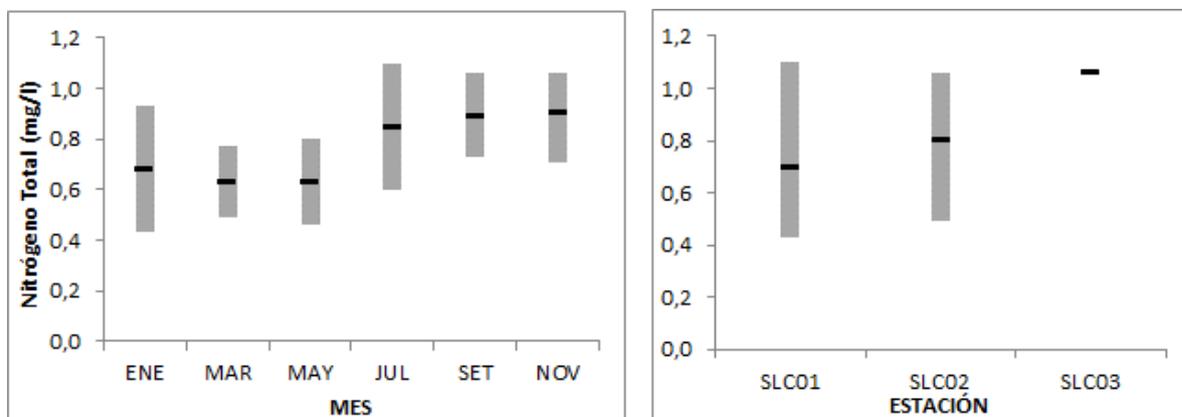


Figura 22: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del nitrógeno total en el río Santa Lucía Chico durante 2015.

Durante el año 2015 la concentración de fósforo total (PT) en las aguas del río Santa Lucía Chico fluctuó entre un máximo de 332 $\mu\text{g/l}$ (SLC02 en marzo) y un mínimo de 12 $\mu\text{g/l}$ (SLC01 en julio), con un promedio anual de 185 $\mu\text{g/l}$ (Figura 23).

Se observa una variación temporal determinada por un decrecimiento brusco de las concentraciones durante el mes de julio, mientras que la variación espacial revela un claro incremento desde las nacientes hacia la desembocadura.

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 23, los valores de PT del curso principal del río Santa Lucía Chico superaron en su mayoría el estándar de calidad registrando un incumplimiento del 92% de los registros.

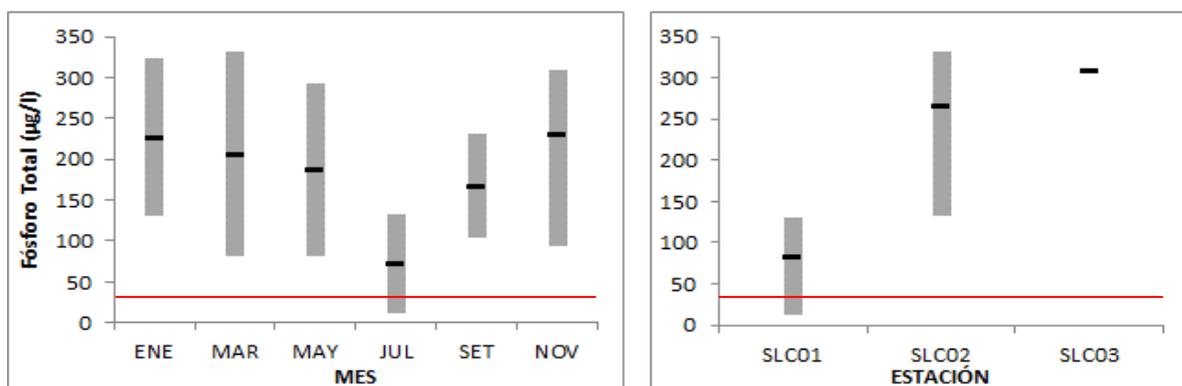


Figura 23: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del fósforo total en el río Santa Lucía Chico durante 2015. La línea roja indica el valor del estándar de fósforo total establecido en la legislación (0,025 mg/l) para aguas naturales (Clase 3).

6.2.3. Parámetros microbiológicos del agua

Los coliformes termotolerantes del río Santa Lucía Chico (Figura 24) registraron abundancias máximas de 3300 UFC/100ml (SLC02 en marzo) y mínimas de 250 UFC/100ml (SLC02 en enero), con un promedio anual de 1210 UFC/100ml.

No se aprecia un patrón de variación anual determinado, aunque son notorias densidades más altas durante el muestreo de marzo (en las dos estaciones muestreadas en ese momento).

La distribución espacial de densidades no refleja diferencias entre estaciones, siendo los promedios calculados prácticamente iguales entre los tres puntos de muestreo (divergencia máxima de 133 UFC/100ml). La única diferencia apreciable a nivel espacial es que en la estación SLC02 se observa un mayor rango de variación, detectándose –en esta estación- las densidades máxima y mínima para el período estudiado.

El Decreto 253/79 establece como valor estandar 1000 UFC/100ml, 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 29% de los registros de coliformes termotolerantes en el río Santa Lucía Chico no cumplió con el estandar de calidad.

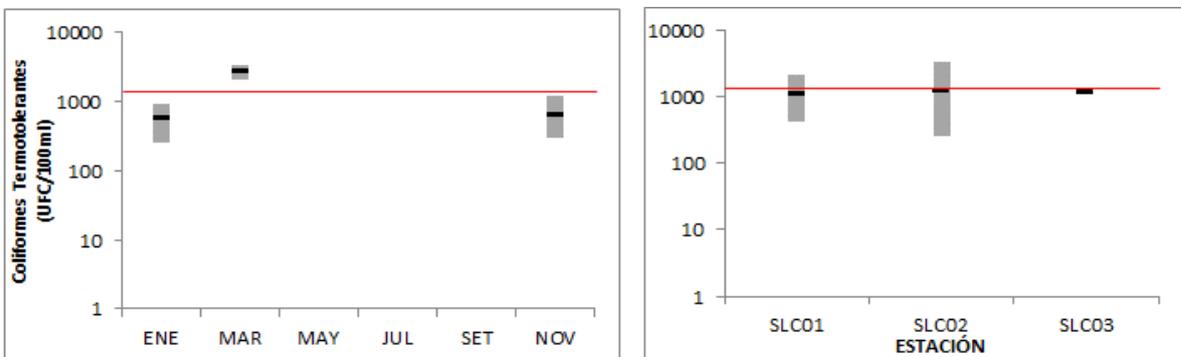


Figura 24: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de los coliformes termotolerantes en el río Santa Lucía Chico durante 2015. La línea roja indica el valor del estándar para los coliformes termotolerantes establecido en la legislación (2000 UFC/100 ml) para aguas naturales (Clase 3).

6.3. 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. 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. Se superponen la estación PS01 con SLC03, aguas abajo de la ciudad de Florida, con las mismas coordenadas (Figura 14).

6.3.1. Parámetros físico-químicos del agua

La temperatura del agua en las aguas del embalse de Paso Severino (Figura 25) se situó entre un máximo de 26,4 °C (PS02 en marzo) y un mínimo de 11,1 °C (PS03 en julio), con un promedio anual de 19,8 °C. Como es esperable se observa un clásico ciclo anual con temperaturas máximas en meses cálidos y mínimas en meses fríos. Este ciclo de variación temporal muestra un comportamiento similar en las cuatro estaciones del embalse, con la única excepción de la estación PS03 en marzo, que muestra una diferencia de temperatura de 2 °C con respecto a las demás. La distribución espacial de la temperatura es homogénea en toda la superficie del embalse. Tanto los promedios como los rangos de variación son similares en todas las estaciones a lo largo del 2015.

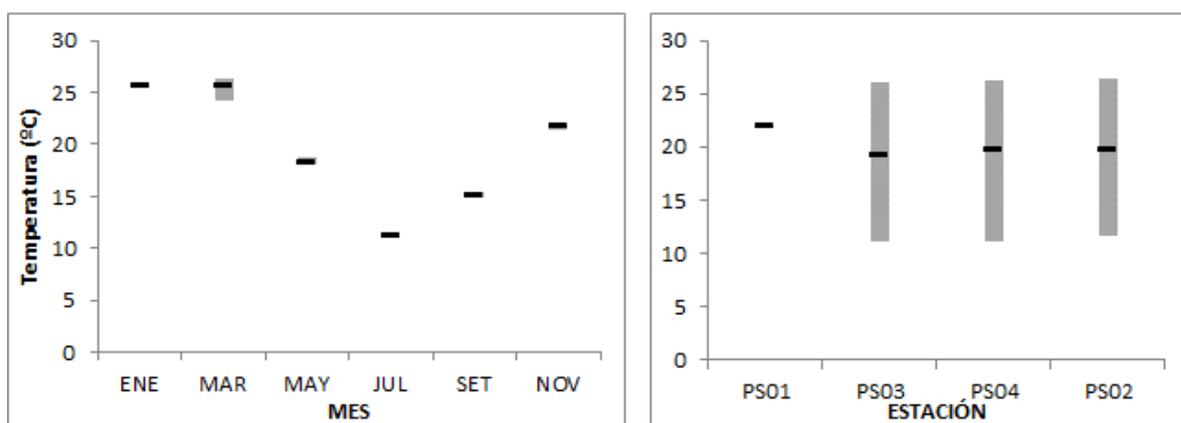


Figura 25: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la temperatura en el embalse de Paso Severino durante 2015.

La conductividad del agua del embalse durante 2015 se situó entre un máximo de 344,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (PS01 en noviembre) y un mínimo de 143,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (PS02 en enero), con un promedio anual de 211,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 26).

Temporalmente, se aprecia una tendencia al aumento de la salinidad (y su rango de variación) en temperaturas más frías, mientras que espacialmente la distribución de la salinidad en el embalse marca un descenso desde PS01 en la cola del embalse hacia PS04, a la salida del mismo. Esta situación de disminución de la conductividad a lo largo del cuerpo de agua del embalse invierte la tendencia observada en el curso principal del río, con un aumento sostenido de la salinidad desde las nacientes hacia la desembocadura. Probablemente la fuerte dilución producida por el embalsamiento del agua actuó con mayor dilución de los iones disueltos, produciendo un descenso de la conductividad.

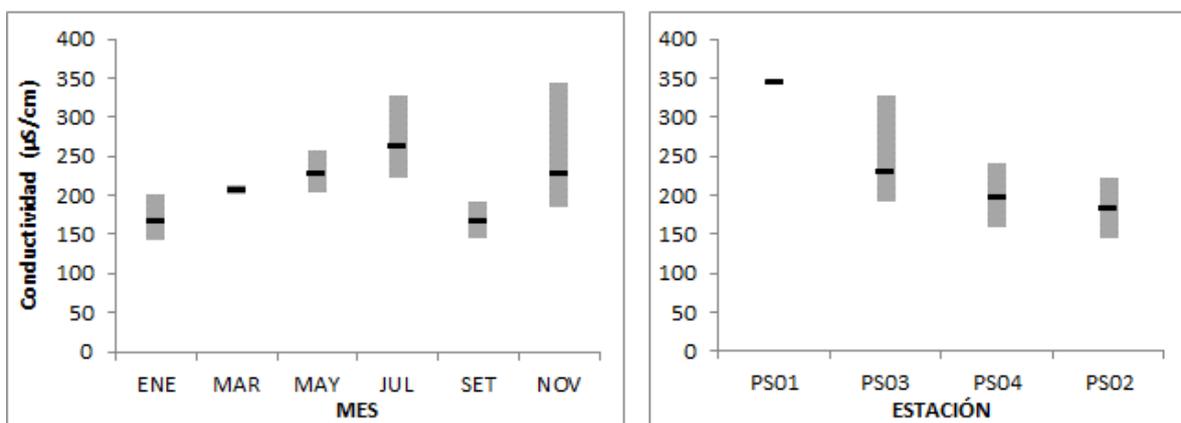


Figura 26: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la conductividad en el embalse de Paso Severino durante 2015.

Las fluctuaciones del pH mostraron un máximo de 8,61 (PS03 en julio) y un mínimo de 7,72 (PS04 en enero), con un promedio anual de 8,00 (Figura 27).

Las fluctuaciones temporales del pH en el Embalse de Paso Severino durante 2015 muestran un comportamiento particular: en líneas generales, el pH no cumple con la dependencia térmica, ya que se registran mayores valores en aguas más frías.

La variación espacial del pH dentro del embalse de Paso Severino es escasa. El cuerpo de agua muestra un pH homogéneo, con promedios muy similares entre estaciones y mostrando sólo diferencias en la amplitud del rango de variación. Este rango de variación se va acotando a medida que se interna en el embalse. A pesar de estas características el pH muestra una tendencia general al aumento dentro del embalse. Esta tendencia es contradictoria con la que se observa en el curso principal del río, donde se observa una tendencia al aumento.

El sistema cumplió con el estándar de calidad para esta variable, excepto en 1 ocasión que representa el 5 % de no cumplimiento para el pH, porcentaje similar al remarcado por De León & Hill (2015), de 7 %.

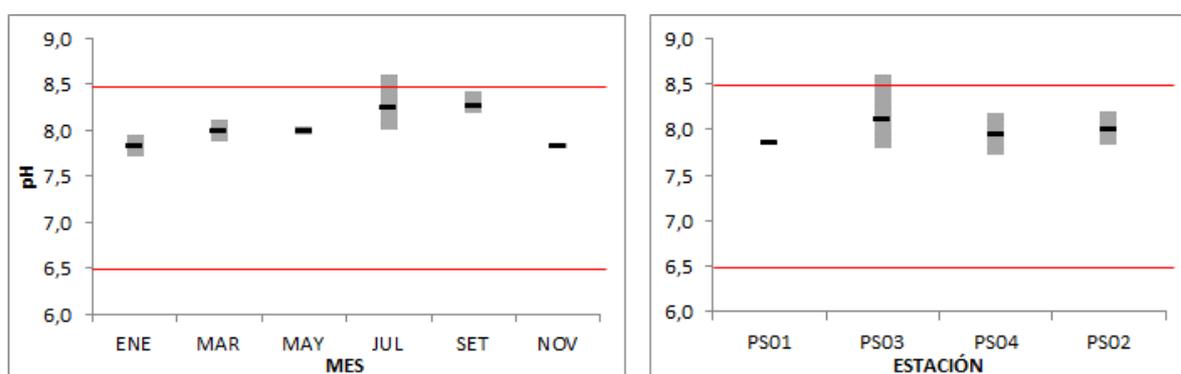


Figura 27: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del pH en el embalse de Paso Severino durante 2015. La línea roja indica el valor superior del estándar para el pH establecido en la legislación (6.5 – 8.5) para aguas naturales (Clase 3).

La concentración de Oxígeno Disuelto (OD) se situó entre un valor máximo de 9,07 mg/l (PS04 en setiembre) y un mínimo de 6,10 mg/l (PS03 en enero), con un promedio de 7,80 mg/l (Figura 28).

La distribución temporal de las concentraciones de OD durante 2015 muestra el ciclo marcado por mayores concentraciones en aguas más frías. En éstas también se observan los mayores rangos de variación, fundamentalmente en el mes de julio.

De León & Hill (2015) resaltan una tendencia a la disminución de la concentración de OD a lo largo del lustro precedente. Durante 2015 esta tendencia se invierte y, en las cuatro estaciones, se produce un leve aumento de promedio anual de concentración.

La distribución espacial del OD en el embalse de Paso Severino durante 2015 es homogénea. Tanto a nivel de promedios como de rangos de variación las cuatro estaciones muestran concentraciones de OD muy similares.

En el período considerado, la totalidad de los registros estuvieron por encima del valor mínimo que indica el estándar de calidad (5 mg/l), no registrándose ningún incumplimiento al mismo, lo que muestra muy buenas condiciones de oxigenación en la superficie de todo el embalse de Paso Severino.

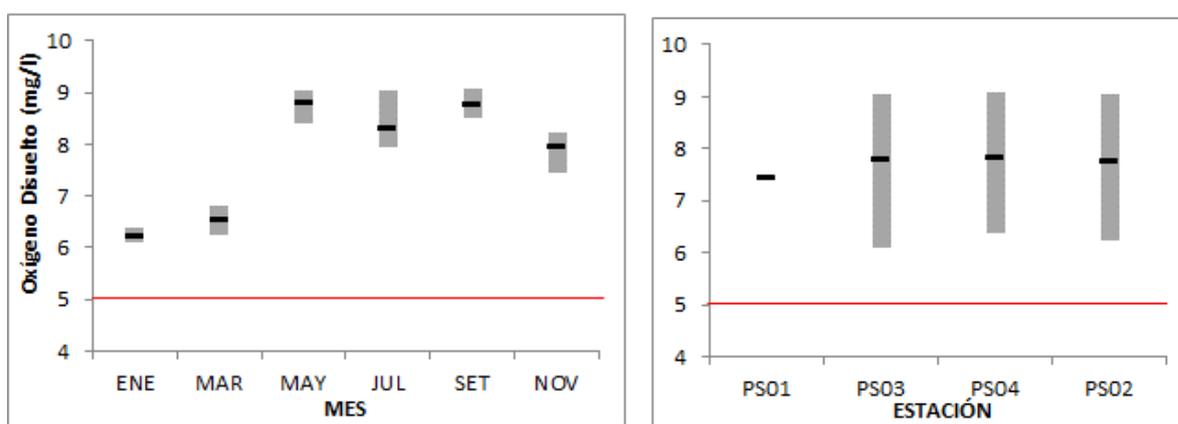


Figura 28: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del oxígeno disuelto en el embalse de Paso Severino durante 2015. La línea roja indica el valor del estándar para el oxígeno disuelto establecido en la legislación (5 mg/l) para aguas naturales (Clase 3).

La turbidez del agua del embalse es un parámetro muy significativo en la calidad del agua; al limitar la calidad de la luz que reciben las microalgas para realizar la fotosíntesis, ejerce control en su desarrollo. Este control incide, secundariamente, en el resto de la trama trófica del sistema, sustentado por las microalgas.

Durante 2015, la turbidez se ubicó entre un máximo de 29,0 NTU (PS04 en mayo) y un mínimo de 5,5 NTU (PS01 en noviembre), con un promedio anual de 19,8 NTU (Figura 29).

No se aprecia ningún patrón temporal de variación de la turbidez en el embalse; siendo ésta muy dependiente de la precipitación.

Según De León & Hill (2015), la estación PS01 es la que presenta valores menores de turbidez, afirmación que se confirma con los resultados de 2015. Para este período de observación, el resto del embalse se comporta en forma homogénea, tanto a nivel de promedios (1,8 NTU de diferencia máxima) como de rangos de variación (1 NTU de diferencia máxima).

Durante el monitoreo de 2015, el 100% de los registros de este parámetro cumple con el estándar de calidad (50 UNT).

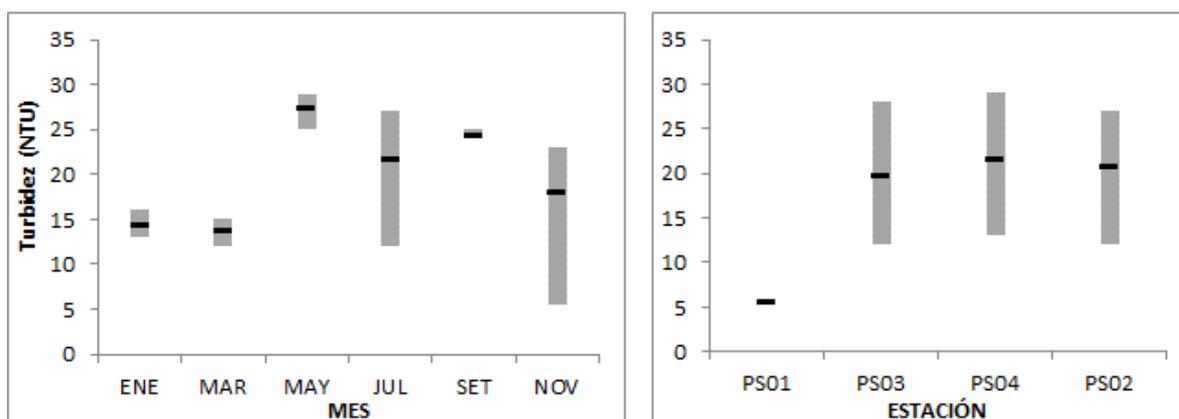


Figura 29: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la turbidez en el embalse de Paso Severino durante 2015.

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 un máximo de 20,2 $\mu\text{g/l}$ (PS03 en julio) y un mínimo de 0,3 $\mu\text{g/l}$ (PS04 en enero), con un promedio de 2,7 $\mu\text{g/l}$ (Figura 30).

La variación temporal de la clorofila es escasa, a excepción del punto de máxima concentración, en julio, que revelaría una situación puntual de bloom de fitoplancton. En los muestreos de setiembre y noviembre se observa un leve aumento en la concentración de clorofila a , que podría estar revelando el clásico pico de primavera.

Desde el punto de vista espacial, la concentración de clorofila a muestra una tendencia a la reducción a lo largo del embalse. Debido al Bloom de julio, que se observa sólo en la estación PS03, el promedio anual y los rangos de variación son mayores en esa estación.

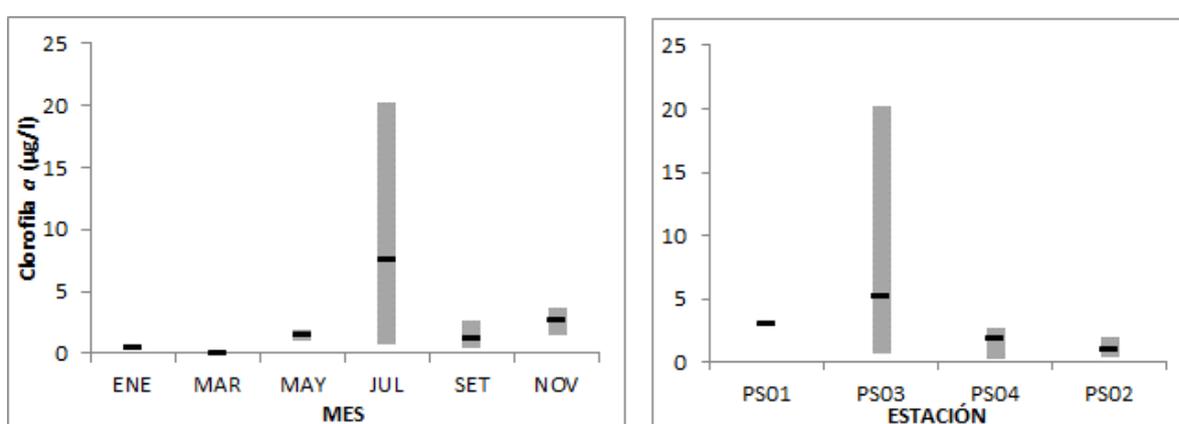


Figura 30: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la clorofila a en el embalse de Paso Severino durante 2015.

6.3.2. Nutrientes

El nitrato en el embalse de Paso Severino registró un valor máximo de 0,76 mg/l (PS02 en setiembre) y un mínimo de 0,26 mg/l (PS04 en marzo), con un promedio anual de 0,50 mg/l . Esta variable no muestra un

ciclo anual detectable, mientras que a nivel de variación espacial se observan valores más bajos en PS01 y homogeneidad en las otras tres estaciones del embalse, como ya había sido descrito por De León & Hill (2015). De acuerdo con la normativa actual y con la propuesta de modificación, las concentraciones de NO_3 en el embalse cumplen en un 100% (norma: $\leq 5 \text{ mg/l}$).

El nitrito no fue detectado por sobre los límites de la técnica en ninguna de las muestras tomadas durante 2015. Estos bajos valores implican el cumplimiento de la norma ($\leq 0,1 \text{ mg/l}$) en el 100 % de las muestras. El amonio libre fluctuó entre $0,008 \text{ mg/l}$ (PS02 en noviembre) y $0,0002 \text{ mg/l}$ en tres ocasiones (PS02 y PS04 en julio y PS03 en noviembre), con un promedio de $0,0009 \text{ mg/l}$.

Las concentraciones de nitrógeno total en el embalse de Paso Severino se ubicaron entre un máximo de $1,69 \text{ mg/l}$ (PS02 en setiembre) y un mínimo de $0,89 \text{ mg/l}$ (PS04 en marzo), con un promedio de $1,2 \text{ mg/l}$ (Figura 31).

No se observa un patrón de variación anual discernible en las aguas del embalse. Asimismo, la distribución espacial es homogénea en las cuatro estaciones, donde tanto las medias como los rangos de variación son similares.

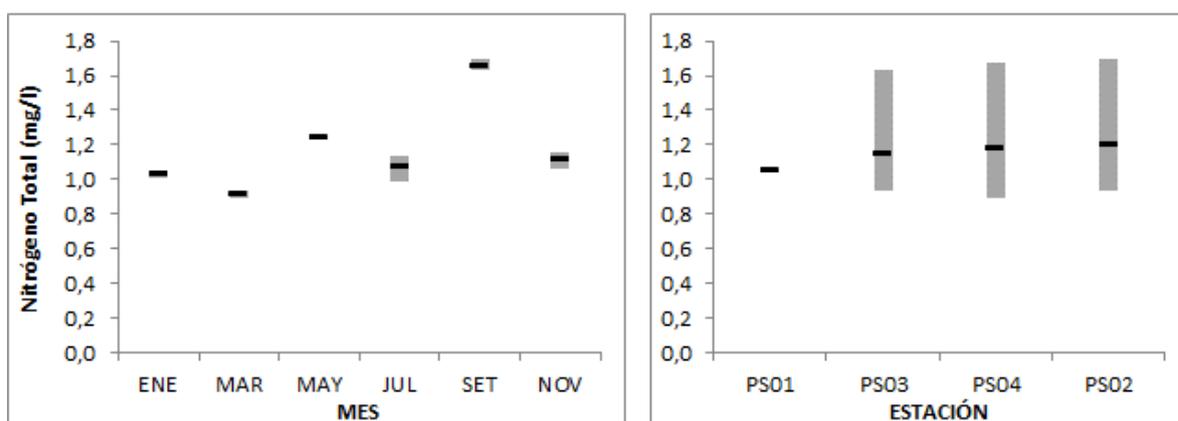


Figura 31: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del nitrógeno total en el embalse de Paso Severino durante 2015.

El fósforo total fue detectado en concentraciones situadas entre un máximo de $477 \mu\text{g/l}$ (PS04 en setiembre) y un mínimo de $233 \mu\text{g/l}$ (PS03 en julio), con un promedio de $379 \mu\text{g/l}$ (Figura 28).

Esta variable no mostró un patrón de variación anual ni tampoco heterogeneidad espacial entre las diferentes estaciones. Se observa, de todas formas, un promedio de concentración inferior en la estación de la cola del embalse (PS01). Las otras tres estaciones muestran promedios y rangos de variación muy similares durante todo el 2015.

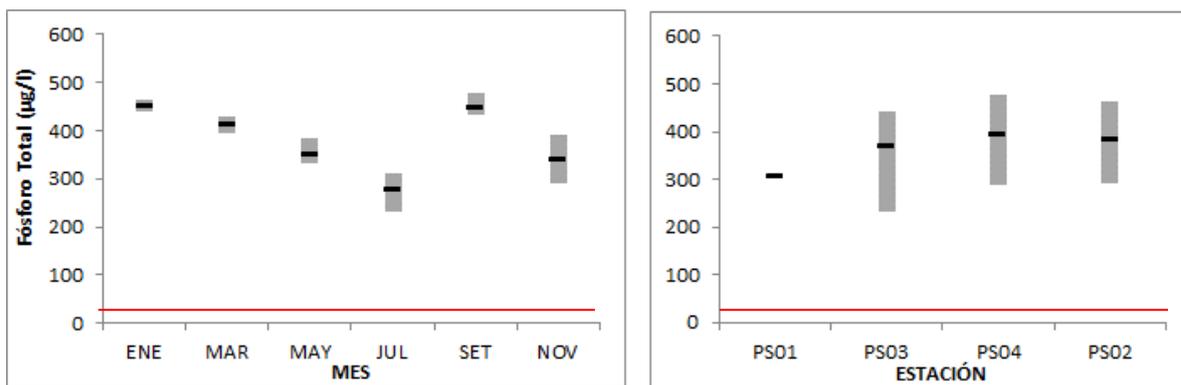


Figura 32: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del fósforo total en el embalse de Paso Severino durante 2015. La línea roja indica el valor del estándar para el fósforo total establecido en la legislación (0.025 mg/l) para aguas naturales (Clase 3).

Los niveles de fósforo total en el Embalse Paso Severino exceden largamente el valor del estándar en la totalidad de los registros. Se observan valores casi 20 veces superiores a este estándar.

6.3.3. Parámetros microbiológicos del agua

Los Coliformes Termotolerantes en el embalse de Paso Severino registraron densidades bajas, siendo la máxima de 1170 UFC/100 ml (PS01 en noviembre) y la mínima de 10 UFC/100 ml (en 10 ocasiones), mientras que el promedio se situó en 108 UFC/100 ml (Figura 33).

A lo largo de todo 2015 las abundancias de Coliformes termotolerantes fueron mínimas, a excepción del pico máximo producido en la estación PS01 en noviembre. Por tratarse este máximo de un solo dato, no es aceptable asumir mayores concentraciones en esta estación. Por los resultados de este mes de noviembre, podría inferirse un efecto de dilución de la concentración de coliformes en el cuerpo del embalse.

Las muy bajas densidades observadas indican que los coliformes termotolerantes se mantuvieron durante 2015 en valores dentro de los estándares de calidad que indica la legislación (2000 UFC/100 ml) en el 100 % de los casos.

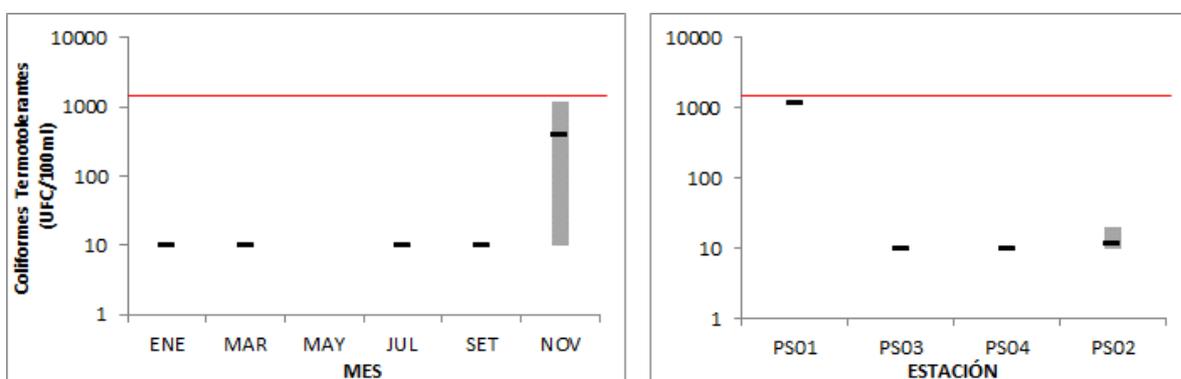


Figura 33: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de los coliformes termotolerantes en el embalse de Paso Severino durante 2015. La línea roja indica el valor del estándar para los coliformes termotolerantes establecido en la legislación (2000 UFC/100 ml) para aguas naturales (Clase 3).

6.3.4. Síntesis de la cuenca del río Santa Lucía Chico

De las variables estudiadas, tres de ellas cumplen con los estándares de calidad en el 100% de los registros. Estas son: oxígeno disuelto, nitratos y nitritos. La turbidez y los coliformes termotolerantes cumplieron en más de 90% en el curso principal del río y aumentaron el cumplimiento al 100% dentro del embalse. El pH cumplió en un porcentaje mayor al 70 % en el curso principal del río y este cumplimiento se elevó a más de 90 % en las estaciones del embalse. El fósforo total no cumplió con los niveles aceptados en ninguna de las muestras tomadas, de ahí que tenga un incumplimiento de 100 %. La DBO5 no fue muestreada en esta subcuenca.

Durante el 2015 la calidad de agua del río Santa Lucía Chico (incluyendo el embalse de Paso Severino), parece ser homogénea. Se cumple con la normativa en la mayor parte de las muestras tomadas. Porcentajes de incumplimiento son mejorados en la transición río-embalse, alcanzando 85 % de los valores que cumplen con la normativa. Sólo el fósforo total se aparta de la regla, incumpliendo en todos los casos con los valores prefijados.

El curso principal del río mostró mejores condiciones de calidad de agua en la cuenca alta, disminuyendo ésta hacia la entrada del embalse.

El embalse de Paso Severino muestra una calidad de agua mayormente homogénea (levemente inferior en la estación de la entrada (PS01) y, considerando los porcentajes de cumplimiento de los estándares de calidad, mejor que la calidad del curso del río.

Las variables no detalladas en esta descripción se muestran temporalmente estables en la cuenca y con valores bajos, no representando un riesgo potencial.

En líneas generales, la calidad de agua del río Santa Lucía Chico en toda su extensión es aceptable.

6.4. 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 34), incluye estaciones desde la cuenca alta hasta su desembocadura en el río Santa Lucía. El monitoreo de nivel 2, incluye una estación ubicada en el cauce del arroyo Cagancha (Figura 35), 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 y estos serán los primeros resultados posteriores a este cambio, permitiendo analizar si la medida fue beneficiosa para el sistema.

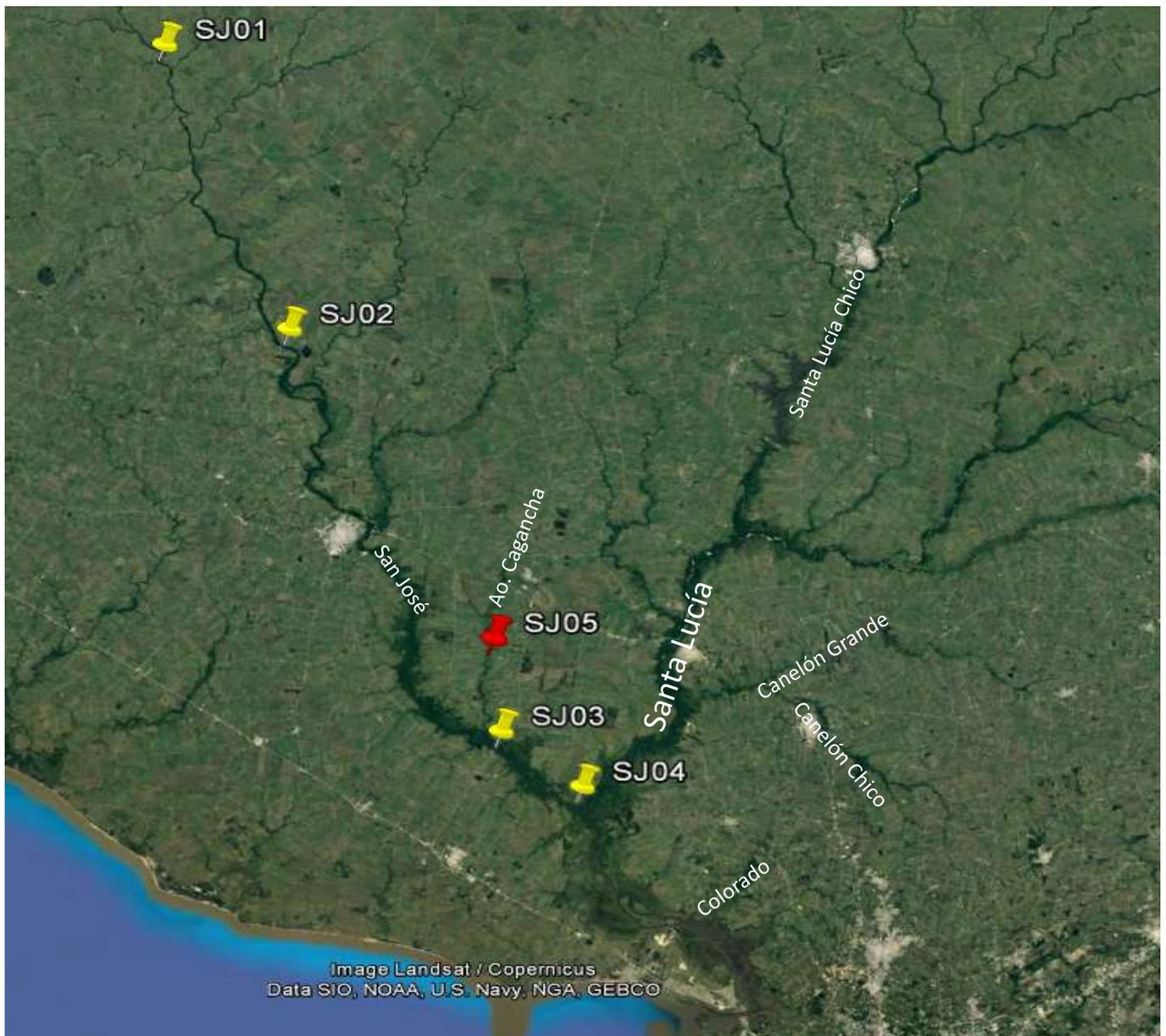


Figura 34. Subcuenca del río San José. Se indica la ubicación de las estaciones del monitoreo de Nivel 1 (SJ01, SJ02, SJ03, SJ04) en amarillo y de Nivel 2 (SJ05) en rojo.

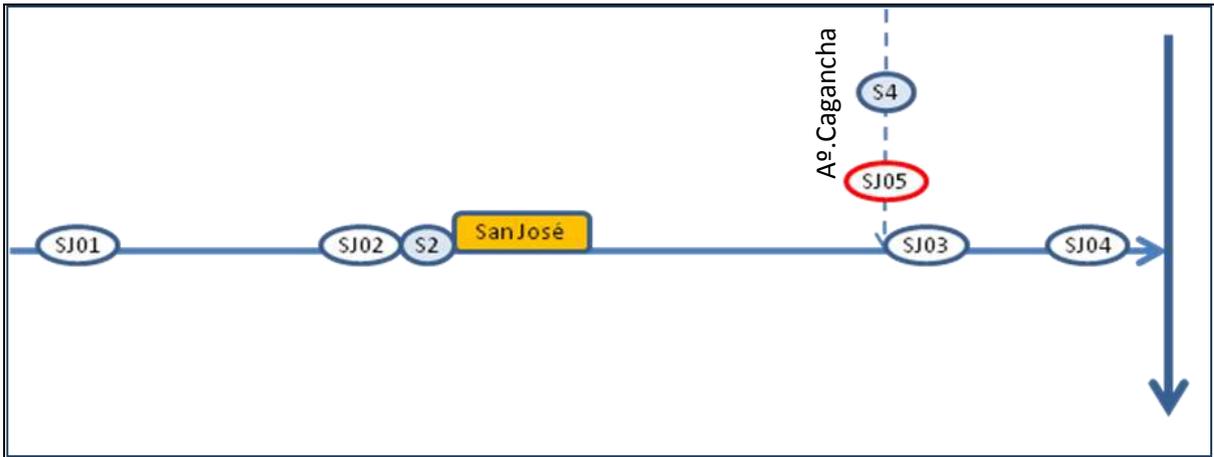


Figura 35. Esquema con la ubicación de las estaciones de monitoreo en la subcuenca del río San José indicando las correspondientes al nivel 1 (cauce principal) y el nivel 2 (arroyo Cagancha como receptor de vertidos industriales). Se distinguen las estaciones del Programa JICA-DINAMA (S2 y S4; no consideradas en este informe) y del Rediseño DINAMA (SJ01 a SJ05).

6.4.1. Parámetros físico-químicos del agua

La temperatura del río San José osciló entre valores extremos de 27,8 °C de máxima (SJ03 en marzo) y 8,8 °C de mínima (SJ05 en julio), con un promedio de 18,8 (Figura 36).

La variación temporal de la temperatura durante 2015 muestra el clásico ciclo estacional con máximos en verano y mínimos en invierno. La variación espacial es escasa; a pesar de la distancia entre estaciones esta variable es homogénea a lo largo de toda la cuenca. Se aprecia un promedio levemente inferior (0,7 °C) en la estación del Ao. Cagancha (SJ05).

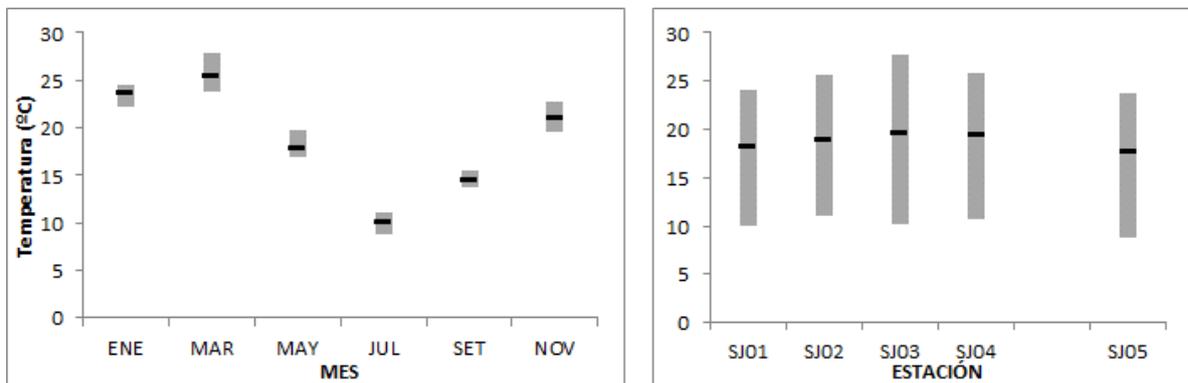


Figura 36: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la temperatura en el río San José durante 2015.

La conductividad del agua en la cuenca del río San José en 2015 se ubicó entre un valor máximo de 837 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (SJ05 en mayo) y un mínimo de 187 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (SJ01 en enero), con un promedio de 428 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 37).

No se observa un patrón de variación temporal definido durante el año de muestreo aunque existe una leve tendencia, contraria a lo esperado, a mayores conductividades en los meses fríos. Comparando los

resultados con los presentados por De León & Hill (2015), se aprecia un leve incremento de la conductividad con respecto al año precedente.

La distribución espacial de la conductividad muestra un aumento desde las nacientes hacia la desembocadura. Se destaca que las aguas de la estación SJ05 (Ao. Cagancha), tienen una marca de conductividad mayor que las del río San José. A pesar del aumento de conductividad hacia la desembocadura, se observa una conductividad levemente superior en la estación SL03 con respecto a SJ04. Probablemente la conductividad de SJ03 sea influenciada por las aguas del Ao. Cagancha, que desemboca en las cercanías (aguas arriba), con una conductividad mayor.

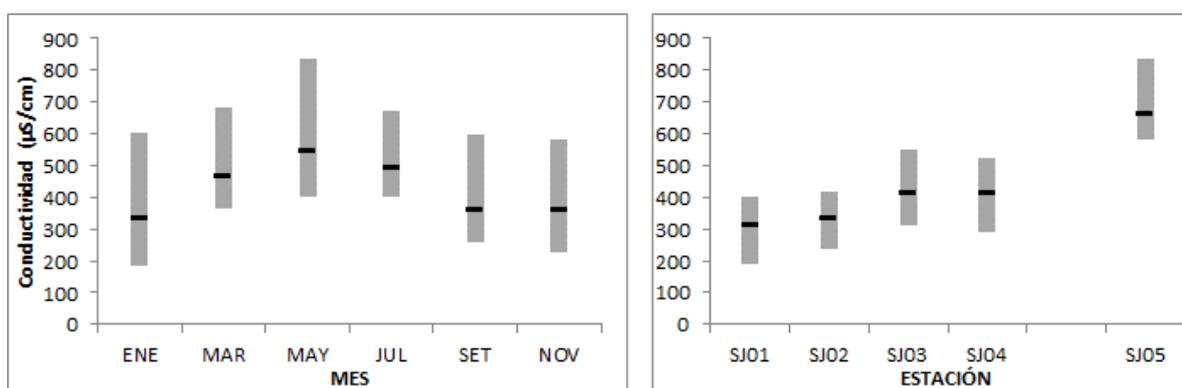


Figura 37: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la conductividad en el río San José durante 2015.

Los valores de pH en la subcuenca del río San José durante 2015 fluctuaron entre 8,6 (SJ04 en julio) y 7,6 (SJ04 en noviembre), con un promedio de 8,1 (Figura 38).

La variación temporal de pH durante 2015 muestra claramente el ciclo de menores pH en aguas más calientes, fenómeno ampliamente descrito en la bibliografía.

El pH se distribuye en forma homogénea en toda la subcuenca del río San José, con promedios similares en las cinco estaciones, aunque en las estaciones SJ03 y SJ04 el rango de variación es un poco más amplio que en el resto de las estaciones. De acuerdo al Decreto 253/79, el rango de pH debe oscilar entre 6,5 y 8,5 por lo que el 92% de las muestras cumplieron con este estándar de calidad.

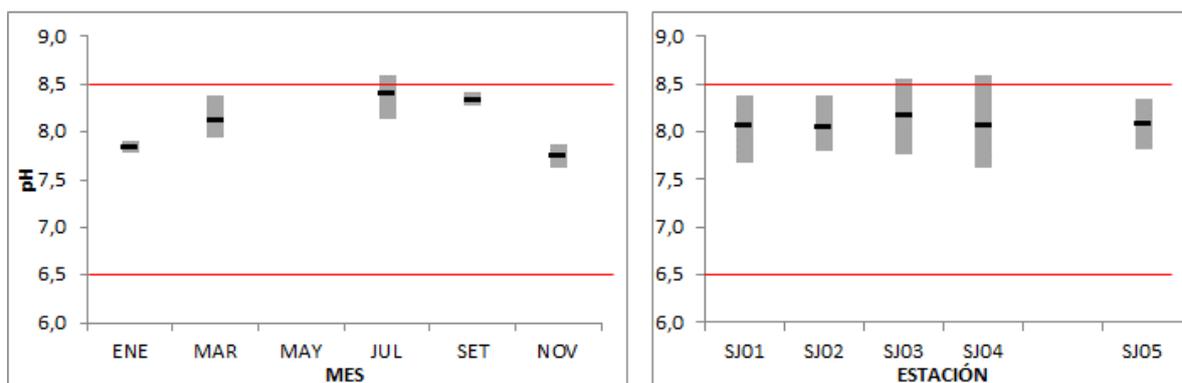


Figura 38: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del pH en el río San José durante 2015. La línea roja indica el valor superior del estándar para el pH establecido en la legislación (6.5 – 8.5) para aguas naturales (Clase 3).

La concentración de oxígeno disuelto se ubicó entre valores extremos de 10,91 mg/l de máxima (SJ04 en julio) y 3,85 mg/l de mínima (SJ05 en marzo), con un promedio de 7,30 mg/l (Figura 39).

La fluctuación temporal de esta variable muestra el clásico ciclo con mayores concentraciones en aguas más frías. De esta forma, durante los meses invernales la oxigenación del río San José es excelente (en toda la subcuenca), pero en los meses estivales ésta desciende a valores de riesgo en la cuenca alta (SJ01 y SJ02) y en el Ao. Cagancha (SJ05).

Espacialmente, se observa una tendencia al aumento de la concentración del OD a lo largo de la cuenca, registrándose el mayor promedio y el rango de variación más amplio en SJ04. Resulta llamativo que, a pesar de las diferencias entre SJ01 (curso principal del río) y SJ05 (Ao. Cagancha, impactado por una industria láctica), las variaciones del OD entre ambas estaciones son muy similares. En las dos se registran los mismos promedios y rangos de variación, con la única diferencia de que en SJ01 las concentraciones de OD son levemente superiores. Es esperable encontrar bajas concentraciones de OD en un sitio con alta influencia antrópica; no así en un sitio en el que no existen aportes directos. Estos resultados concuerdan con los presentados por De León & Hill (2015), que también observaron menores concentraciones en estas dos estaciones.

Si se considera el valor guía establecido en el decreto 253/79, sólo el 7% de los valores no cumplieron con la norma de ≥ 5 mg/l (uno en SJ01 y el otro en SJ05). Si se consideran valores potencialmente “de riesgo”, por debajo de 6 mg/l, este porcentaje aumenta al 27%.

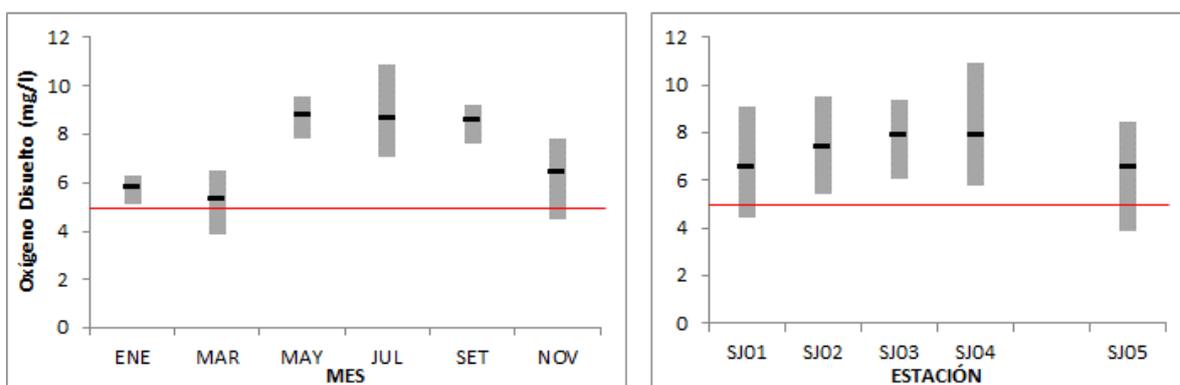


Figura 39: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del oxígeno disuelto en el río San José durante 2015. La línea roja indica el valor del estándar para el pH establecido en la legislación (> 5 mg/l) para aguas naturales (Clase 3).

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) mostró valores ubicados entre un máximo de 3,0 mg/l (SJ03 en marzo) y un mínimo de 0,5 mg/l en tres ocasiones (SJ01, SJ03 y SJ05 en julio), valores que coinciden con el límite de la técnica. El promedio anual fue de 1,5 mg/l (Figura 40)

No se observa un ciclo de variación temporal definido a lo largo del año de muestreo, pero si se percibe la –esperable– tendencia a mostrar valores menores en aguas más frías.

La distribución espacial de las concentraciones de DBO₅ es homogénea en toda la cuenca. Los promedios son muy similares en las cinco estaciones, así como los rangos de variación (a excepción de SJ03 y SJ04, máximo y mínimo respectivamente).

En las cinco estaciones de esta subcuenca se observa un aumento en la DBO₅ promedio con respecto a los datos del año precedente, aportados por De León & Hill (2015). Cabe resaltar los valores de DBO₅ determinados para la estación SJ01, muy altos si se considera que es una región sin aportes antrópicos directos.

En esta subcuenca, el 100 % de los valores hallados cumplió con el valor estándar fijado en el decreto 253/79 (≥ 10 mg/l); siendo el valor máximo registrado tres veces inferior a este valor.

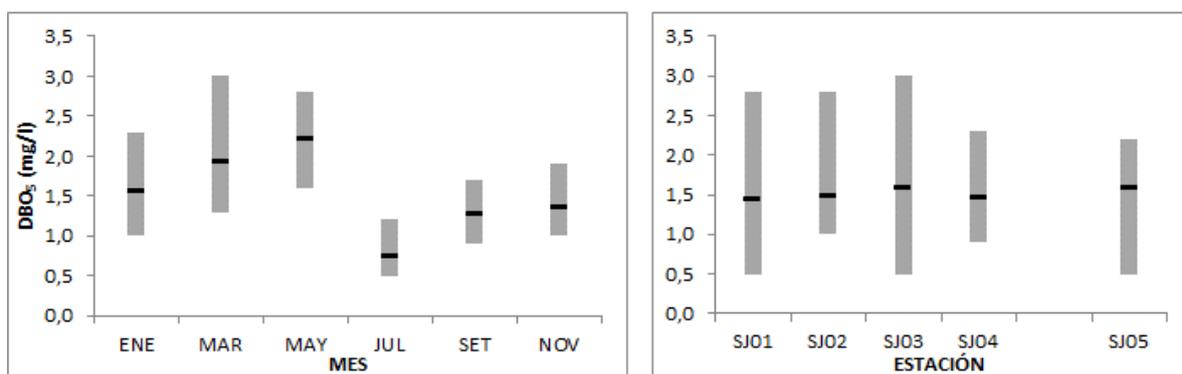


Figura 40: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la DBO₅ en el río San José durante 2015.

La turbidez del río san José fluctuó entre un máximo de 26,0 NTU (SJ03 en noviembre) y un mínimo de 1,6 NTU (SJ02 en mayo), con un promedio de 11,6 NTU (Figura 41).

La tendencia temporal de la turbidez es a mostrar valores mayores en los meses cálidos. La distribución espacial muestra el promedio más alto en SJ04, aunque el rango de variación más grande se observa en SJ01 SJ03, que mostraron valores generales casi idénticos: mismos promedios, mismos valores máximos y sólo 2 décimas de diferencia en los valores mínimos. La estación SJ05 es la que reporta el menor promedio y el menor rango de variación, contrariamente a lo reportado por De León & Hill (2015) que observaban los máximos valores de turbidez en esta estación.

El 100 % de los valores de turbidez del río San José cumplió con el estándar fijado en el decreto (50 NTU).

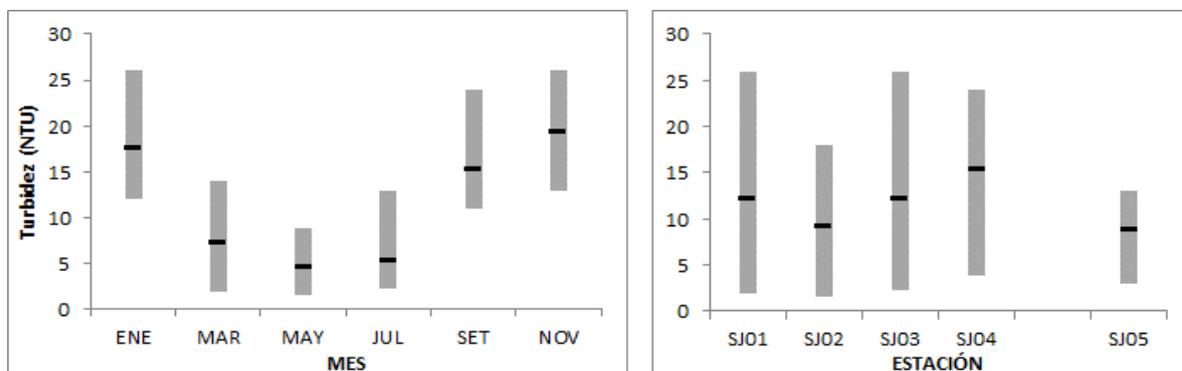


Figura 41: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la turbidez en el río San José durante 2015.

6.4.2. Nutrientes

Las concentraciones de NO_3 en el río San José durante 2015 se ubicaron entre un valor máximo de 1,81 mg/l (SJ03 en mayo) y un mínimo de 0,02 mg/l en tres oportunidades (SJ01 y SJ02 en mayo, y SJ02 en julio), mientras que el promedio fue de 0,60 mg/l.

Esta variable no muestra un ciclo de variación temporal definido. Especialmente se observan las máximas concentraciones en la estación SJ03 y mínimas en las estaciones extremas. Los niveles de NO_3 estuvieron siempre dentro del estándar que establece el Decreto 253/79 (≤ 5 mg/l).

El nitrito muestra valores no detectables durante todo el período de monitoreo. Por esta razón, todas las muestras de NO_2 cumplieron con el valor guía propuesto, de 0,1 mg/l (GESTA AGUA, 2008), ya que el decreto 253/79 no reglamenta esta variable

El rango de concentración de amonio libre fue de 0,014 mg/l de máximo (SJ03 en julio) a 0,0002 mg/l de mínimo en 3 oportunidades (SJ01 en julio y SJ01 y SJ04 en noviembre), con un promedio de 0,0014 mg/l. El NT se situó en concentraciones de entre 2,19 mg/l de máximo (SJ03 en mayo) y 0,39 mg/l de mínimo (SJ01 en julio), con un promedio de 1,2 mg/l (Figura 42).

La concentración del NT es homogénea en todo el ciclo anual. No existiendo diferencias notorias entre los promedios de cada campaña, sólo se puede marcar rangos de variación menos amplios en los meses cálidos. La distribución espacial de las concentraciones de NT marca las mayores en la estación SJ03, a diferencia de lo reportado por De León & Hill (2015) que reportaban mayores concentraciones en SJ05.

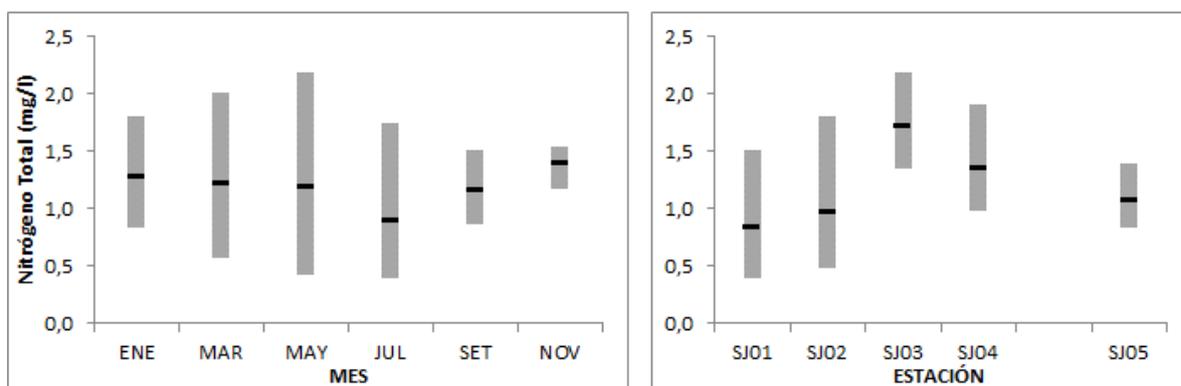


Figura 42: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del nitrógeno total en el río San José durante 2015.

Las concentraciones de PT en la subcuenca del río San José durante 2015 se caracterizaron por un máximo de 2040 $\mu\text{g/l}$ (SJ05 en marzo) y un mínimo de 84 $\mu\text{g/l}$ (SJ02 en setiembre), con un promedio de 409 $\mu\text{g/l}$ (Figura 38)

La concentración de PT es –promediamente- homogénea en el período considerado, no mostrando un ciclo de variación anual determinado. La distribución espacial marca las mayores concentraciones en SJ05 y secundariamente en SJ03 (influenciada directamente por la estación precedente).

Según la legislación vigente, la concentración de este nutriente debe ser inferior a 25 $\mu\text{g/l}$ en cursos de agua natural. En la propuesta de actualización del decreto se propone como valor guía 70 $\mu\text{g/l}$ de

concentración máxima de PT. Incluso considerando este último valor el PT incumple con los valores determinados en el 100 % de los casos.

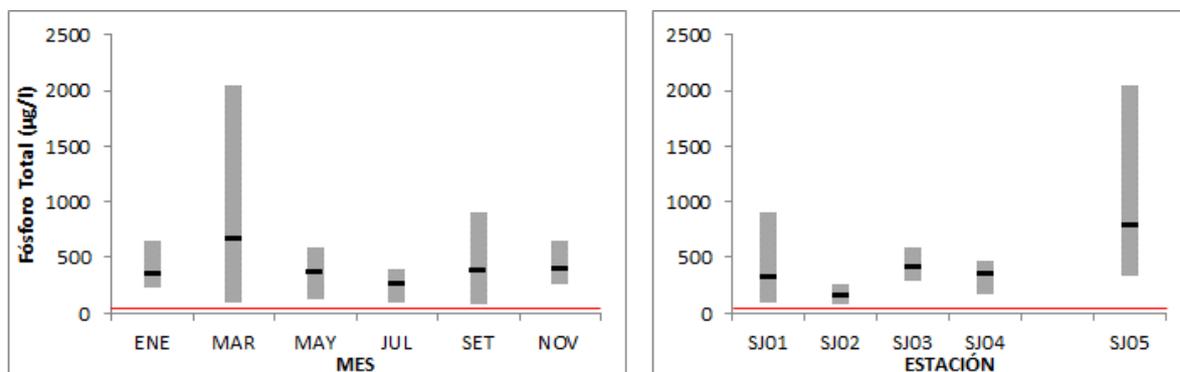


Figura 43: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del fósforo total en el río San José durante 2015

6.4.3. Parámetros microbiológicos del agua

Por problemas logísticos sólo se tomaron muestras de coliformes termotolerantes en las tres primeras campañas (enero, marzo y mayo).

Los coliformes termotolerantes presentaron bajas densidades en toda la subcuenca durante 2015, mostrando un máximo de 800 UFC/100ml (SJ05 en marzo) y un mínimo de 210 UFC/100ml (SJ02 en enero), con un promedio de 597 UFC/100ml (Figura 39)

Siendo resultados provenientes de sólo tres campañas (en el primer semestre del año), no es posible analizar un eventual ciclo de variación temporal de los coliformes termotolerantes en el río San José; de todas formas, en esas tres campañas los valores muestran densidades uniformes. Espacialmente se observan bajas abundancias en la cuenca alta, estación SJ02 (no se toman muestras de coliformes termotolerantes en la estación SJ01) y cantidades similares en las estaciones de la cuenca baja (SJ03 y SJ04) y el Ao. Cagancha (SJ05). Los mayores valores se observan en el Ao. Cagancha (SJ05), con un rango de variación muy acotado. SJ03 y SJ04 muestran promedios muy similares, siendo el rango de variación de las densidades más amplio en SJ04, a pesar de encontrarse situada en una zona sin influencia antrópica (o ganadera) directa.

Las bajas abundancias de coliformes termotolerantes registradas en este período representan un cumplimiento del valor estándar del decreto 253 (2000 UFC/100ml) en el 100 % de las muestras analizadas.

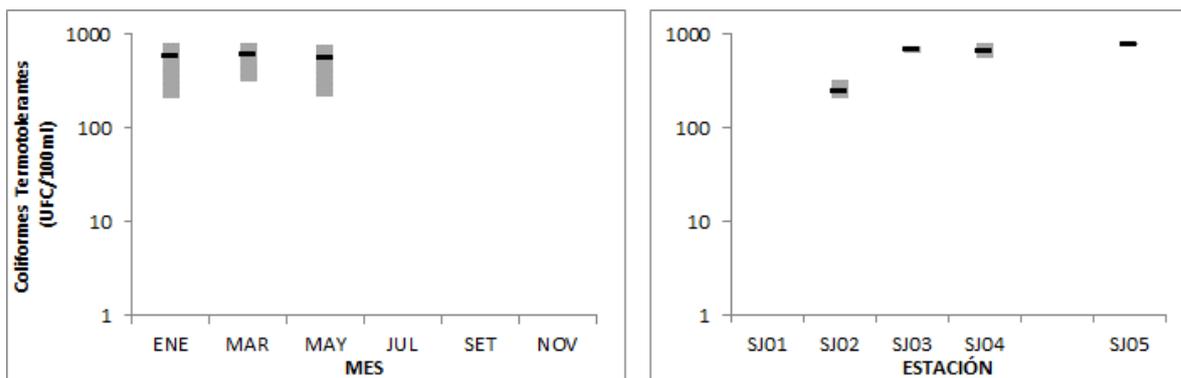


Figura 44: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de los coliformes termotolerantes en el río San José durante 2015.

6.4.4. Síntesis Río San José

De las variables estudiadas, cinco de ellas cumplen con los estándares de calidad en el 100% de los registros. Estas son: DBO₅, turbidez, nitratos, nitritos y coliformes termotolerantes. El pH cumplió en un porcentaje mayor al 90 % en el curso principal del río San José y un 100 % en el Ao. Cagancha. El oxígeno disuelto cumplió con la norma en el 93 % de las muestras recogidas. El fósforo total no cumplió con los niveles aceptados en ninguna de las muestras tomadas, de ahí que tenga un incumplimiento de 100 %. La DBO₅ no fue muestreada en esta subcuenca.

Durante el 2015 la calidad de agua del río San José, parece ser homogénea. Se cumple con la normativa en la mayor parte de las muestras tomadas. Sólo el fósforo total se aparta de la regla, incumpliendo en todos los casos con los valores prefijados.

El curso principal del río mostró mejores condiciones de calidad de agua en la cuenca alta, disminuyendo ésta hacia la entrada del embalse.

Los valores de OD y DBO₅ observados en la estación SJ01 ponen un llamado de atención sobre este punto de muestreo.

Las variables no detalladas en esta descripción se muestran temporalmente estables en la cuenca y con valores bajos, no representando un riesgo potencial.

En líneas generales, la calidad de agua del río San José en toda su extensión es regular. En su tributario, el Ao. Cagancha, la misma es mala.

6.5. 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 45). En el esquema de la Figura 46 se ordena en el espacio la secuencia de estaciones. A los efectos de este informe (y subsiguientes) se elimina la denominación de estación CA03=CG02 la cual se transforma en CG02. De esta forma, las subcuencas quedan descritas por tres estaciones cada una: Canelón Grande, CG01, CG02 y CG03; Canelón Chico, CA01, CA02 y CA04. A su vez, la subcuenca del Canelón grande está representada por una estación fluvial (CG01) y dos estaciones de embalse (CG02 y CG03).

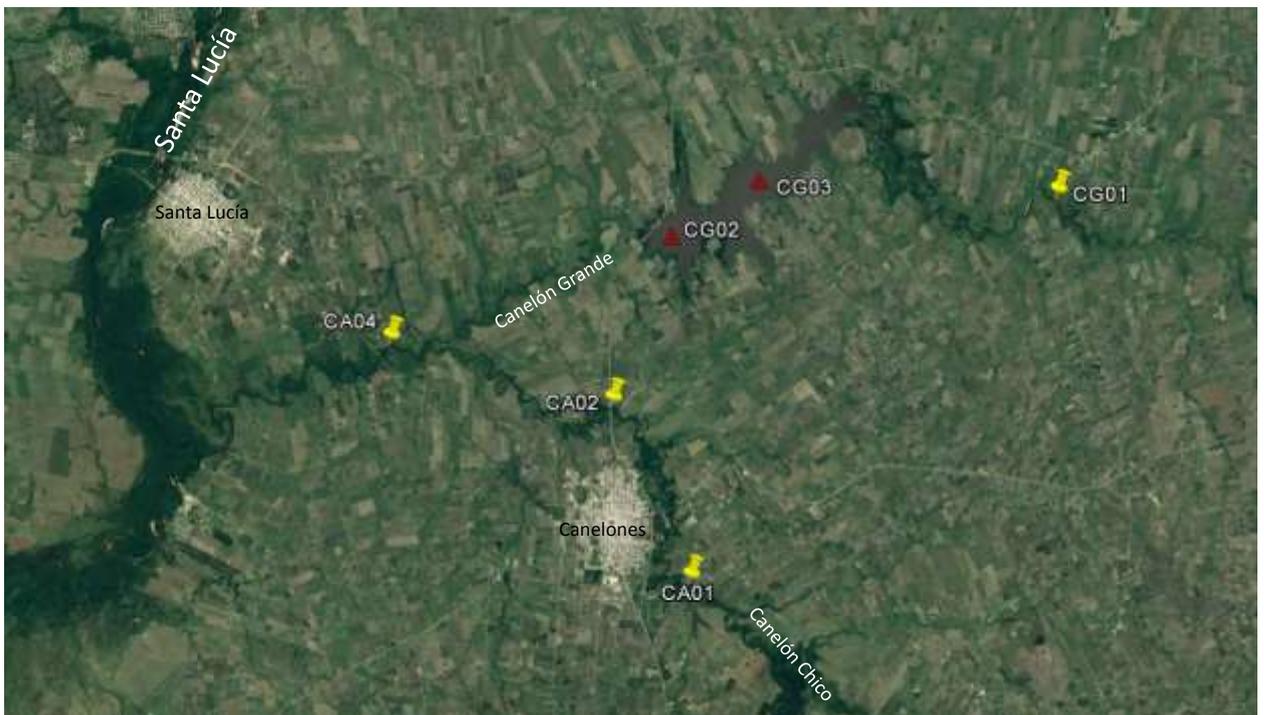


Figura 451. Subcuenca del sistema Arroyos Canelón Grande y Canelón Chico. Se indica la ubicación de las estaciones del monitoreo de Nivel 1 en el cauce central (CA01, CA02, CA04 y CG01) y de Nivel 3 en el cuerpo del embalse (CG02 y CG03) en triángulo rojo.

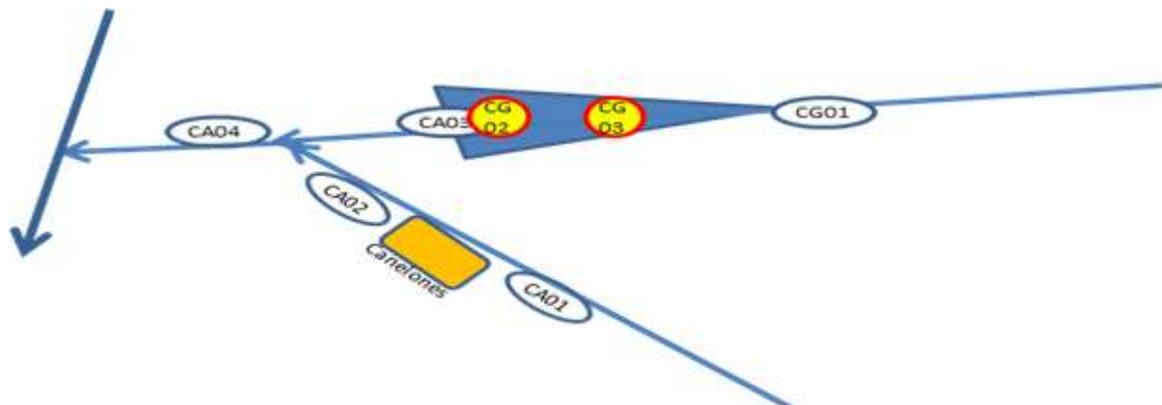


Figura 46. Esquema con la ubicación de las estaciones de monitoreo en la subcuenca de los Arroyos Canelón Grande y Chico indicando las correspondientes al nivel 1 (cauce principal) y el nivel 3 (embalse).

6.5.1. Parámetros físico-químicos

La temperatura del agua en el Ao. Canelón Grande fluctuó entre un máximo de 25,8 °C (CG02 en marzo) y un mínimo de 10,0 °C (CG03 en julio), con un promedio de 18,8 °C (Figura 47). En el Canelón Chico estos extremos fueron un máximo de 24,0 °C (CA01 en marzo) y un mínimo de 8,4 °C (CA02 en julio), con un promedio de 18,1 °C (Figura 48).

La variación temporal de la temperatura es análoga en ambas subcuencas, con los –esperados- valores directamente dependientes de la temperatura atmosférica.

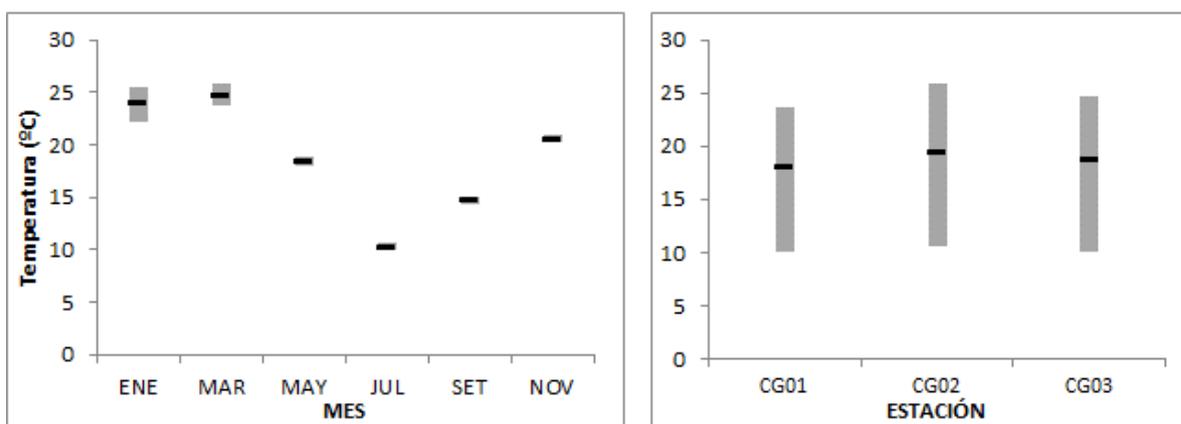


Figura 47: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la temperatura en el Ao. Canelón Grande durante 2015.

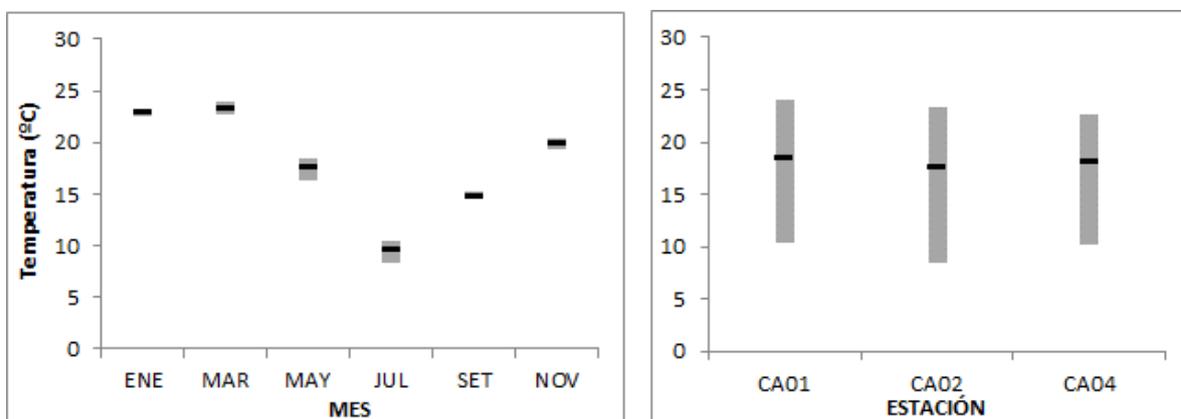


Figura 48: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la temperatura en el Ao. Canelón Chico durante 2015.

Especialmente, se observan temperaturas más elevadas en aguas del embalse con respecto a las de los cursos principales de ambos arroyos.

La conductividad en el Ao. Canelón Grande se ubicó entre un máximo de 982 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (CG01 en marzo) y un mínimo de 154 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (en noviembre), presentando un promedio de 428 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 49). En el

Canelón Chico la conductividad máxima registrada fue de 1440 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (CA02 en mayo) y la mínima de 73 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (CA01 en marzo), con un promedio de 701 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 50).

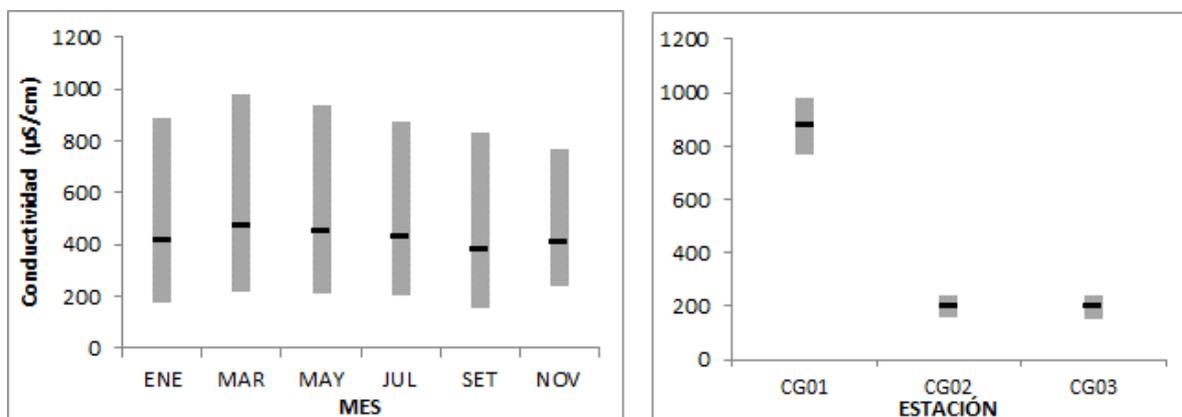


Figura 49: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la conductividad en el Ao. Canelón Grande durante 2015.

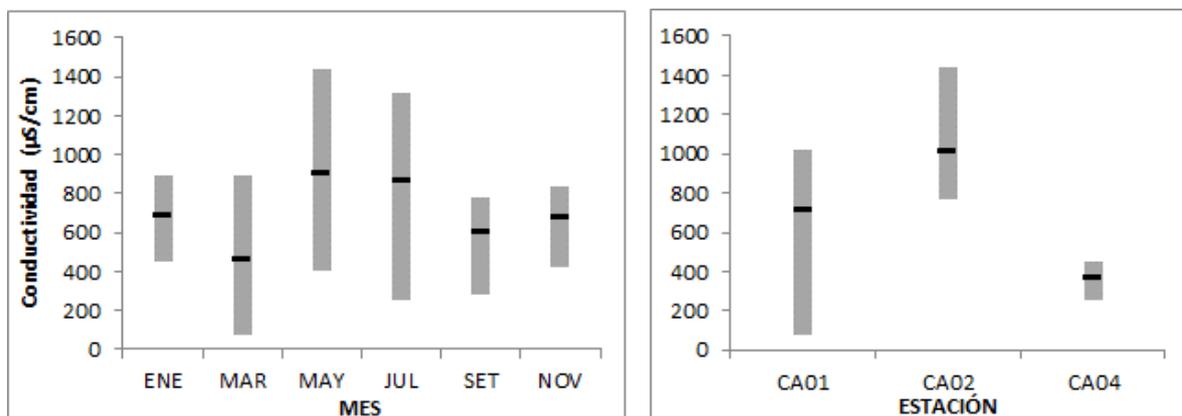


Figura 50: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la conductividad en el Ao. Canelón Chico durante 2015.

No se observa una variación temporal definida en ninguna de ambas subcuencas en el ciclo anual analizado.

Especialmente se confirma lo reportado por De León & Hill (2015): las estaciones de cabecera (CA01 y CG01) de cada subcuenca muestran valores altos de conductividad. En la estación CA02, del Canelón Chico (aguas abajo de la ciudad de Canelones) se registraron los mayores valores y en las estaciones CG02 y CG03, en el embalse de Canelón Grande, se registraron los menores. Asimismo, se confirma la fuerte disminución de la conductividad en CA04 (ubicada aguas abajo de la confluencia de los dos sistemas), atribuida por éstas al efecto diluyente del embalse.

El pH del Ao. Canelón Grande se caracterizó por presentar valores entre un máximo de 8,48 (CG01 en setiembre) y un mínimo de 7,74 (CG01 en noviembre), con un promedio de 8,09 (Figura 51). Las mediciones de pH en el Ao. Canelón Chico fluctuaron entre un máximo de 8,44 (CA04 en setiembre) y un mínimo de 7,39 (CA02 en marzo), con un promedio de 7,90 (Figura 52).

Las dos subcuencas muestran el comportamiento habitual; valores mayores en aguas más frías.

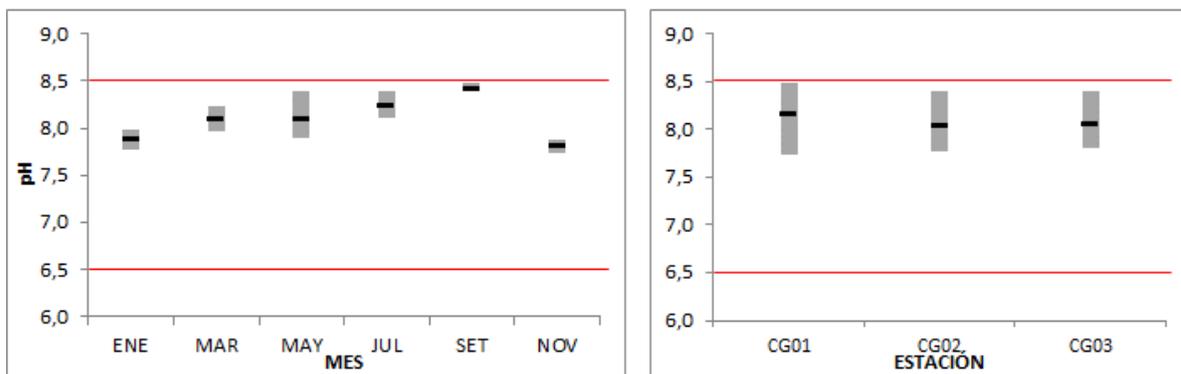


Figura 51: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del pH en el Ao. Canelón Grande durante 2015. La línea roja marca el valor superior del estándar fijado en el decreto 253.

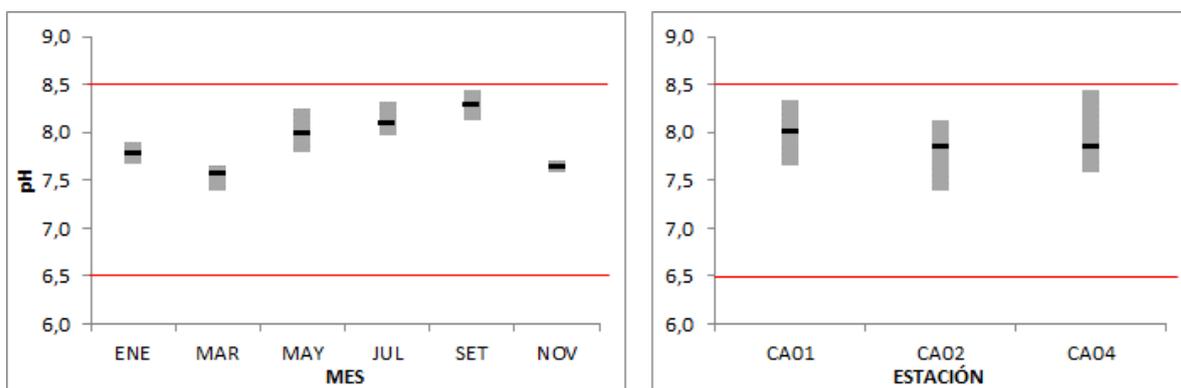


Figura 52: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del pH en el Ao. Canelón Chico durante 2015. La línea roja marca el valor superior del estándar fijado en el decreto 253.

En ambas subcuencas existe un gradiente de concentración negativo desde las nacientes hacia la desembocadura. Entre ellas, las concentraciones de pH son más elevadas en la cuenca del Ao. Canelón Grande.

Durante 2015 no se produjeron incumplimientos de la norma en ninguna de las dos subcuencas. Sólo se observó un dato muy cercano en la estación CG01, pero el 100 % de los datos cumplió con la norma establecida.

El OD del Ao. Canelón Grande se ubicó en valores entre un máximo de 9,6 mg/l (CG03 en setiembre) y un mínimo de 3,5 mg/l (CG01 en noviembre), con un promedio de 7,4 mg/l (Figura 53). En el Ao. Canelón Chico el máximo de OD observado fue de 9,1 mg/l (CA01 en setiembre) y el mínimo de 1,4 mg/l (CA02 en julio), con un promedio anual de 4,8 mg/l (Figura 49).

En ambas subcuencas se observa el ciclo anual caracterizado por mayores concentraciones en aguas frías. La distribución espacial del OD en el Ao. Canelón Grande muestra diferencias notorias entre las estaciones: las dos estaciones del embalse tienen concentraciones promedio similares entre si y muy superiores a la concentración de la estación fluvial. A su vez, estas dos estaciones se muestran más estables en el tiempo, con rangos de variación inferiores a la estación del río. En esta última, en tres

ocasiones se reportaron niveles de OD por debajo del estándar. En el Ao. Canelón Chico las tres estaciones muestran comportamientos bien diferentes: la mayor concentración se observa en CA01, la más cercana a las nacientes, y la menor concentración en CA02, debajo de la ciudad de Canelones. En las estaciones extremas (CA01 y CA04) se registraron tres valores por debajo del estándar en cada una, mientras que en CA02 todas las medidas fueron inferiores al estándar.

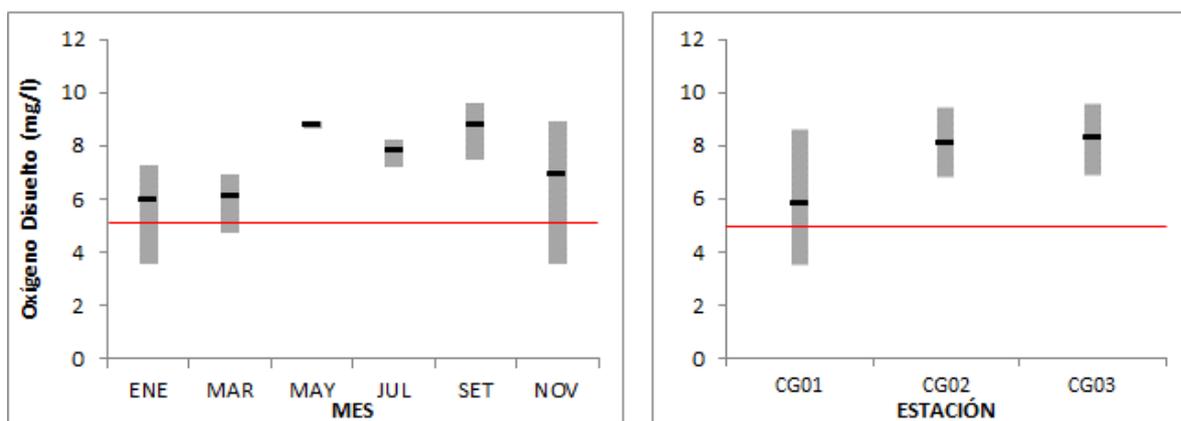


Figura 53: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del oxígeno disuelto en el Ao. Canelón Grande durante 2015. La línea roja marca el valor estándar fijado en el decreto 253.

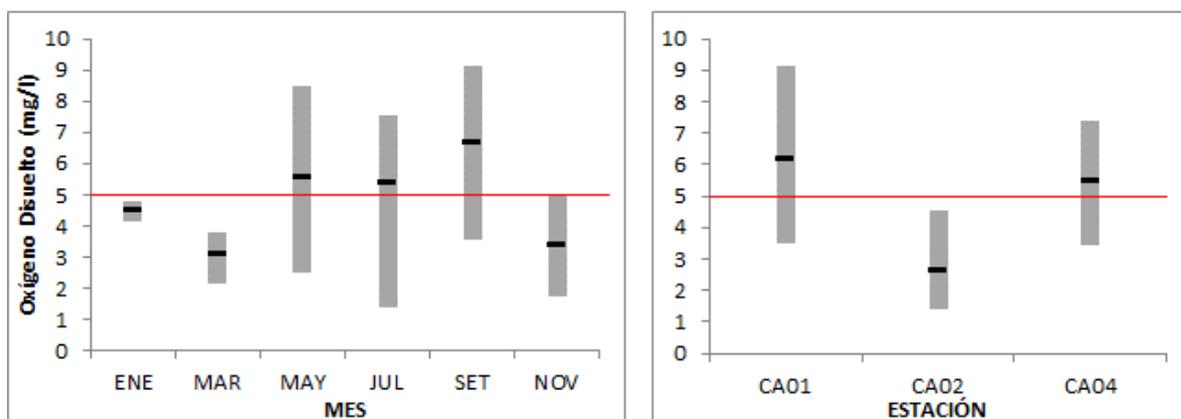


Figura 54: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del oxígeno disuelto en el Ao. Canelón Chico durante 2015. La línea roja marca el valor estándar fijado en el decreto 253.

Teniendo en cuenta que el estándar de calidad establece que la concentración de OD debe ser ≥ 5 mg/l, este sistema se ve comprometido (a seriamente comprometido) en su calidad. La frecuencia de incumplimiento del estándar fue de 47% en todo el sistema “Canelón”; particularmente, 17 % para el Ao. Canelón Grande (todos los incumplimientos en la estación fluvial) y 67 % para el Canelón Chico (con 100 %) de incumplimiento en la estación CA02).

La DBO_5 se presentó, en toda la subcuenca por debajo de los límites de la técnica. En particular, 32/36 datos son registrados como <LD (5 mg/l) y los cuatro restantes como <LC (10 mg/l).

Siendo ≤ 10 mg/l el valor guía establecido en el decreto 253/79, se infiere que el cumplimiento del decreto fue del 100 % de las muestras. Sin embargo se destaca que se hace necesaria una afinación/estandarización de la técnica. Los análisis de DBO_5 se realizan en la IMC. Los resultados de esta técnica no permiten tomar medidas preventivas, ya que al ser cuantificada la DBO_5 ya estaría superando el valor del estándar. Es sabido que la resolución de esa técnica puede ser más precisa. Es necesario mejorar esa precisión.

La turbidez del Ao. Canelón Grande se situó entre un máximo de 140,0 NTU (CG03 en julio) y un mínimo de 1,0 NTU (CG01 en marzo), con un promedio de 49,0 NTU (Figura 55). En el Canelón Chico se registró un máximo de 130,0 NTU (CO04 en julio) y un mínimo de 1,7 (CA02 en marzo), con un promedio de 25,0 NTU (Figura 56).

No se observa un patrón de variación temporal en ninguna de las dos subcuencas.

Especialmente se observa un aumento de la turbidez desde las nacientes hacia la desembocadura en ambas subcuencas. Los valores registrados en CA04 son muy similares a los que se observan en las dos estaciones del embalse del canelón (los más altos, y similares entre sí), lo que muestra la gran influencia que tienen esas aguas en dicha estación.

De los 36 registros de turbidez que se colectaron durante 2015 en la subcuenca "Canelón", el 22 % de ellos no cumplió con la norma del decreto 253 (50 NTU). El 17 % en la subcuenca del Canelón Grande y el 6 % en la cuenca del Canelón Chico. En relación a cada subcuenca en particular, en el Canelón Grande se produce un 33 % de incumplimiento (6/18 medidas), mientras que en el Canelón Chico el incumplimiento es del 11 % (2/18 medidas).

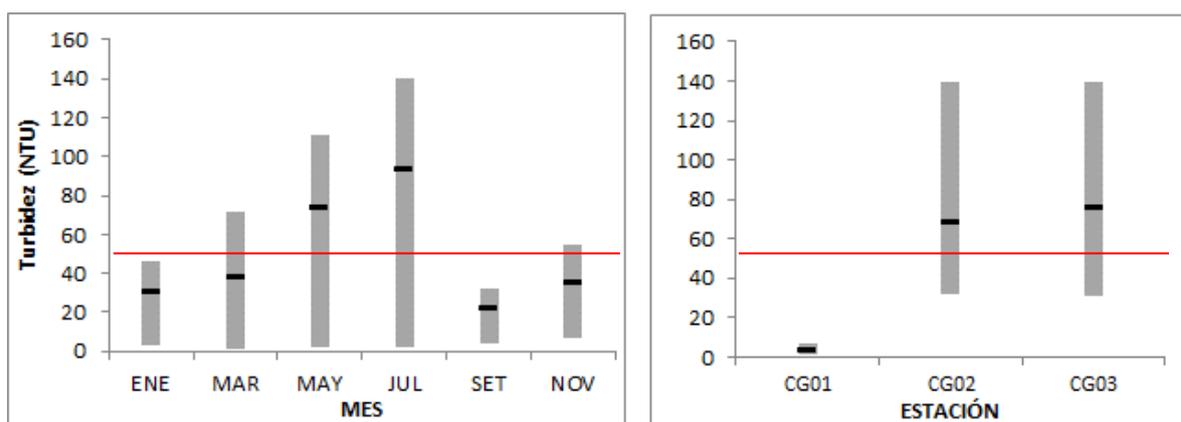


Figura 55: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del oxígeno disuelto en el Ao. Canelón Grande durante 2015. La línea roja marca el valor estándar fijado en el decreto 253.

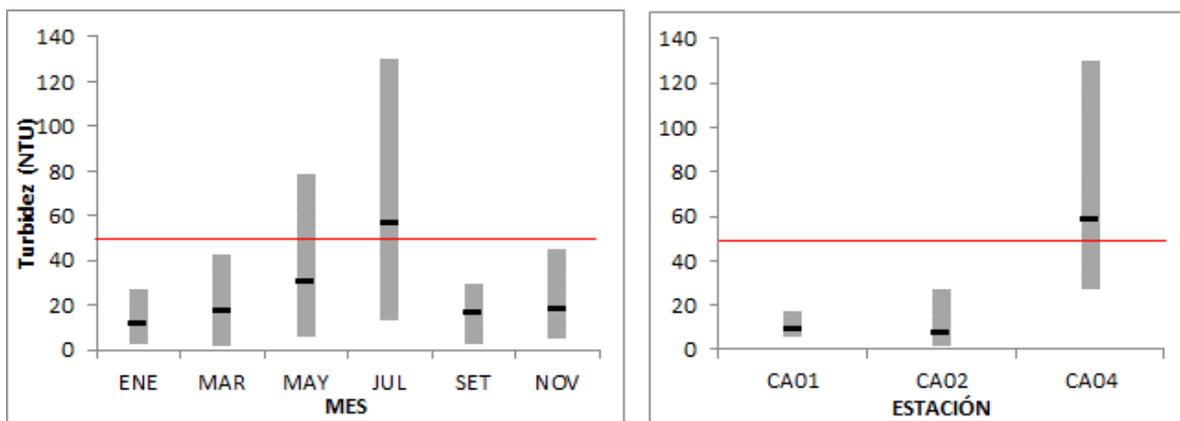


Figura 56: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del oxígeno disuelto en el Ao. Canelón Chico durante 2015. La línea roja marca el valor estándar fijado en el decreto 253.

6.5.2. Nutrientes

La concentración de NO_3 en la estación fluvial del Ao. Canelón Grande fluctuó entre un máximo de 0,73 mg/l (en setiembre) y un mínimo de 0,02 mg/l (en mayo), con un promedio de 0,40 mg/l. En el Canelón Chico la máxima concentración de NO_3 fue de 15,50 mg/l (CA02 en enero) y la mínima de 0,02 mg/l en cuatro oportunidades (CA02 en julio y CA01 en marzo, mayo y julio), siendo el promedio de 2,30 mg/l.

Los NO_3 no muestran un patrón de variación temporal determinado en ninguna de las dos subcuencas. Espacialmente, se observa una subcuenca con concentraciones homogéneas (y bajas) de NO_3 (Canelón Grande) y la segunda con diferencias entre estaciones (Canelón Chico): CA02, aguas debajo de la ciudad de Canelones, presenta altas concentraciones de NO_3 . CA04, a 9 Km de distancia, siente la influencia de la estación precedente, mostrando también altos valores de NO_3 . La máxima concentración detectada en el año fue de 15,5 mg/l (CA02), lo que marca una fuerte diferencia entre ambas estaciones; sin embargo los promedios son cercanos (diferencia de poco más de 1 mg/l). Inesperadamente, en cuatro de las seis campañas realizadas en 2015, las concentraciones de NO_3 son más altas en CO04 que en CO02. Se desprende que en la porción de río entre las dos estaciones se produce un aporte de este nutriente, lo que es factible, ya que es una zona con alta actividad agropecuaria. Finalmente, la estación CA01 muestra valores “naturales” de NO_3 (liberado por la materia orgánica descompuesta por las bacterias del suelo, y por disolución de rocas) o, al menos, poco afectados por las actividades humanas.

En la subcuenca “Canelón” se registró un solo valor que no cumple con el estándar del decreto 253 (≤ 5 mg/l). Este valor representa el 3 % del total, y se observó en la estación CA02.

En la subcuenca del Canelón Grande, los NO_2 presentaron concentraciones siempre por debajo del límite de la técnica. En la subcuenca del Canelón Chico se registraron tres valores cuantificables de esta variable (2 en CA02 y 1 en CA01). Estos tres valores superan el estándar marcado en el decreto 253, y representan el 8 % del total de las muestras.

EL amonio libre en la subcuenca del Canelón Grande tiene distribución homogénea con valores muy bajos. Se observa una leve tendencia a mostrar concentraciones con relación inversa a la temperatura. En el Canelón Chico el amonio libre registró valores significativamente mayores en la estación aguas debajo de la ciudad de Canelones con respecto a las otras dos estaciones de esta subcuenca. Indudablemente, estas

altas concentraciones reflejan el efecto de eventos puntuales asociados a la ubicación de esta estación aguas debajo de la ciudad y centros industriales de la región. En la estación CA04 aún se nota la influencia de esas altas concentraciones, mostrando concentraciones medio-bajas. En la estación CO01, en zona con menor influencia antrópica, los valores son, promediamente, bajos. Se observa una leve tendencia a mostrar concentraciones con relación inversa a la temperatura.

En la subcuenca “Canelón” el amonio libre incumplió el valor estándar ($\leq 0,02$ mg/l) en el 14% de las muestras analizadas; todas ellas en la subcuenca del Canelón Chico y, mayoritariamente, en la estación CA02 (11 %), con un solo caso en CA04 (3 %).

El Nitrógeno Total fluctuó, en el Canelón Grande durante 2015 entre un máximo de 1,85 mg/l (CG03 en setiembre) y un mínimo de 0,73 mg/l en dos ocasiones (CG01 en enero y CG02 en marzo), con un promedio de 1,10 mg/l (Figura 57). En el Canelón Chico la máxima concentración fue de 68,50 mg/l (CA02 en julio) y la mínima de 0,75 mg/l (CA01 en mayo), con un promedio de 11,10 mg/l (Figura 58).

No se observa un patrón de variación anual en ninguna de las dos subcuencas. La distribución espacial del NT en la subcuenca del Canelón Grande es homogénea, mientras que en el Canelón Chico la estación CA02 se destaca notoriamente, presentando concentraciones muy altas de NT (picos en mayo y julio con concentraciones que superan los 60 mg/l).

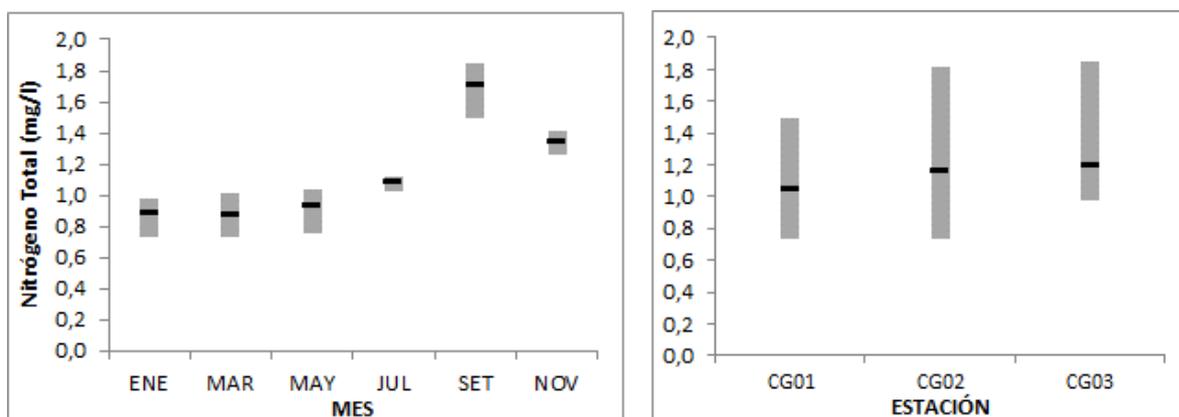


Figura 57: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del nitrógeno total en el Ao. Canelón Grande durante 2015.

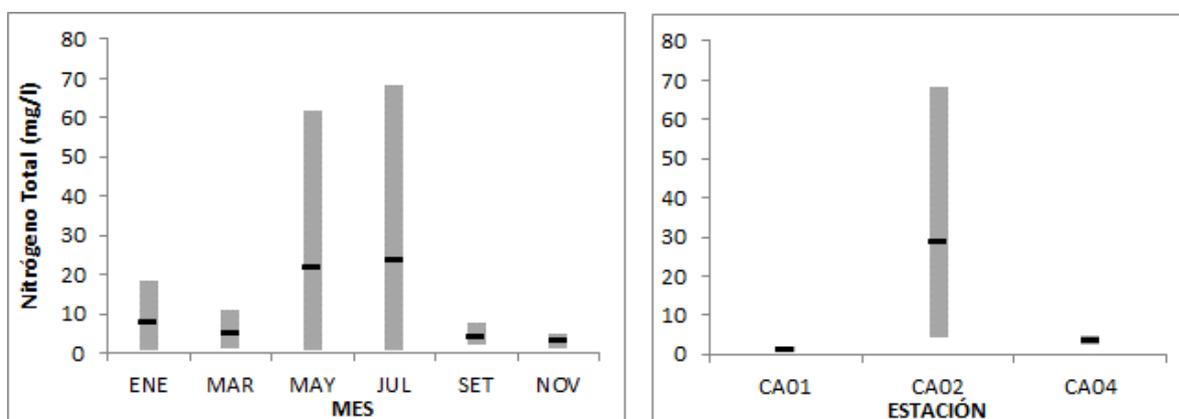


Figura 58: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del nitrógeno total en el Ao. Canelón Chico durante 2015.

Las concentraciones registradas de PT en toda la subcuenca “Canelón” son inusualmente elevadas. En el Canelón Grande, fluctuaron entre un máximo de 852 $\mu\text{g/l}$ (CG03 en marzo) y un mínimo de 309 $\mu\text{g/l}$ (CG01 en setiembre), con un promedio de 679 $\mu\text{g/l}$ (Figura 59). En el Canelón Chico el máximo fue de 13100 $\mu\text{g/l}$ (CA02 en mayo). El mínimo de 11 (CA02 en julio); resultado llamativo en ese punto, y que corresponde al límite de cuantificación de la técnica El promedio en esta subcuenca fue de 1742 $\mu\text{g/l}$ (Figura 60)

No se observa un patrón de variación anual en ninguna de las dos subcuencas. Especialmente, la subcuenca del Canelón Grande muestra valores homogéneos aunque, la estación fluvial (CG01) presentó valores de PT inferiores a las estaciones del embalse, con un promedio de ≈ 200 $\mu\text{g/l}$ menos. En la cuenca del Canelón Chico, nuevamente, la estación CA02 muestra valores descontrolados, alcanzando concentraciones 500 veces superiores al estándar. Si bien se trata de un valor puntual, los promedios registrados en 2015 exceden los reportados por de León & Hill (2015), lo que implicaría un aumento de las concentraciones de PT en el arroyo.

De los 36 registros de PT colectados durante 2015 en la subcuenca “Canelón”, sólo uno (3 %) cumple con el estándar fijado en el decreto 253/79.

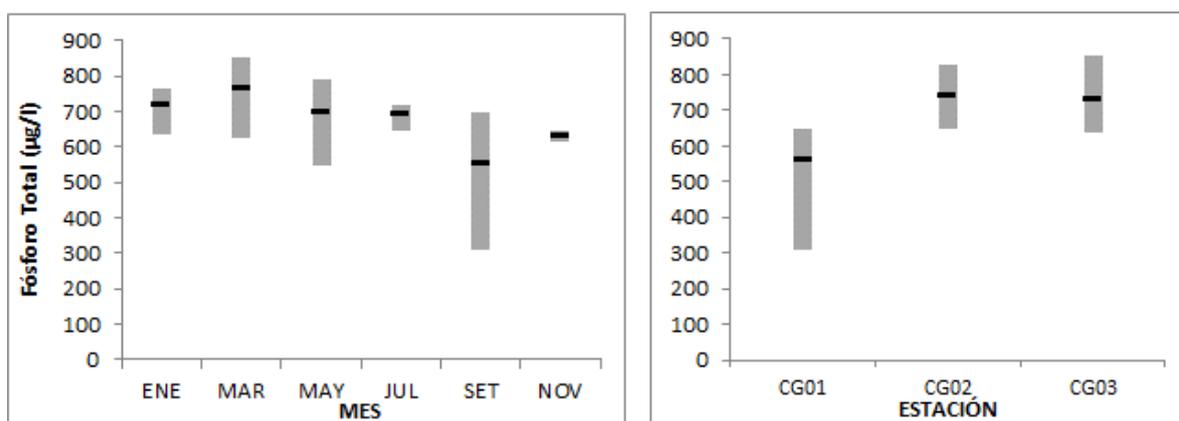


Figura 59: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del fósforo total en el Ao. Canelón Grande durante 2015.

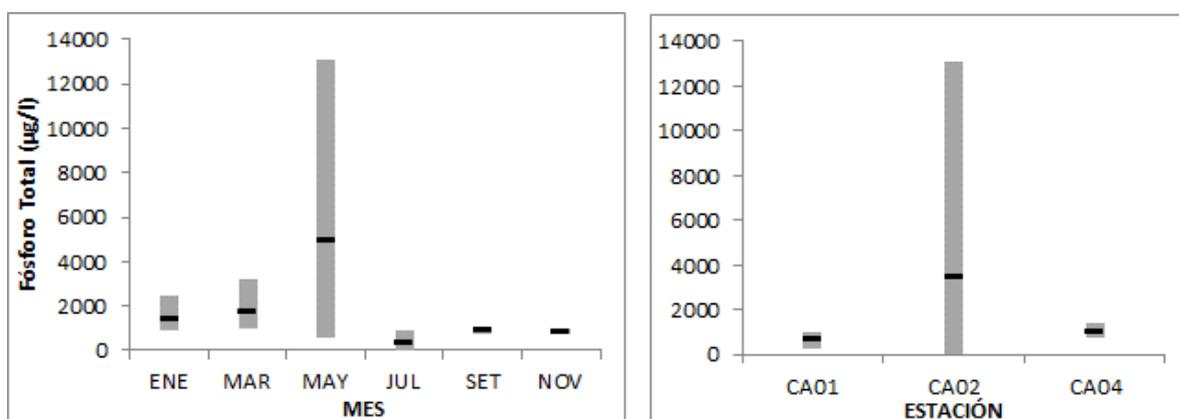


Figura 60: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del fósforo total en el Ao. Canelón Chico durante 2015.

La clorofila *a* como indicadora de biomasa del fitoplancton fue monitoreada exclusivamente en aguas del Ao. Canelón Grande (Figura 61). El máximo de clorofila registrado fue de 29,0 $\mu\text{g/l}$ (CG01 en mayo) y el mínimo de 0,3 $\mu\text{g/l}$ (CG03 en marzo). El promedio anual calculado fue de 4,5 $\mu\text{g/l}$. No se observa ningún patrón de variación temporal a lo largo del ciclo anual. Al igual que lo reportado por De León & Hill (2015), se detectan mayores concentraciones de clorofila *a* en la estación fluvial que en las del embalse. El análisis de la relación *cloa/feoa* revela que de los 6 muestreos realizados, en la estación fluvial en cuatro de ellos la población algal se encontraba en estado de desarrollo, mientras que en las estaciones del embalse sólo en dos oportunidades se observó lo mismo.

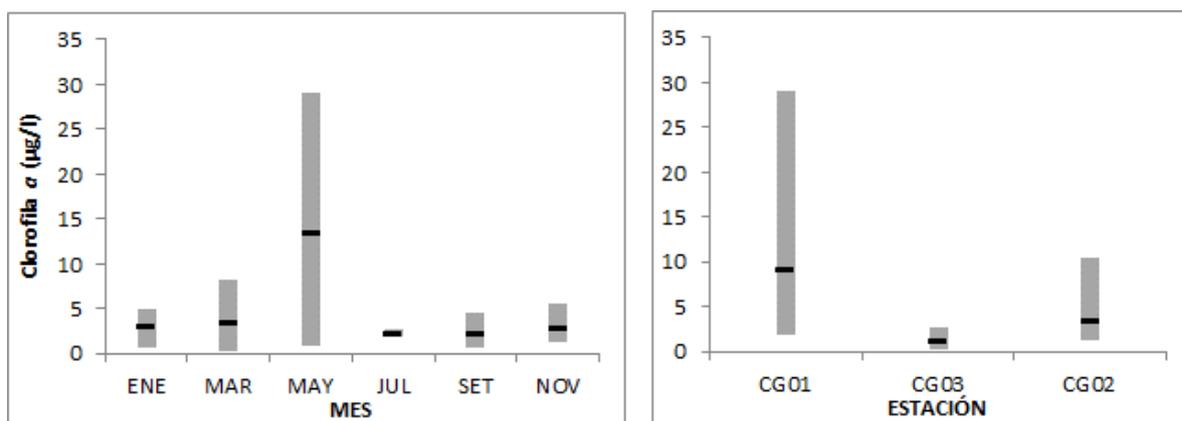


Figura 61: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la clorofila *a* en el Ao. Canelón Grande durante 2015.

6.5.3. Parámetros microbiológicos

Los Coliformes termotolerantes de la subcuenca del Canelón Grande se encontraron en densidades de entre 800 UFC/100ml (CG02 en marzo) de máximo y 10 UFC/100ml en ocho oportunidades (4 en CG03, 3 en CG02 y 1 en CG01) de mínimo, con un promedio de cuenca de 102 UFC/100ml (Figura 62). En el Canelón chico estas densidades fueron muy superiores, situándose entre 18000 UFC/100ml (CA02 en julio) y 10 UFC/100ml en 5 ocasiones (1 en CG01 y 1 en CG02 y CG03), con un promedio de 1603 UFC/100ml (Figura 63).

En ninguna de las dos subcuencas se puede determinar un patrón de variación temporal anual. La distribución espacial de los coliformes termotolerantes en la subcuenca del Canelón Grande muestra valores similares en las estaciones extremas (CG01, fluvial, y CG02, cierre del embalse) y hasta 5 veces más elevados que en la estación CG03 (centro del embalse). Esos altos valores puntuales en CG02 podrían provenir del ganado presente en la costa cercana.

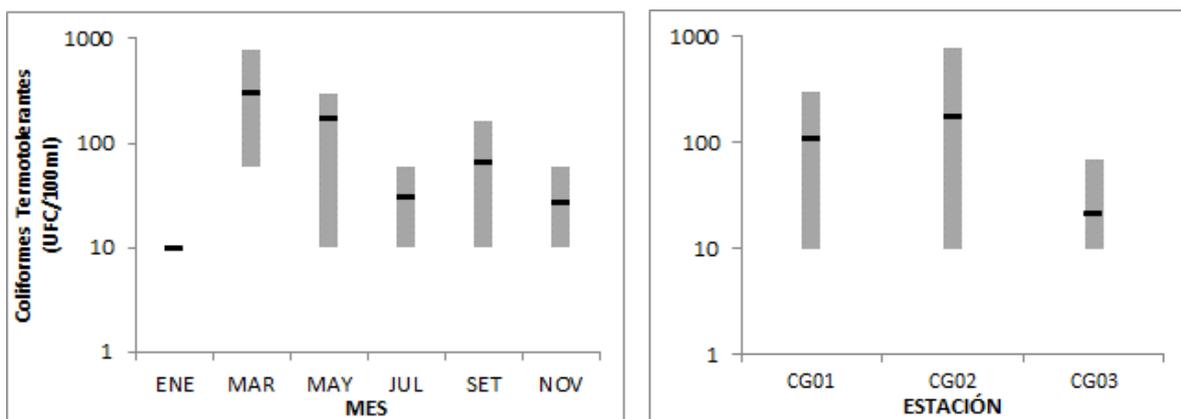


Figura 62: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del fósforo total en el Ao. Canelón Grande durante 2015.

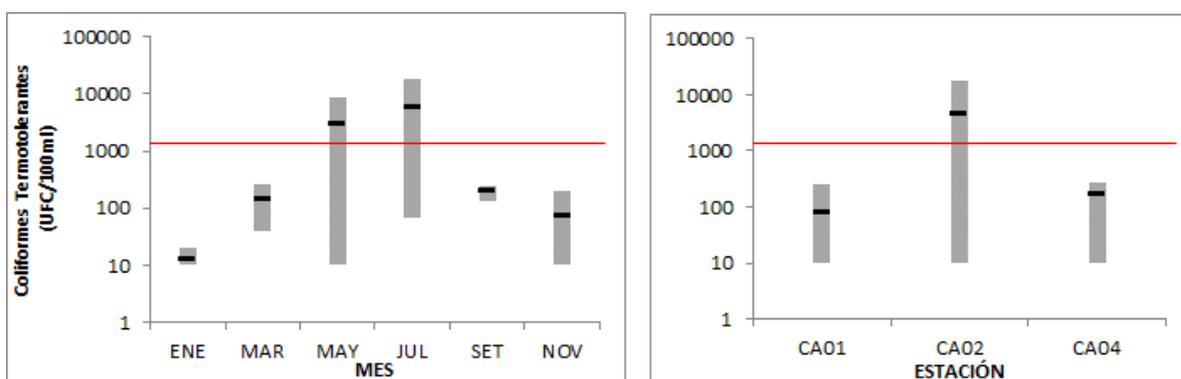


Figura 63: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del fósforo total en el Ao. Canelón Chico durante 2015. La línea roja marca el valor estándar fijado en el decreto 253.

Las densidades de Coliformes Termotolerantes resultaron promediamente bajas en toda la subcuenca “Canelón”. De los 36 registros obtenidos en el año, en sólo dos ocasiones (6 %) no se cumplió con el estándar fijado en el decreto 253. Si se eliminan esos dos picos, observados en la estación CA02, debajo de la ciudad de Canelones, el promedio general es bajo, de aproximadamente 120 UFC/100ml.

6.6. 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 observa en las figuras 45 y 46. La hidrodinámica de la estación CG01 resultó ser fluvial, con respecto al resto de las estaciones, a pesar de encontrarse ubicada cercana a la cola del embalse, registrando las características del sistema cuando el agua ingresa al embalse.

6.6.1. Parámetros físico-químicos

La temperatura del agua en el Embalse del Canelón registró una amplitud de entre 25,8 y 10,0 °C (CG02 en marzo y CG03 en julio), con un promedio anual de 19,1 °C (Figura 64).

La fluctuación temporal de esta variable marca el clásico ciclo anual dependiente de la temperatura atmosférica. Espacialmente la distribución de la temperatura es homogénea en el embalse.

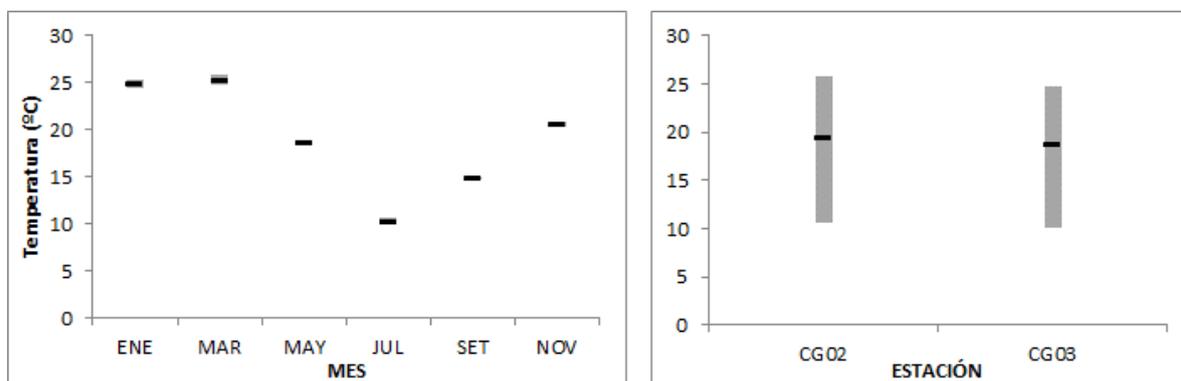


Figura 64: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la temperatura en el embalse del Canelón durante 2015.

La conductividad de las aguas del embalse de Canelón fluctuó entre un máximo de 241,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un mínimo de 154,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (CG03 en noviembre y setiembre respectivamente), con un promedio de 202,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 65).

No hay patrón de variación temporal a lo largo del año y la conductividad en ambas estaciones es casi idéntica.

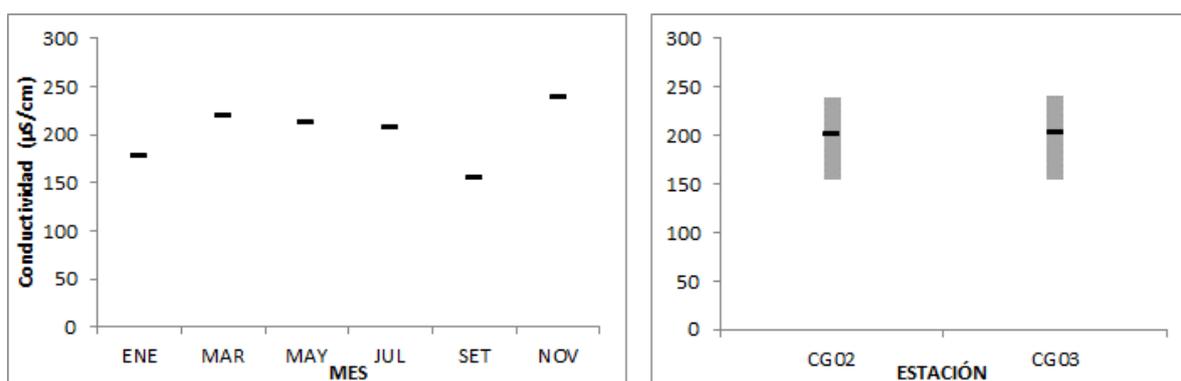


Figura 65: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la conductividad en el embalse del Canelón durante 2015.

El pH en el embalse del Canelón fue medianamente alto y homogéneo, situándose en valores entre un máximo de 8,4 y un mínimo de 7,8 (ambas estaciones en setiembre y CG03 en noviembre), con un promedio de 8,1 (Figura 66).

No se aprecia un ciclo de variación temporal, ni diferencias notorias entre ambas estaciones. Se observa un leve aumento del pH del embalse con respecto al año anterior.

Durante 2015, no se produjo en el Embalse del Canelón ningún caso de incumplimiento del pH con respecto a la norma del decreto 253. El 100 % de los valores se encontró dentro de los límites establecidos.

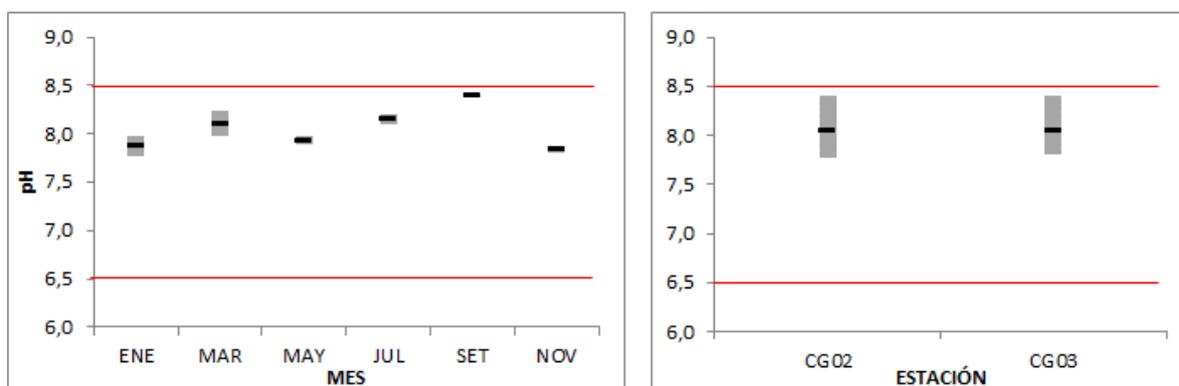


Figura 66: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del pH en el embalse del Canelón durante 2015. La línea roja marca el nivel superior de concentración permitido en el decreto 253.

El oxígeno disuelto se situó entre valores extremos de 9,6 mg/l y 6,8 mg/l (CG03 en setiembre y CG02 en marzo), con un promedio anual de 8,2 mg/l (Figura 67).

Las concentraciones de oxígeno disuelto en el Embalse del Canelón se muestran estables en el tiempo y el espacio.

El 100 % de los valores registrados para esta variable cumplen con el estándar del decreto 253.

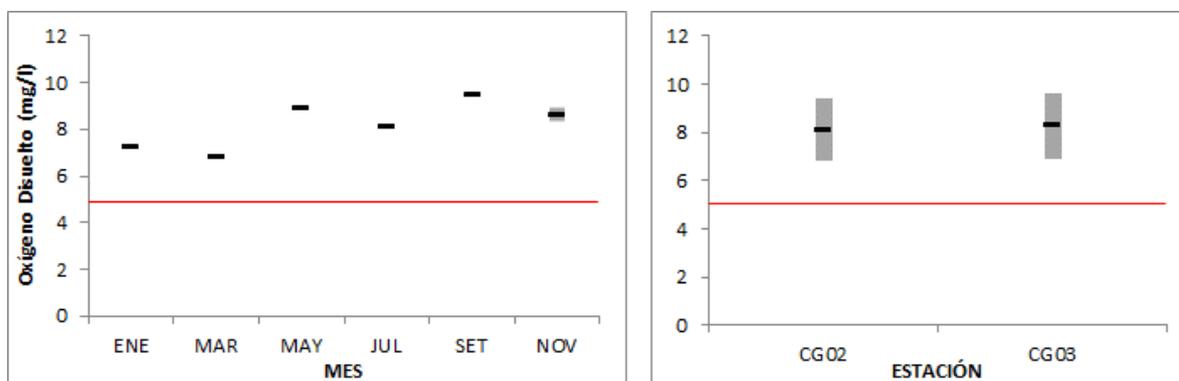


Figura 67: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del oxígeno disuelto en el embalse del Canelón durante 2015. La línea roja marca el valor estándar fijado en el decreto 253.

La turbidez del embalse del Canelón durante 2015 es alta. Se sitúa entre un máximo de 140 NTU y un mínimo de 31 NTU (ambas estaciones en julio y CG03 en setiembre), con un promedio anual de 72 NTU (Figura 68).

Se aprecia una –esperable- tendencia a observar niveles de turbidez más elevados en los meses invernales, aunque la distribución de esta variable en el cuerpo del embalse es homogénea. Asimismo, la turbidez promedio anual durante 2015 es la misma que la registrada durante 2014 (De León & Hill, 2015).

Los altos valores de turbidez detectados en el embalse del Canelón derivan en un incumplimiento de la norma en el 50 % de las observaciones. Si bien tanto los promedios como los rangos de variación de ambas estaciones son similares, se observan más incumplimientos en la estación CG03 (33 %) que en la CG02 (17 %).

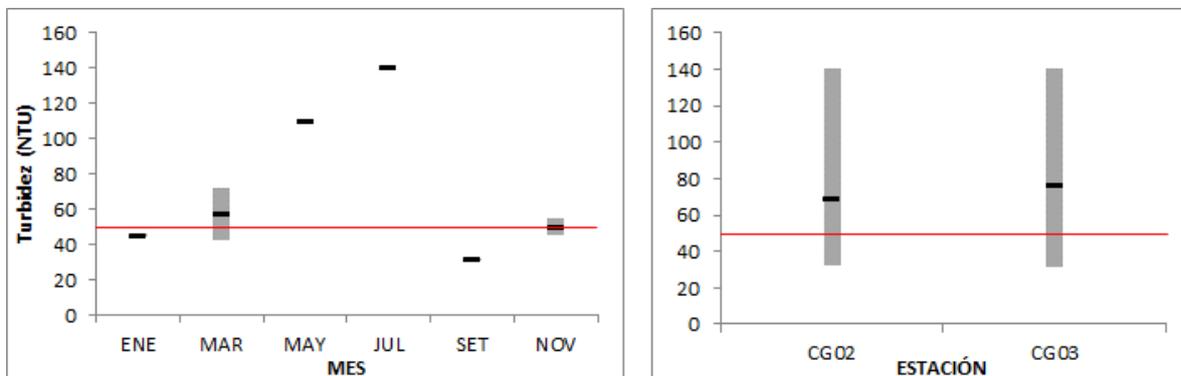


Figura 68: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la turbidez en el embalse del Canelón durante 2015. La línea roja marca el valor estándar fijado en el decreto 253.

Siempre dentro de valores muy similares, la turbidez de la estación CG03 siempre fue mayor que la de CG02, lo que podría estar reflejando un fenómeno de resuspensión (por viento o circulación) en un sector menos profundo del embalse.

La clorofila *a*, pigmento indicador de biomasa fitoplanctónica en el cuerpo del embalse, mostró valores bajos. La máxima concentración fue de 10,5 $\mu\text{g/l}$ y la mínima de 0,3 $\mu\text{g/l}$ (CG02 en mayo y CG03 en marzo), mientras que el promedio anual fue de 2,3 $\mu\text{g/l}$ (Figura 69).

Durante el 2015, se reproduce el –esperado– patrón de variación con aumento en otoño (aunque tardío), mayoritariamente en la estación CG02; mientras que el aumento de primavera no se percibe. Las concentraciones de clorofila son superiores en la estación CG02, aunque en algunos casos puntuales esta tendencia se invierte.

Los valores registrados en 2015 son mayores que los reportados por De León & Hill (2015). Esto podría estar de acuerdo con la tendencia que se desprende de los resultados de los años previos, donde se observan concentraciones promedio en “diente de sierra”, con valores más altos en los años impares e inferiores en los años pares.

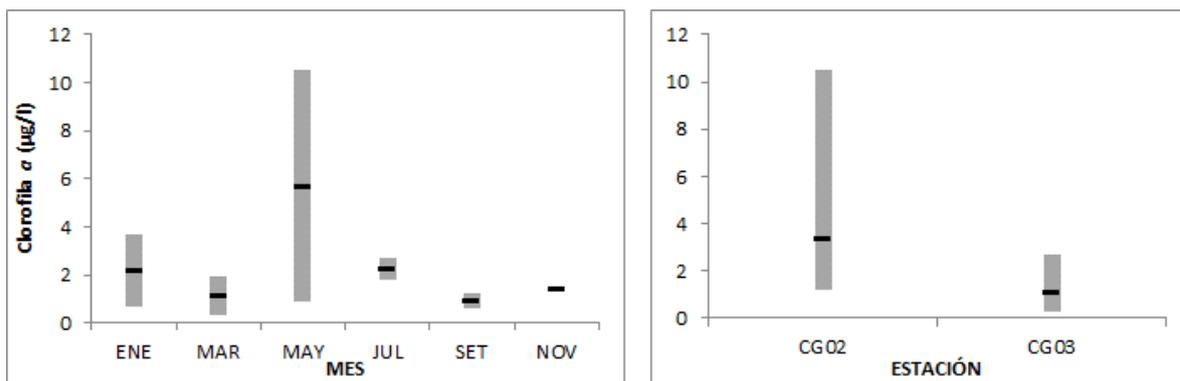


Figura 69: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la clorofila α en el embalse del Canelón durante 2015.

6.6.2. Nutrientes

El NO_3 del embalse del Canelón fluctuó entre 0,9 mg/l y 0,1 mg/l (CG02 en enero y CG02 en marzo), con un promedio de 0,4 mg/l. Esta variable muestra una tendencia al aumento en aguas más calientes y sus concentraciones son –levemente– mayores en CG02, así como su rango de variación.

El 100 % de los valores obtenidos cumple con la norma. Si bien los valores de NO_3 son siempre bajos, muy inferiores al estándar fijado, se observa un leve aumento de concentración con respecto al año precedente.

Los NO_2 estuvieron siempre por debajo de los límites de la técnica; esto marca valores bajos, muy inferiores al estándar fijado en el decreto 253. El 100 % de las muestras tomadas cumple con la norma.

El amonio libre fluctuó entre 0,012 mg/l y un mínimo de 0,0002 mg/l en dos oportunidades (CG03 en setiembre y ambas estaciones en julio), con un promedio de 0,002 mg/l. Los valores de amonio libre calculados son siempre bajos e inferiores al estándar fijado ($\leq 0,02$ mg/l). Esta variable no presenta un riesgo potencial en el embalse, habiendo cumplido con la norma en el 100 % de los registros

El NT osciló entre 1,9 mg/l y 0,7 mg/l (CG03 en setiembre y CG02 en marzo), con un promedio de 1,2 mg/l (Figura 70). No se observa un ciclo de variación de la concentración de NT en el embalse, pero sí un aumento en el segundo semestre. La distribución es homogénea, con promedios iguales en ambas estaciones y un rango de variación similar. Los valores promedio registrados para cada estación son levemente inferiores a los reportados por De León & Hill (2015) para el año precedente.

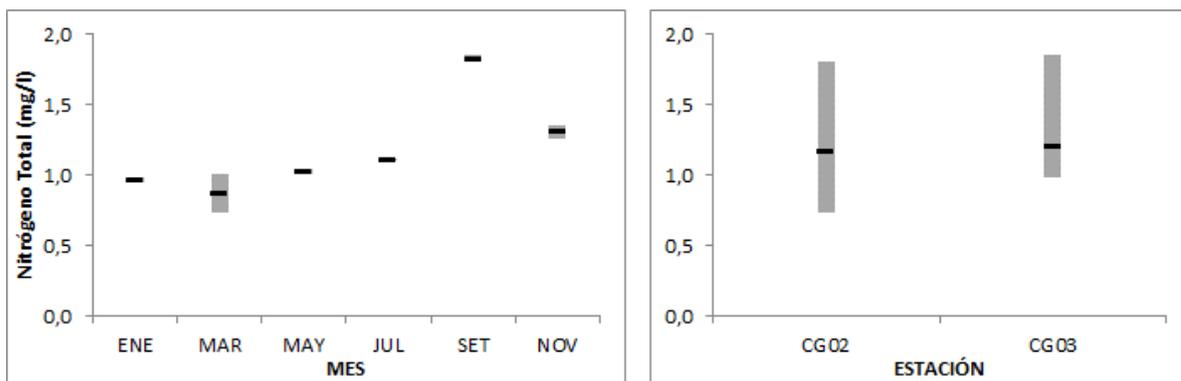


Figura 70: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del nitrógeno total en el embalse del Canelón durante 2015.

Las concentraciones de PT son siempre muy altas. Fluctúan entre un máximo de 852 $\mu\text{g/l}$ y un mínimo de 639 $\mu\text{g/l}$ (CG03 en marzo y CG03 en noviembre), con un promedio de 737 $\mu\text{g/l}$ (Figura 71). No se observa un ciclo de variación anual del fósforo total, más allá de un descenso sostenido de la concentración a lo largo del año. Espacialmente no existen diferencias significativas entre ambas estaciones, que muestran promedios casi idénticos y rangos de variación muy cercanos. Los altos registros de PT, alrededor de 30 veces mayores al estándar (25 $\mu\text{g/l}$) llevan a que se incumpla con la norma en el 100 % de las muestras. Asimismo, estos resultados determinan un llamado de atención mayor, ya que las concentraciones promedio aumentaron 100 $\mu\text{g/l}$ con respecto a las reportadas por De León & Hill (2015) para el año precedente.

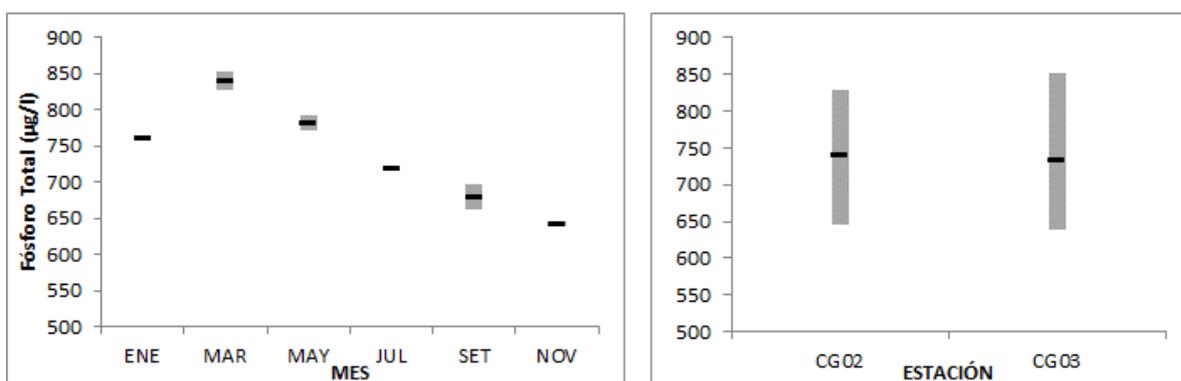


Figura 71: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del fósforo total en el embalse del Canelón durante 2015.

6.6.3. Parámetros microbiológicos

Las densidades de coliformes termotolerantes fueron bajas en el embalse del Canelón durante todo el año. Se ubicaron entre un máximo de 800 UFC/100 ml y un mínimo de 10 UFC/100 ml (CG02 en marzo; el mínimo en 7 oportunidades), con un promedio de 99 UFC/100 ml (Figura 72). No muestran un ciclo anual de variación a excepción de un aumento en marzo. Este aumento marca la diferencia de densidades entre las dos estaciones. Las bajas densidades observadas durante 2015 llevan a un total cumplimiento del estándar fijado en el decreto 253 (2000 UFC/100ml). Los resultados son similares a los presentados en 2014.

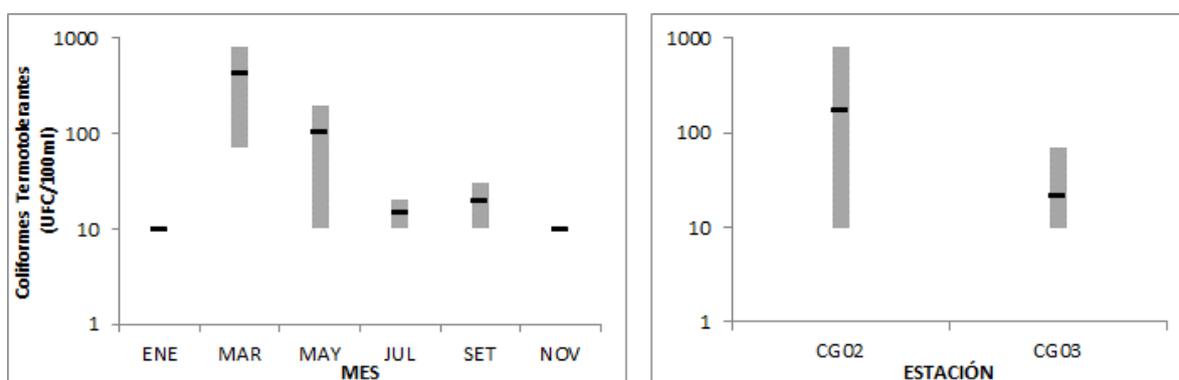


Figura 72: Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de los coliformes termotolerantes en el embalse del Canelón durante 2015.

6.6.4. Síntesis subcuenca Arroyo Canelón Grande y Canelón Chico

Con la estructura de muestreo utilizada durante 2015, en esta subcuenca se muestrearon 6 estaciones, con seis visitas en el año, de ahí que cada variable considerada registre 36 resultados en total.

Considerando el sistema en total (arroyos más embalse), hay sólo dos variables que cumplen con los estándares de calidad en el 100 % de los casos, estas son pH y DBO₅. Tres de las variables cumplen con una frecuencia > 90 %: NO₃, NO₂ y coliformes termotolerantes. Dos variables cumplen en más del 70 % de las muestras: turbidez y amonio libre. El oxígeno disuelto cumple en más del 50 % y el PT sólo cumple en un 3 %.

Esta subcuenca es la más comprometida en términos de calidad de agua. Tres de las variables consideradas tienen porcentajes muy bajos de cumplimiento, la turbiedad que es alta, lo que reduce las posibilidades fotosintéticas de las plantas autótrofas del sistema y, fundamentalmente, el PT, que excede largamente los valores permitidos, a lo largo de toda la subcuenca y en todo el tiempo de estudio. Finalmente, el oxígeno disuelto se ve severamente comprometido en el Ao. Canelón Chico, con un registro máximo que es inferior al estándar. Las concentraciones de OD en aguas del Canelón Chico implican condiciones permanentes de anoxia. Muy difícilmente existan formas de vida en el sector de la estación

CA02. Muy bajas concentraciones de OD en los meses estivales en las estaciones CA01 y CA04 amplían la gravedad de este problema a la casi totalidad el curso principal del Canelón Chico.

Las variables no detalladas en esta descripción se muestran temporalmente estables en la cuenca y con valores bajos, no representando un riesgo potencial.

6.7. 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.

El punto de monitoreo CO01, iniciado en 2011, se ubica en la desembocadura del A^o Colorado sobre el río Santa Lucía (Figura 73); se considera representativo de la subcuenca que incluye también al Arroyo Las Piedras (Figura 74). Las estaciones C6 y C9, que aparecen en la figura 69, fueron monitoreadas en el período 2005-2010. No se monitorean en la actualidad.

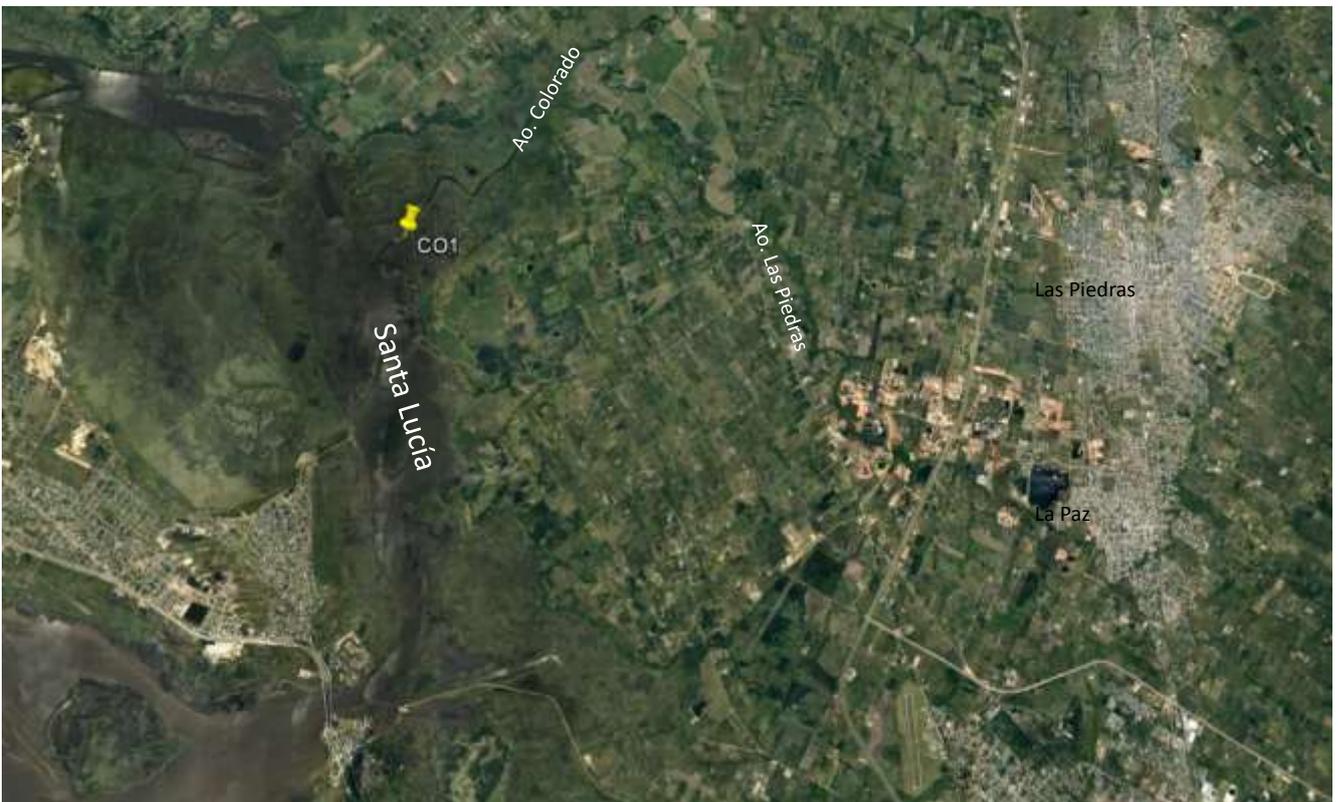


Figura 73: Ubicación de la estación de monitoreo en la subcuenca del A^o Colorado.

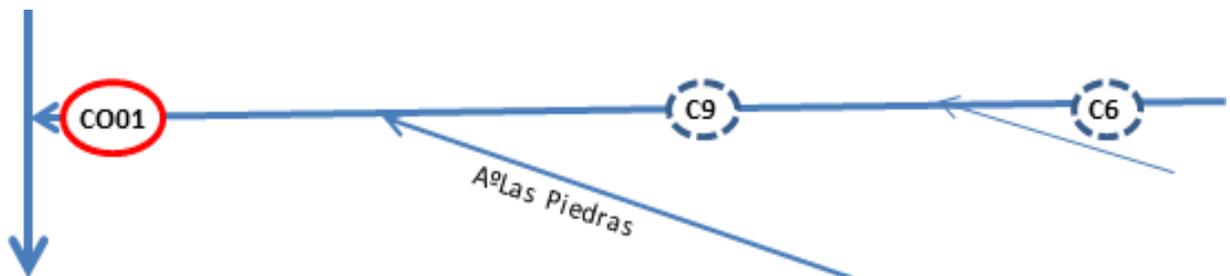


Figura 74. Diagrama del Arroyo Colorado y las estaciones de monitoreo de calidad de agua. Las líneas punteadas señalan estaciones del período 2005-2010.

6.7.1. Parámetros físico-químicos del agua

La temperatura en la estación ubicada en la desembocadura del Ao. Colorado registró un máximo de 26,2 °C (marzo) y un mínimo de 9,9 °C (julio), con un promedio de 19,4 °C (Figura 75). Esta variable cumple el ciclo lógico de la temperatura atmosférica.

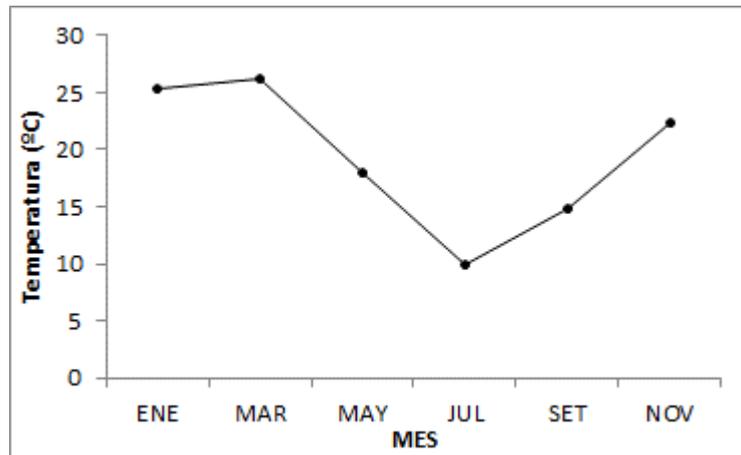


Figura 75. Variación temporal de la temperatura en la subcuenca del Arroyo Colorado durante 2015.

La conductividad fluctuó entre un máximo de 9137 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (mayo) y un mínimo de 354 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (enero), con un promedio anual de 2263 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 76).

La variación temporal de esta variable refleja las intrusiones del río de la Plata en la porción final del río Santa Lucía. La desembocadura del Ao. Colorado en el río Santa Lucía se encuentra aproximadamente a 15 Km de su desembocadura en el río de la Plata, porción que se ve muy influenciada, fundamentalmente por las mareas eólicas provocadas por los vientos del cuadrante W, comunes en la región.

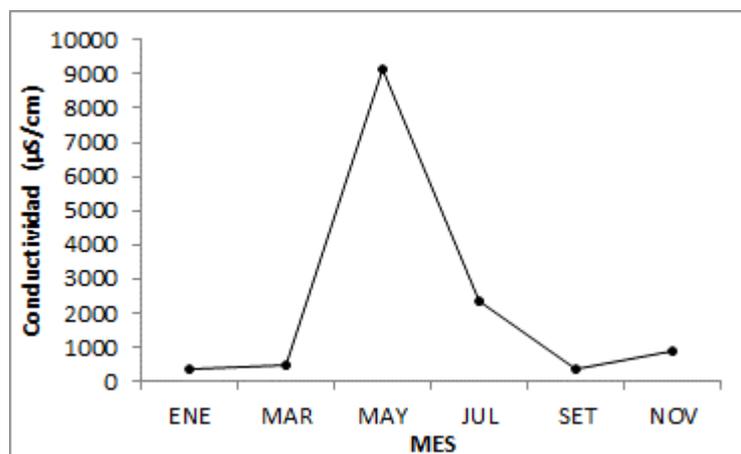


Figura 76. Variación temporal de la conductividad en la subcuenca del Arroyo Colorado durante 2015.

El pH observado se ubicó entre 8,25 (setiembre) y 7,68 (noviembre), con un promedio de 7,9 (Figura 77).

Durante el ciclo anual el pH se mantuvo dentro de los valores estipulados en el decreto 253. Se observa un leve aumento de promedio anual con respecto al año precedente (7,5).

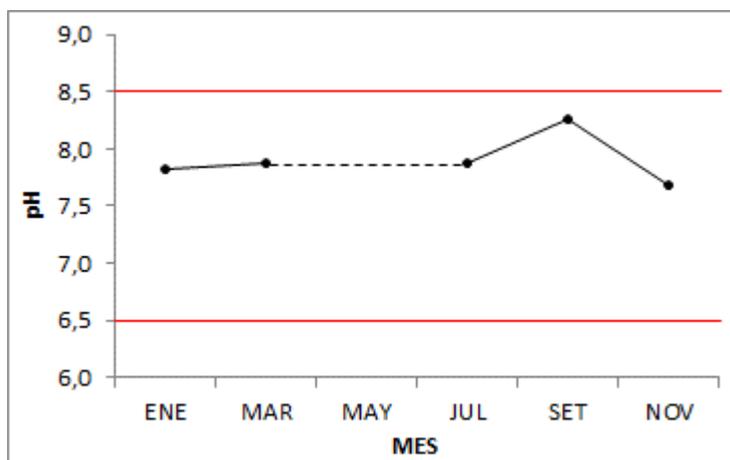


Figura 77. Variación temporal del pH en la subcuenca del Arroyo Colorado durante 2015.

La concentración de oxígeno disuelto en el agua del Ao. Colorado se ubicó entre valores de 8,7 mg/l (setiembre) y 3,94 mg/l (noviembre), con un promedio de 6,5 mg/l (Figura 78).

En líneas generales el oxígeno disuelto muestra el –esperable- ciclo anual con mayores concentraciones en aguas más frías. De las seis campañas realizadas, en una (17 %) no se cumplió con el estándar marcado en el decreto 253, pero en aguas más calientes los valores fueron siempre bajos, cercanos a este límite. Si bien la variación interanual del OD es amplia (De León & Hill, 2015), el valor promedio anual calculado es 0.6 mg/l menor que el calculado para 2014.

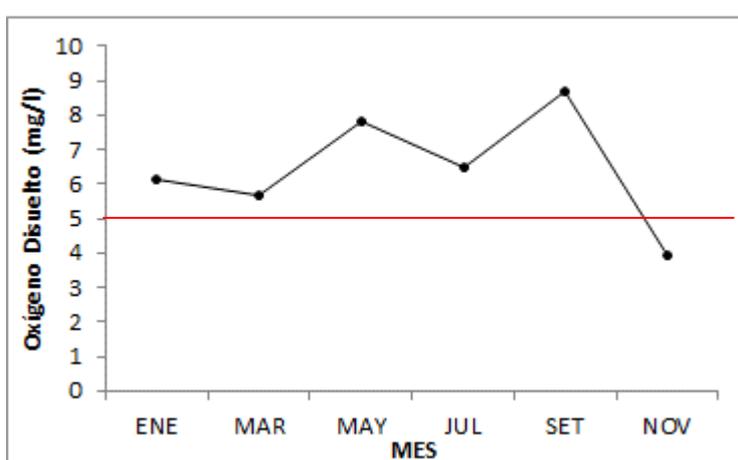


Figura 78. Variación temporal del oxígeno disuelto en la subcuenca del Arroyo Colorado durante 2015.

La DBO5 se midió entre un máximo de 4,1 mg/l (mayo) y un mínimo de 1,1 mg/l (noviembre), con un promedio anual de 2,2 mg/l (Figura 79).

Las concentraciones de DBO₅ son siempre bajas, sin mostrar un ciclo de variación nítido, más allá de un aumento en aguas más frías. En todas las muestras tomadas se cumple con el valor estándar del decreto 253.

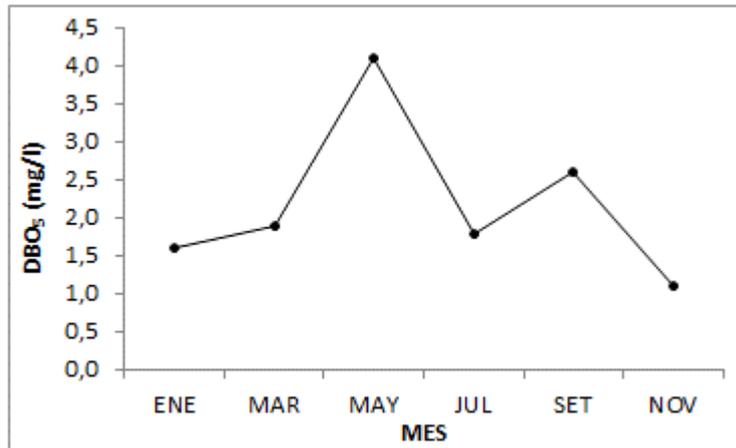


Figura 79. Variación temporal de la DBO₅ en la subcuenca del Arroyo Colorado durante 2015.

La turbidez fue medida en valores de entre 34,0 NTU (noviembre) y 6,6 NTU (mayo), con un promedio de 21,9 NTU (Figura 80).

Se observa una variación anual de la turbidez caracterizada por valores más altos en temperaturas más altas. En todo el año 2015 los valores de esta variable cumplieron con el valor guía del decreto 253.

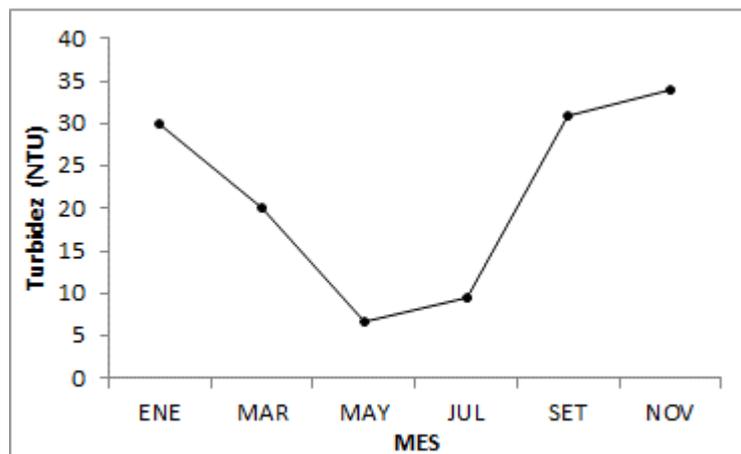


Figura 80. Variación temporal de la turbidez en la subcuenca del Arroyo Colorado durante 2015.

6.7.2. Nutrientes

El nitrato registró valores de 3,41 mg/l de máximo (noviembre) y 0,29 mg/l de mínimo (marzo), con un promedio de 2,0 mg/l de promedio anual.

No presentó un ciclo de variación anual y se mantuvo, en todo el ciclo, en valores inferiores al límite marcado por el decreto 253. A pesar de tener un 100 % de cumplimiento del estándar, el promedio de concentración de NO_3 se disparó durante 2015. El promedio anual de 2015 es casi 4 veces superior al de 2014 y, de hecho, es el promedio más alto desde 2005 en adelante, según los resultados aportados por De León & Hill (2015).

Los nitritos no fueron cuantificados en todo el ciclo anual, resultando valores siempre por debajo de los límites de la técnica.

Considerando estos bajos valores, los NO_2 cumplieron en un 100 % con el decreto 253.

El amonio libre registró una concentración máxima de 0,03 mg/l (julio) y una mínima de 0,0002 mg/l (noviembre), con un promedio de 0,007 mg/l.

La variación temporal del NH_4 libre marca un fuerte aumento en julio, y se mantiene en valores muy bajos el resto del año. Los registros de julio superan el estándar, produciendo un no cumplimiento total del 34 %.

El nitrógeno total presentó concentraciones entre 9,0 mg/l (noviembre) y 0,85 mg/l (marzo), con un promedio anual de 4,1 mg/l (Figura 81).

No presenta un ciclo de variación definido y, en líneas generales, sigue el comportamiento de los NO_3 , que son los que más influyen sobre esta variable.

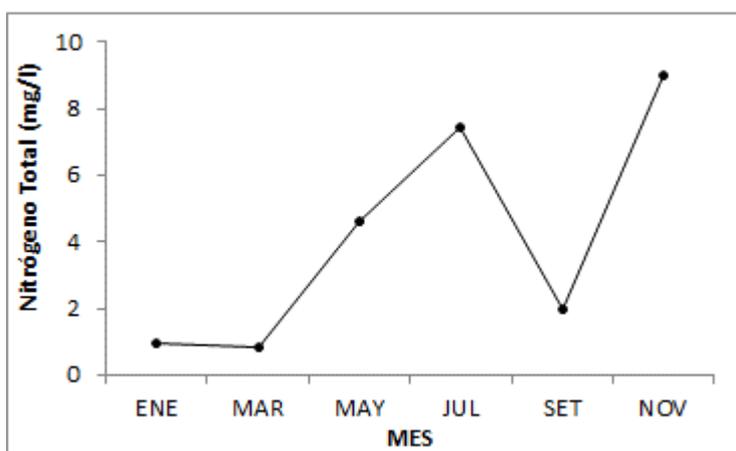


Figura 81. Variación temporal del nitrógeno total en la subcuenca del Arroyo Colorado durante 2015.

Las concentraciones de fósforo total registradas en el arroyo Colorado durante 2015 se encontraron entre 2080 $\mu\text{g/l}$ (noviembre) y 293 $\mu\text{g/l}$ (marzo), con un promedio de 815 $\mu\text{g/l}$ (Figura 82).

El PT no presenta un ciclo de variación durante el año, y siempre sus valores superaron largamente el fijado en el decreto 253 (25 µg/l). La concentración mínima observada excede 10 veces este valor estándar y la concentración máxima lo supera en casi 100 veces. El incumplimiento fue del 100 %.

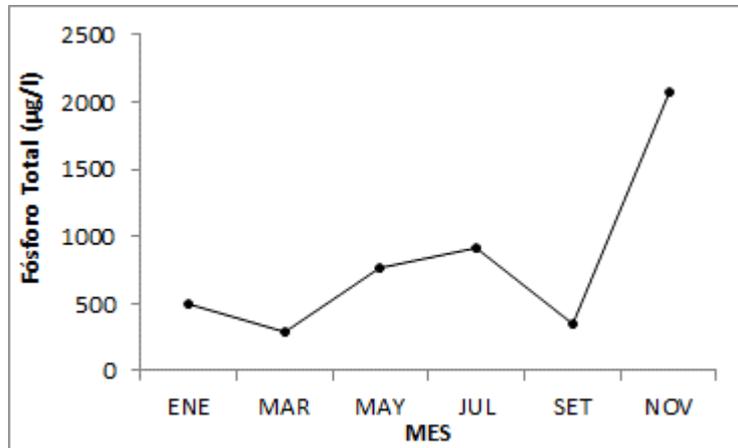


Figura 82. Variación temporal del fósforo total en la subcuenca del Arroyo Colorado durante 2015.

6.7.3. Parámetros microbiológicos del agua

La densidad de coliformes termotolerantes en la cuenca del arroyo Colorado fue constante, y registró niveles entre 790 UFC/100ml (enero) de densidad máxima y 780 UFC/100ml (marzo y mayo) de densidad mínima, con un promedio de 783 UFC/100ml (Figura 83).

Sólo se tienen resultados de esta variable en las tres primeras campañas del año y, en éstas, las densidades fueron similares.

El valor estándar fijado (2000 UFC/100ml) se cumplió en el 100 % de las muestras procesadas.

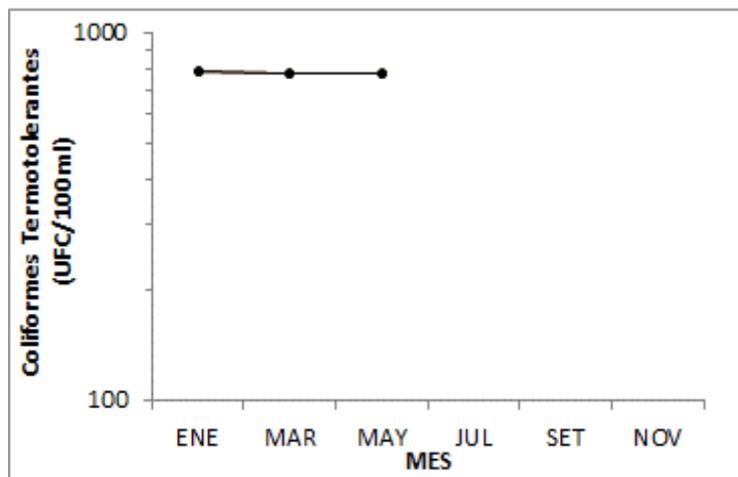


Figura 83. Variación temporal de los coliformes termotolerantes en la subcuenca del Arroyo Colorado durante 2015.

6.7.4. Síntesis de la subcuenca del Arroyo Colorado

La subcuenca del Ao. Colorado muestra señales de contaminación a ser controladas. De las variables consideradas en el decreto 253, seis cumplen el 100 % de las observaciones (pH, DBO₅, turbidez, NO₃, NO₂ y coliformes termotolerantes). Una tiene una frecuencia de cumplimiento > 70 % (oxígeno disuelto). Una tiene un cumplimiento > 50 % (amonio libre) y una incumple el 100 % de las observaciones (fósforo total). Las altas concentraciones de PT son comunes a toda la cuenca del Santa Lucía, pero en el Ao. Colorado se observan bajas concentraciones de OD (con 17 % de incumplimiento) y picos de concentración de amonio libre (con 34 % de incumplimiento) todo lo que revela una importante degradación de productos orgánicos, domésticos o industriales.

Las variables no detalladas en esta descripción se muestran temporalmente estables en la cuenca y con valores bajos, no representando un riesgo potencial.

A pesar de 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 su calidad de agua.

6.8. ARROYO DE LA VIRGEN

A partir del año en curso, se agregó un nuevo punto de monitoreo en la cuenca del Santa Lucía, el cual corresponde a la estación AV05, ubicada en el Ao. de la Virgen, próximo a su desembocadura en el Santa Lucía (Figura 84), y se considera representativo de la subcuenca.

El motivo principal de esta incorporación es realizar el control de la calidad del agua del Ao. de la Virgen, ya que este drena una cuenca con alta presión antrópica. Se trata de una cuenca lechera muy importante, con gran cantidad de tambos.

La incorporación de la estación AV05 al plan de monitoreo fue tardía, por lo que sólo se cuenta con resultados obtenidos en las dos últimas campañas de monitoreo (setiembre y noviembre), pero son los primeros resultados existentes en esta subcuenca.

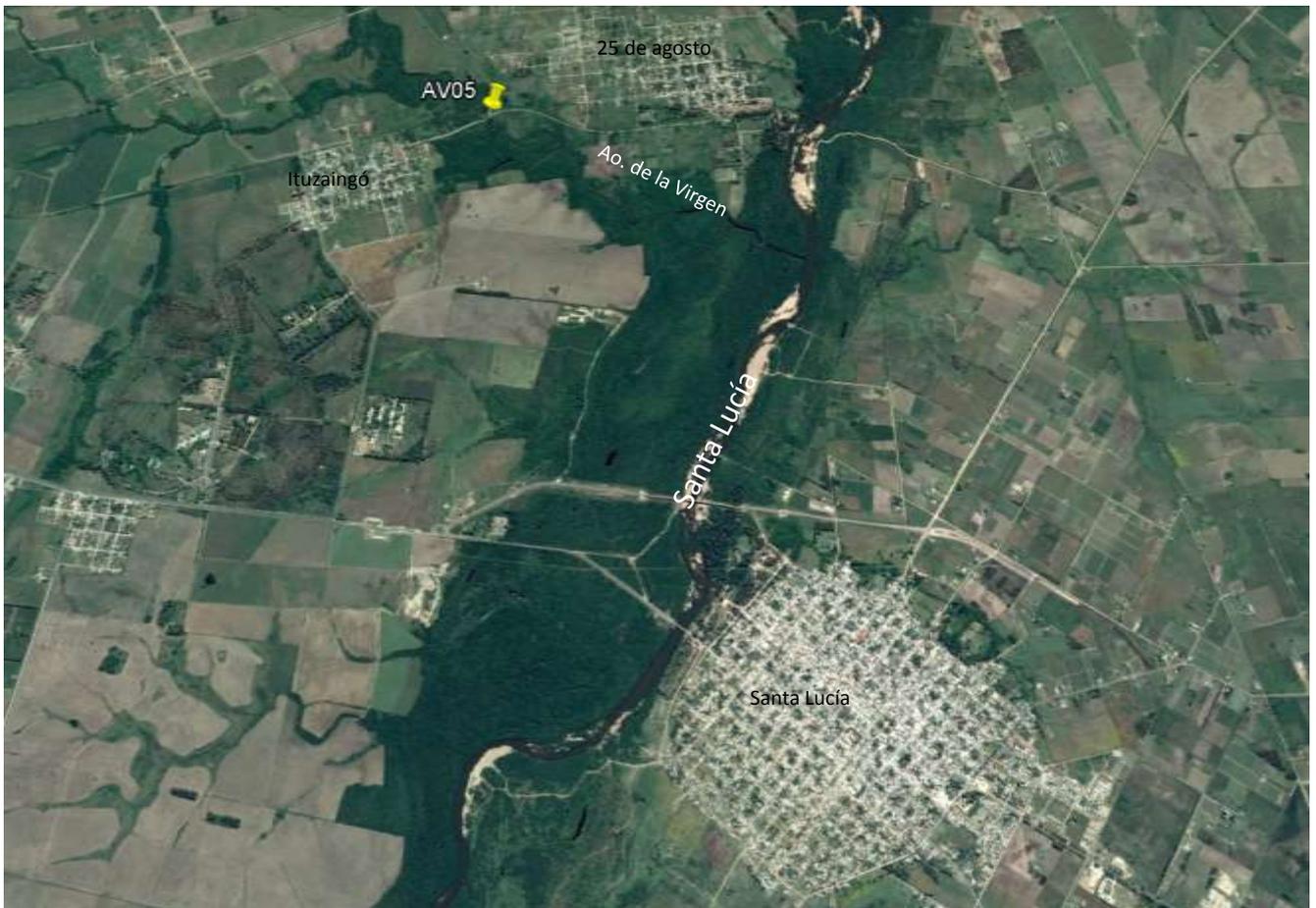


Figura 84: Ubicación de la estación de monitoreo en la subcuenca del A° de la Virgen

6.8.1. Parámetros físico-químicos del agua

La temperatura registró un máximo de 19,7 °C (noviembre) y un mínimo de 15,0 °C (setiembre), con un promedio de 17,4 °C (Figura 85)

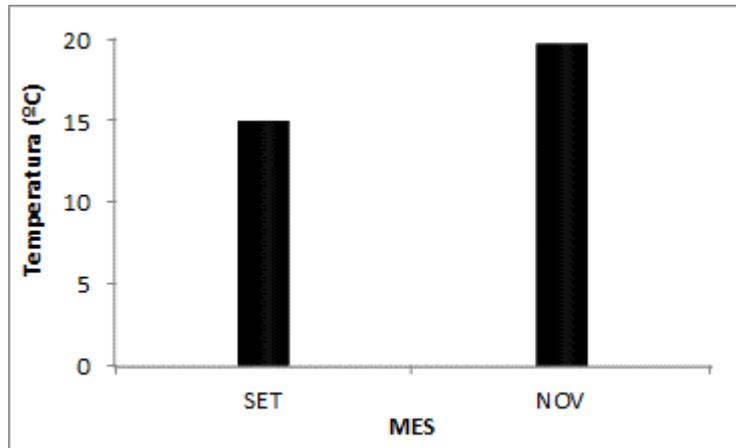


Figura 85. Variación temporal de la temperatura en la subcuenca del Arroyo de la Virgen durante 2015.

La conductividad se ubicó entre 539 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de máximo (setiembre) y 506 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (noviembre) de mínimo, con un promedio de 523 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 86).

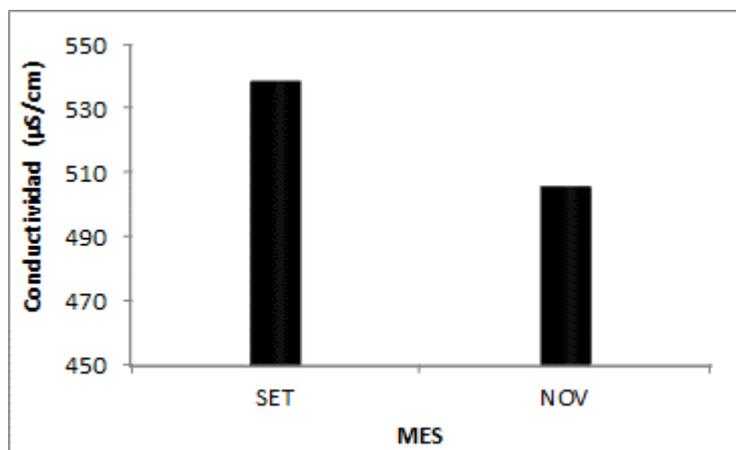


Figura 86. Variación temporal de la conductividad en la subcuenca del Arroyo de la Virgen durante 2015.

El pH del Ao. de la Virgen se mostró alto, con valores entre 8,55 de máximo (setiembre) y 7,91 de mínimo (noviembre), con un promedio de 8,2 (Figura 87).

Al haber uno de los resultados que no cumple con el estándar (entre 6,5 y 8,5), tenemos un incumplimiento del 50 % para esta variable.

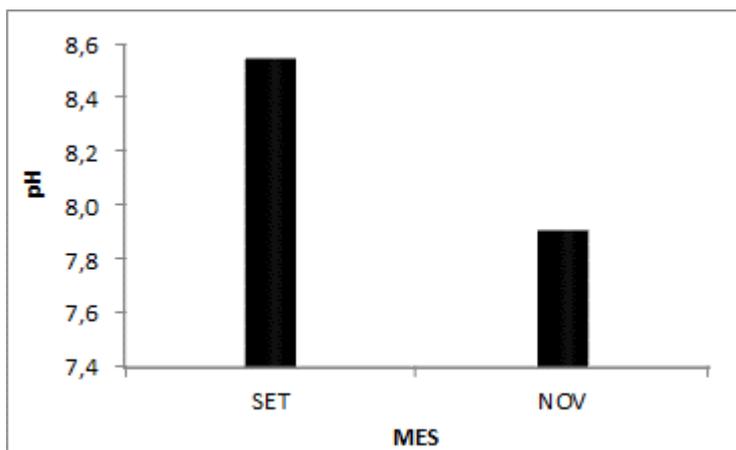


Figura 87. Variación temporal del pH en la subcuenca del Arroyo de la Virgen durante 2015.

La oxigenación del Ao. de la Virgen fue óptima en las dos campañas realizadas. La concentración de oxígeno varió entre 9,02 mg/l (setiembre) y 7,89 mg/l (noviembre), con un promedio de 8,50 mg/l (Figura 88).

Estas altas concentraciones de OD se traducen en un cumplimiento del 100 % de estándar.

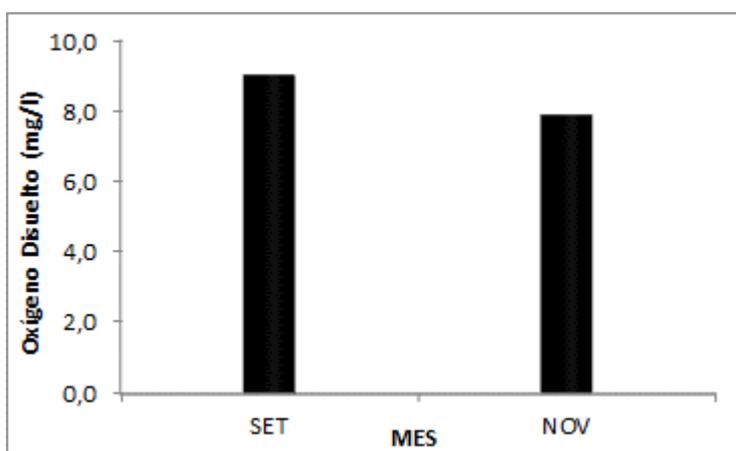


Figura 88. Variación temporal del oxígeno disuelto en la subcuenca del Arroyo de la Virgen durante 2015.

La DBO5 analizada presenta valores bajos. La variación se dio entre 2,0 mg/l (setiembre) de máximo y 1,5 mg/l (noviembre) de mínimo, con un promedio de 1,8 mg/l (Figura 89).

Estos bajos valores se traducen en que el 100 % de las muestras cumplió con el estándar de ≤ 10 mg/l fijado en el decreto 253.

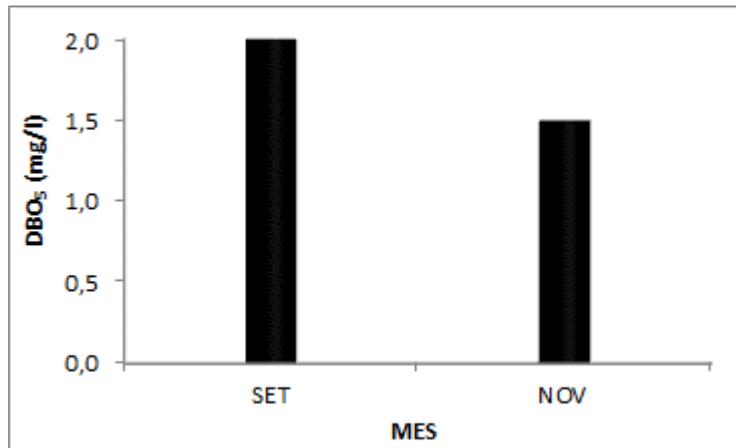


Figura 89. Variación temporal de la DBO₅ en la subcuenca del Arroyo de la Virgen durante 2015.

La turbidez presentó valores bajos, entre 9,2 NTU (noviembre) y 7,3 NTU (setiembre), con un promedio de 8,3 NTU (Figura 90).

Estos bajos valores cumplen en un 100 % con lo establecido por el decreto 253 (50 NTU).

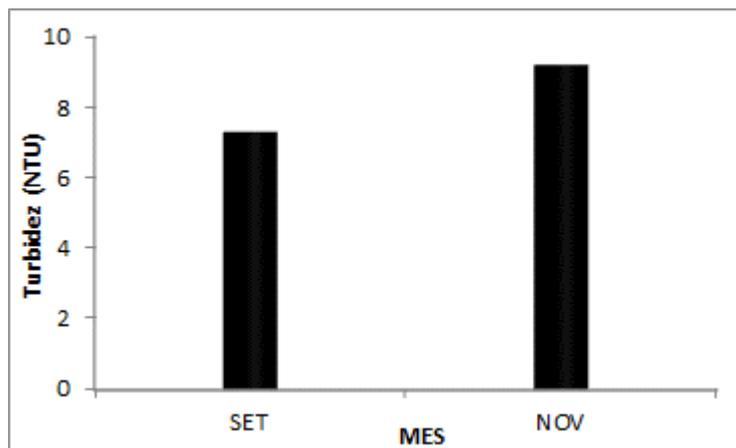


Figura 90. Variación temporal de la turbidez en la subcuenca del Arroyo de la Virgen durante 2015.

Las concentraciones de clorofila *a* en la cuenca del Ao. de la Virgen fueron, promediamente, bajas, fluctuando entre 0,6 µg/l de máximo (noviembre) y 0,3 µg/l de mínimo (setiembre), con un promedio de 0,5 µg/l (Figura 91)

El cálculo de la relación Cloa/Feoa muestra, en las dos muestras analizadas, que la población fitoplanctónica se encontraba en estado senescente.

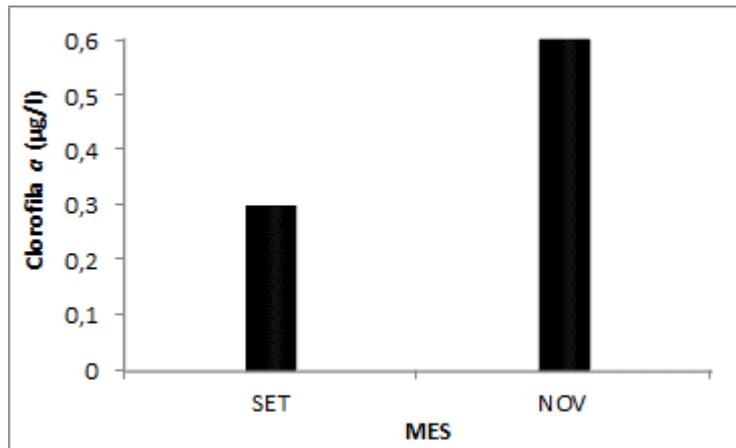


Figura 91. Variación temporal de la clorofila α en la subcuenca del Arroyo de la Virgen durante 2015.

6.8.2. Nutrientes

Los nitratos presentaron valores bajos, ubicados entre un máximo de 0,73 mg/l (setiembre) y un mínimo de 0,45 mg/l (noviembre), con un promedio de 0,6 mg/l.

Los valores de NO_3 cumplieron con la norma en el 100 % de las muestras.

Los valores de nitritos estuvieron, en ambos casos, por debajo del límite de detección de la técnica, por lo cual, se cumple con la normativa en el 100 % de los casos.

El amonio libre presentó valores bajos, ubicándose entre 0,0054 mg/l (setiembre) y 0,0003 mg/l (noviembre), con un promedio de 0,0028 mg/l.

Siendo el valor estándar $\leq 0,02$ mg/l, el 100 % de las muestras cumplió con el mismo.

El nitrógeno total se mantuvo muy estable en el tiempo, con un máximo de 1,44 mg/l en setiembre y un mínimo de 1,43 mg/l en noviembre (Figura 92).

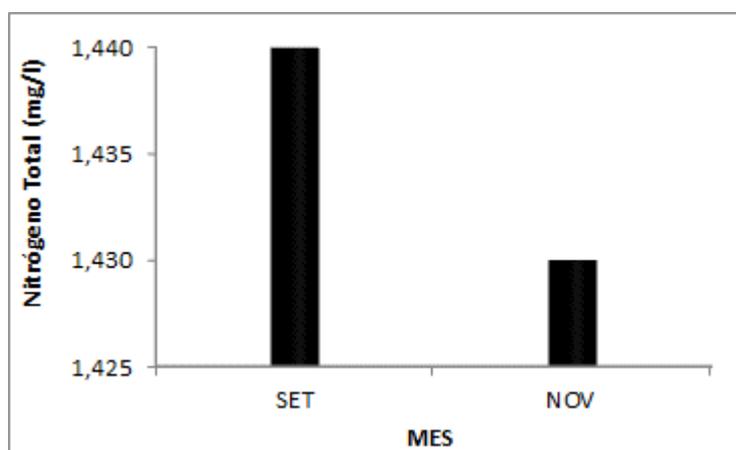


Figura 92. Variación temporal del nitrógeno total en la subcuenca del Arroyo de la Virgen durante 2015.

El fósforo total, al igual que en las restantes subcuencas, mostró valores altos. La concentración máxima fue de 460 µg/l (noviembre) y la mínima de 421 µg/l (setiembre), con un promedio de 440 µg/l (Figura 93).

Ambos valores superan largamente al establecido en el decreto 253 (25 µg/l) por lo cual el incumplimiento de la norma es del 100 %.

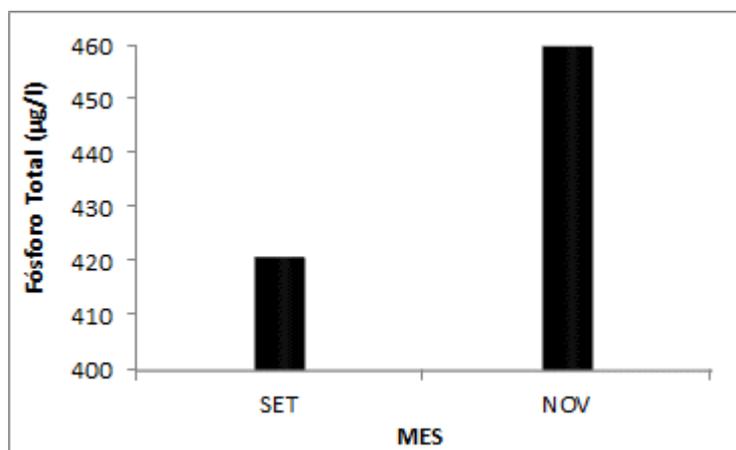


Figura 93. Variación temporal del fósforo total en la subcuenca del Arroyo de la Virgen durante 2015.

6.8.3. Síntesis de la subcuenca del Arroyo de la Virgen

Los resultados presentados para esta subcuenca son muy parciales, ya que pertenecen sólo a las dos primeras campañas efectuadas en este punto. De acuerdo a estos pocos resultados podría inferirse que la calidad del agua del Ao. de la Virgen es aceptable. Siete de las variables consideradas muestran un cumplimiento del 100 % (OD, DBO5, turbidez, NO3, NO2, amonio libre y AOX), mientras que el pH registra un cumplimiento del 50% y el PT, como es habitual en la cuenca del Santa Lucía, tiene un incumplimiento del 100 %.

De estos resultados parciales surgiría que el Ao. de la Virgen es poco afectado por la presión de la cuenca; pero sólo la continuidad en el tiempo de este monitoreo podrá confirmar o refutar esta primera impresión.

Las variables no detalladas en esta descripción se muestran temporalmente estables en la cuenca y con valores bajos, no representando un riesgo potencial.

6.9. 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 cuáles 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, agregando a partir de 2015, AV05 (Figura 94). Se concretaron en este período 6 campañas y 38 análisis en cada parámetro.



Figura 94. Ubicación de las estaciones de monitoreo de agroquímicos y AOX en cursos de agua de la cuenca del Santa Lucía.

Los compuestos analizados son: Atrazina, Endosulfan α , Endosulfan β , Endosulfan SO_4 , Glifosato, AMPA 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. 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 $\mu g/l$ reportado por la República Federal de Alemania para protección de biota acuática y prevención de la contaminación del agua.

Atrazina

Este compuesto no fue cuantificado en ninguna de las muestras analizadas. Cumple en un 100 % con el valor de referencia.

Glifosato y AMPA

En el 100% de los resultados (38 en total para cada variable) el glifosato y el AMPA no fueron detectados o cuantificados. Siendo el estándar para el glifosato de 65 µg/l, se puede concluir que hay un 100% de cumplimiento para este compuesto.

Endosulfán

De los análisis reportados para el año 2015, en ningún caso fue detectado en 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 8% superó el estándar -tomado como referencia- de 25 µg/l. La concentración de AOX registró valores entre <10 y 30 µg/l, con ese valor máximo en la estación SJ05 en enero. En esa misma fecha se presentaron valores cuantificables en SJ04 (25 µg/l), SL06 (21 µg/l) y CA04 (19 µg/l).

Sin alcanzar nunca el valor de referencia, en la estación CA04 se registran 4 valores cuantificables (en seis campañas). También es resaltable que en la estación AV05, en dos medidas realizadas, uno es un valor cuantificable.

6.9.1. 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.

7. ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA

Los índices de calidad de agua pueden ser utilizados para medir cambios en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no.

Teniendo en cuenta los resultados de Quintans (2015) se optó por la utilización (comparación) de dos índices de calidad de agua: (1) ICA-SL, elaborado en la Facultad de Ciencias para ser aplicado en cursos de agua de grado 5 en la cuenca del Santa Lucía (DINAMA - F. Ciencias, 2006-2008). (2) IQA, desarrollado por CETESB (Brasil)

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 muestra en la Tabla VII.

Tabla VII. 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 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

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, se utilizan los datos ponderados según se muestra en la siguiente fórmula, previa normalización como se indica en la Tabla VIII.

$$\text{ICA-SL} = (3 * \text{OD} + 3 * \text{Cond} + 2 * \text{PT} + 1 * \text{NO}_3^{2-} + 1 * \text{SST}) / 10$$

Tabla VIII. 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

También se aplicó el índice de estado trófico IET (Lamparelli, 2004). Este índice presenta la escala de calidad del agua según la concentración de las variables que muestra la tabla IX. Entre todas, se seleccionó el fósforo total como la variable más explicativa.

Tabla IX 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 (µg/L)	DS (m)	IET
Ultraoligotrófico	≤ 0,013	≤ 0,74	≥ 2,4	≤ 47
Oligotrófico	0,013 < PT ≤ 0,035	0,74 < Clo-a ≤ 1,31	2,4 > S ≥ 1,7	47 < IET ≤ 52
Mesotrófico	0,035 < PT ≤ 0,137	1,31 < Clo-a ≤ 2,96	1,7 > S ≥ 1,1	52 < IET ≤ 59
Eutrófico	0,137 < PT ≤ 0,296	2,96 < Clo-a ≤ 4,70	1,1 > S ≥ 0,8	59 < IET ≤ 63
Supereutrófico	0,296 < PT ≤ 0,640	4,70 < Clo-a ≤ 7,46	0,8 > S ≥ 0,6	63 < IET ≤ 67
Hipereutrófico	> 0,640	> 7,46	< 0,6	>67

7.1. Aplicación del IQA

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

Tabla X. 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 durante 2015, muestran que el río Santa Lucía presenta condiciones de calidad media y buena en toda su extensión (Anexo 2). En particular, las mejores condiciones se perciben en la cuenca alta del río. Durante la última campaña del año, en el mes de noviembre se registró buena calidad de agua en toda la cuenca.

El río Santa Lucía Chico tiene calidad media y buena en toda su extensión. Por imposibilidad de acceso, sólo se pudo muestrear una vez en la estación de la cola del embalse; en este caso puntual se observa un cambio favorable con respecto a los resultados de De León & Hill (2015): Los resultados presentados mostraban esta estación SLC03 con calidad “mala”, nuestros resultados indican calidad “media”, pero con valores no cercanos al límite de cambio de categoría, sino promedio dentro de la categoría “media”.

El embalse de Paso Severino muestra en todo momento condiciones de calidad media. Recordando que la estación PS01 del embalse es la misma que SLC03 (en la cola del embalse), cabe el mismo comentario que para la estación SLC03: se aprecia una mejora en la calidad de agua de esta estación.

El río San José mostró predominancia de calidad media, con períodos de buena calidad (en los meses fríos) y un caso de mala calidad en el Arroyo Cagancha en el mes de marzo.

El Ao. Canelón Grande mostró condiciones de calidad media en todo el período, mientras que en el Ao. Canelón Chico se observa claramente la presión antrópica sobre esta cuenca: la estación CA01 (antes de la ciudad de Canelones) tiene un nivel de calidad media durante todo el año. Por el contrario, la estación CA02 (debajo de la ciudad de Canelones) registra condiciones de calidad mala (excepto en enero) y la estación CA04 muestra la fuerte influencia de la precedente, también mostrando condiciones de calidad mala en la mayor parte del año (excepto enero y setiembre).

El Ao. Colorado presentó condiciones de calidad media durante casi todo el año; la excepción se dio en noviembre, mes en que la condición fue de calidad mala.

Los primeros reportes para el Ao. de la Virgen muestran calidad media en el mes de setiembre y buena en el mes de noviembre.

En la tabla XI se presentan los promedios anuales para cada estación de muestreo. En líneas generales se confirman los resultados puntuales. El promedio enmascara las variaciones que se alejan de la media, no mostrando las condiciones de mala y buena calidad que aparecen puntualmente. En el Ao. Canelón Chico las condiciones de mala calidad son permanentes. En el Ao. de la Virgen sólo hay dos resultados a promediar.

Tabla XI: Promedio anual del cálculo del IQA en cada estación muestreada durante 2015.

RÍO SANTA LUCÍA	SL01	SL02	SL03	SL04	SL05	SL06
	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
RÍO SANTA LUCÍA CHICO	SLC01	SLC02	SLC03			
	MEDIA	MEDIA	MEDIA			
EMBALSE PASO SEVERINO	PS01	PS02	PS03	PS04		
	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA		
RÍO SAN JOSE (SJ05- Ao Cagancha)	SJ01	SJ02	SJ03	SJ04	SJ05	
	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	
Aos. CANELÓN GRANDE Y CHICO	CA01	CA02	CA04	CG01	CG02	CG03
	MEDIA	MALA	MALA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
Ao. COLORADO	CO01					
	MEDIA					
Ao. de la VIRGEN	AV 05					
	BUENA					

7.2. 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 (IQA), e incluyen cuatro rangos de calidad a diferencia de los cinco rangos del IQA. En la tabla XII se presenta la escala cromática de calidad definida por el ICA-SL.

Este índice aparece como más sensible que el precedente, mostrando los niveles de calidad de agua más esperables, para los diferentes puntos de muestreo.

El ICA-SL indica que el río Santa Lucía presenta, en todo el cauce principal y a lo largo del año 2015, condiciones de calidad de agua buena y media (Anexo 2). En líneas generales parece ser la temperatura del agua el factor que afecta más directamente esos cambios de categoría. A pesar de no ser una variable –directamente- incluida en las fórmulas de cálculo del índice, mayoritariamente, en las temperaturas más altas se observan los valores de calidad media.

El río Santa Lucía Chico tuvo, promediamente, un agua de calidad media, con algunos períodos de buena calidad, mientras que en el embalse de Paso Severino la calidad de agua también es media durante todo el año, a excepción de un punto de mala calidad en enero en la estación PS03 y otro de buena calidad en la misma estación en julio.

El río San José, de acuerdo al índice ICA-SL presenta condiciones de agua de calidad media (con dos casos puntuales de buena calidad y uno de mala calidad), mientras que en la cuenca baja, si bien promediamente se mantiene la calidad media, los valores del índice son levemente inferiores, mostrando la influencia de la descarga del Ao. Cagancha (estación SJ05). Ésta última muestra condiciones de calidad mala a muy mala en los meses estivales y mejora en aguas más frías.

La cuenca del Ao. Canelón Grande presenta condiciones de calidad mala y muy mala la mayor parte del año en su estación fluvial. En las estaciones del embalse la calidad es media en todo el período. El Ao. Canelón Chico se percibe muy impactado por las actividades en su cuenca. Las dos estaciones sobre su cauce principal muestran condiciones de calidad extremas. Ya desde antes de la ciudad de Canelones, se observa en CA01 condiciones de muy mala a mala calidad en altas temperaturas. Por debajo de la ciudad de Canelones (CA02), sólo en julio se observa un índice que no sea de muy mala calidad de agua. La estación CA04 recibe la influencia directa de la descarga del Canelón Chico, mostrando valores ligeramente atenuados por la dilución de aguas de ambos arroyos.

La calidad de agua del Ao. Colorado, de acuerdo a los resultados del índice ICA-SL es pobre. De los seis muestreos realizados, en dos la calidad fue media, en dos la calidad fue mala y en las dos últimas, muy mala.

El Ao. de la Virgen, por su parte, parece poco afectado por las actividades antrópicas en su cuenca, mostrando valores de calidad media en las dos ocasiones que fue muestreado.

Tabla XII. 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	

Los promedios anuales para cada estación de muestreo muestran que los principales ríos de la cuenca tienen una calidad media a buena, mientras que en los aportantes de menor caudal la calidad es – mayormente- mala a muy mala (Tabla XIII).

Tabla XIII: Promedio anual del cálculo del ICA-SL en cada estación muestreada durante 2015.

RÍO SANTA LUCÍA	SL01	SL02	SL03	SL04	SL05	SL06
	MEDIA	BUENA	MEDIA	BUENA	MEDIA	MEDIA
RÍO SANTA LUCÍA CHICO	SLC01	SLC02	SLC03			
	MEDIA	BUENA	MEDIA			
EMBALSE PASO SEVERINO	PS01	PS02	PS03	PS04		
	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA		
RÍO SAN JOSE (SJ05- Ao Cagancha)	SJ01	SJ02	SJ03	SJ04	SJ05	
	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MALA	
Aos. CANELÓN GRANDE Y CHICO	CA01	CA02	CA04	CG01	CG02	CG03
	MALA	MUY MALA	MALA	MALA	MEDIA	MEDIA
Ao. COLORADO	CO01					
	MALA					
Ao. de la VIRGEN	AV 05					
	MEDIA					

7.3. Aplicación del IET

El Índice de Estado Trófico se puede aplicar a los parámetros indicadores de eutrofización que se muestran en la Tabla XIV. Para el sistema de la cuenca del Santa Lucía el parámetro utilizado fue el 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 XIV.

La aplicación del IET para las estaciones del Río Santa Lucía muestra una tendencia al incremento del estado trófico desde la cabecera hacia la desembocadura (Anexo 2). En las primeras estaciones (SL01 y SL03), el agua es, mayoritariamente, Mesotrófica y eutrófica (con algún caso de supereutrofia). A partir de SL04 tenemos un nivel supereutrófico (con un caso puntual de hipereutrofia). La estación SL02, ubicada sobre el Ao. Casupá, muestra siempre concentraciones menores de PT, y tiene niveles de mesotrofia durante la mayor parte del año.

Tabla XIV. 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 <i>a</i> (µg/)	DS (m)	IET
Ultraoligotrófico	≤ 0,013	≤ 0,74	≥ 2,4	≤ 47
Oligotrófico	0,013 < PT ≤ 0,035	0,74 < Clb- <i>a</i> ≤ 1,31	2,4 > S ≥ 1,7	47 < IET ≤ 52
Mesotrófico	0,035 < PT ≤ 0,137	1,31 < Clb- <i>a</i> ≤ 2,96	1,7 > S ≥ 1,1	52 < IET ≤ 59
Eutrófico	0,137 < PT ≤ 0,296	2,96 < Clb- <i>a</i> ≤ 4,70	1,1 > S ≥ 0,8	59 < IET ≤ 63
Supereutrófico	0,296 < PT ≤ 0,640	4,70 < Clb- <i>a</i> ≤ 7,46	0,8 > S ≥ 0,6	63 < IET ≤ 67
Hipereutrófico	> 0,640	> 7,46	< 0,6	> 67

En el río Santa Lucía Chico, se percibe una evolución del estado trófico a lo largo del cauce del río. Es clara la transición desde un estado meso a eutrófico (con un caso puntual de oligotrofia) en la estación SLC01, a un estado mayoritariamente supereutrófico en la estación SLC02, mientras que desde el punto de vista temporal se observa una cierta uniformidad en el tiempo en ambas estaciones. En el embalse de Paso Severino, sin embargo, los cambios de nivel trófico se observan a lo largo del año (en líneas generales, hipereutrofia en los meses cálidos y reducción a supereutrofia en los meses más fríos). Desde el punto de vista espacial se aprecia homogeneidad en todo el embalse.

El nivel trófico del río San José es variable: la estación SJ01, la más cercana a las nacientes fluctúa entre la eutrofia y la hipereutrofia, mientras que la estación SJ02 muestra un índice inferior, entre la mesotrofia y la supereutrofia. Las estaciones de la cuenca baja, SJ03 y SJ04 reciben la fuerte influencia de la descarga del Ao. Cagancha (estación SJ05). La estación SJ05 es prácticamente todo el año hipereutrófica, mientras que las otras (SJ03 y SJ04), dependiendo de la dilución, son generalmente supereutróficas (con casos de hipereutrofia).

La cuenca del canelón muestra niveles de trofia preocupantes. Todas las estaciones (fluviales y de embalse), salvo 3 excepciones (en 36) presentan nivel de hipereutrofia. Sólo en período de aguas frías se alcanza una disminución de este nivel.

La estación del Ao. Colorado muestra niveles de hipereutrofia en cuatro de las seis campañas realizadas, mientras que el nivel es de supereutrofia en las dos campañas restantes.

La estación del Ao. de la Virgen presenta nivel de hipereutrofia en las dos oportunidades en que fue muestreada.

El promedio anual del IET para cada estación de muestreo indica condiciones hipereutróficas en todos los arroyos muestreados. En los cauces principales las condiciones fluctúan desde la mesotrofia a la supereutrofia (Tabla XV).

Tabla XV: Promedio anual del cálculo del IET en cada estación muestreada durante 2015.

RÍO SANTA LUCÍA	SL01	SL02	SL03	SL04	SL05	SL06
	62	58	59	62	64	65
RÍO SANTA LUCÍA CHICO	SLC01	SLC02	SLC03			
	59	65	66			
EMBALSE PASO SEVERINO	PS01	PS02	PS03	PS04		
	66	67	67	67		
RÍO SAN JOSE (SJ05- Ao Cagancha)	SJ01	SJ02	SJ03	SJ04	SJ05	
	66	62	67	66	70	
Aos. CANELÓN GRANDE Y CHICO	CA01	CA02	CA04	CG01	CG02	CG03
	70	73	72	69	70	70
Ao. COLORADO	CO01					
	71					
Ao. de la VIRGEN	AV 05					
	67					

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.

8. SÍNTESIS

Entre los resultados más relevantes del programa de monitoreo de calidad de agua de la Cuenca del Río Santa Lucía obtenidos en el año 2015, se registró cumplimiento de los estándares de calidad de agua con alta frecuencia (>90%) en casi todas las subcuencas (ver Anexo I). 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, considerando el total de la cuenca del Santa Lucía, no cumplió con la norma en el 99 % de las muestras analizadas. 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. Siempre considerando la totalidad de la cuenca, la mayor parte de las variables cumplió con el estándar en > 90 % de los casos (DBO₅ (99 %), NO₃ (99 %), NO₂ (98 %), amonio libre (96 %), turbidez (94 %) y coliformes termotolerantes (94 %). Las dos variables restantes cumplieron con la norma en > 80 %: pH (89%) y oxígeno disuelto (87 %).

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 Canelón, 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, lo mismo que para los AOX, los que en ninguna ocasión superaron el nivel guía de 25 µg/l.

Para contextualizar los resultados obtenidos en 2015, se aplicaron dos índices de calidad de agua y uno de estado trófico en cada punto de muestreo. Tanto el IQA como el ICA-SL coincidieron que la calidad predominante en el conjunto de la cuenca es media, con características de buena calidad en algunas partes (sobre todo altas) de la cuenca; y con mala/muy mala calidad en las cuencas de los arroyos Colorado y Canelón Chico.

El estado trófico según el índice IET también muestra incremento desde estado mesotrófico en las nacientes a super e hipereutrófico en la desembocadura de los ríos. Los arroyos Canelón Grande y Chico, Colorado, de la Virgen y Cagancha son predominantemente hipereutróficos según este índice.

9. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA-

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.

De León, L. & M. Hill, 2015. Calidad del agua de la cuenca del río Santa Lucía. Período 2005 – 2014. Inf. Tec. DINAMA: 126 pp.

Dinama, 2011. <http://www.mvotma.gub.uy/calidad-del-agua.html>

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

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, 2011

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

LAMPARELLI, M. C., 2004. Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. São Paulo: USP/Departamento de Ecologia. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 235 pp

MVOTMA, 2015. http://www.mvotma.gub.uy/images/estado_sl.pdf

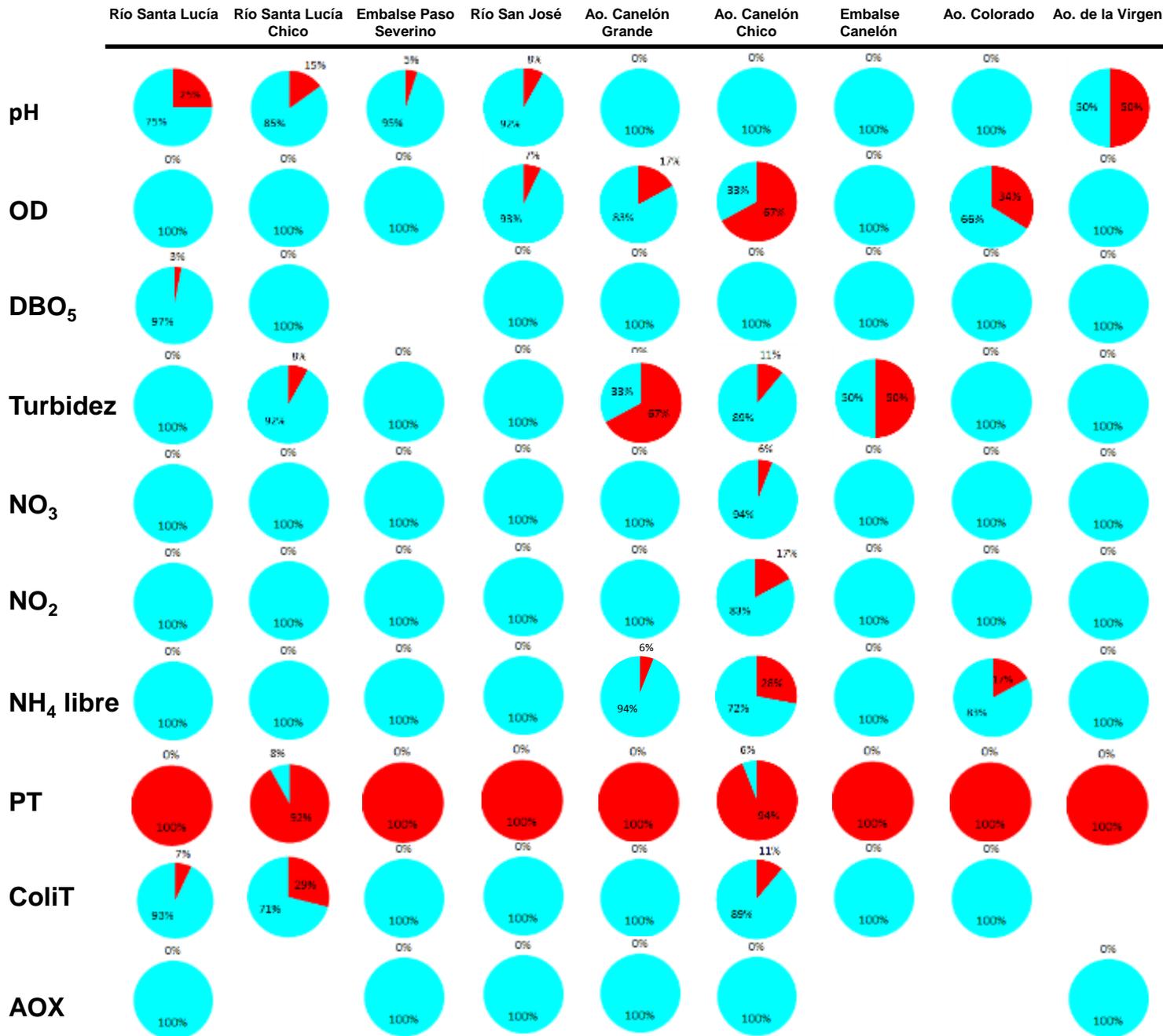
Quintans, F. 2015. Propuesta de aplicación de índices de calidad de agua para la Cuenca del Santa Lucía. Informe de consultoría. Proyecto PNUD URU/14/001. DINAMA-DCA.

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

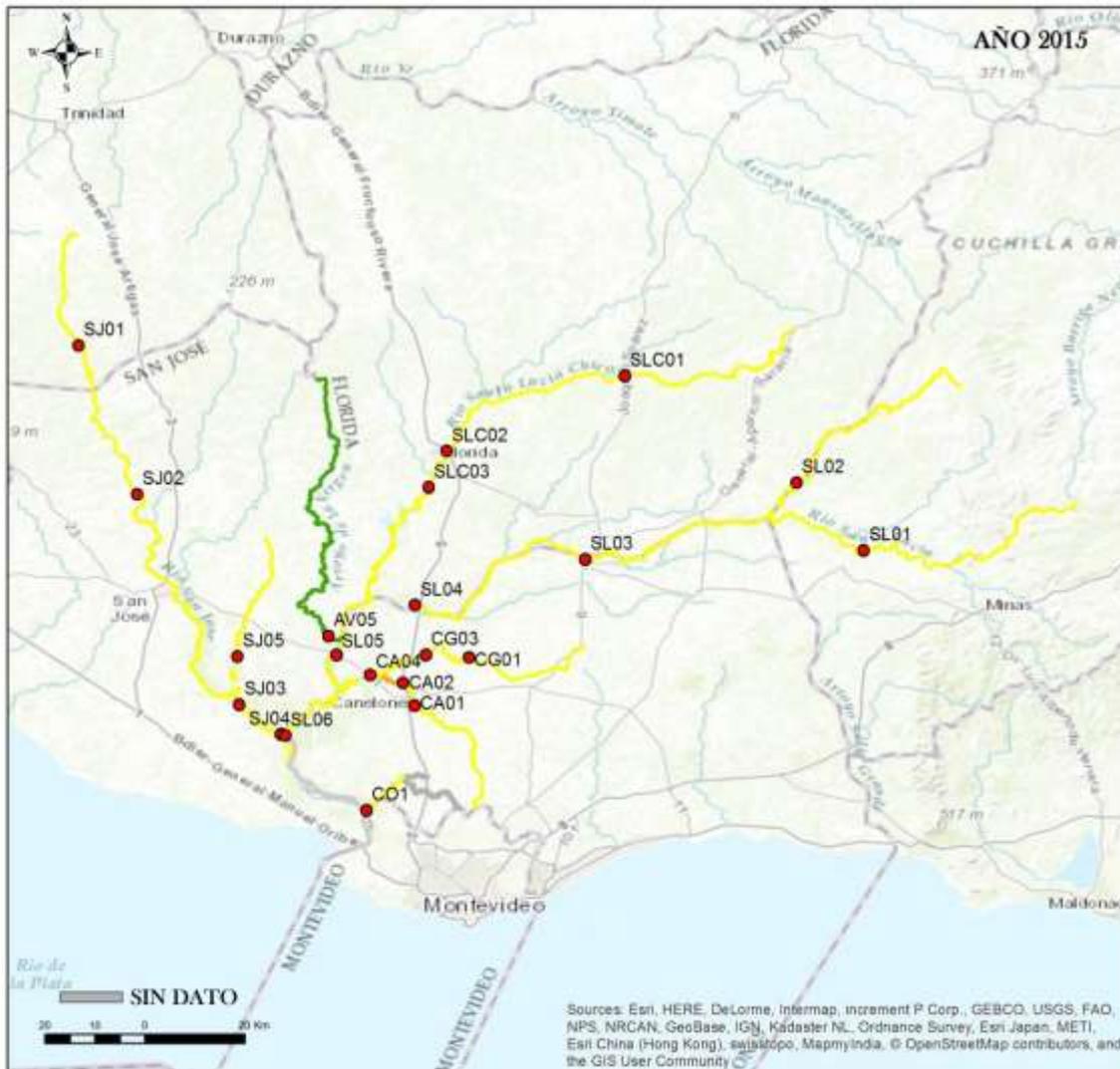
Disponible en:

http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/eda201_02.htm

ANEXO 1: Resultado sinóptico de los porcentajes de cumplimiento (celeste) e incumplimiento (rojo) de cada variable con respecto a su valor estándar en las diferentes subcuencas muestreadas durante 2015.



Resultados de la aplicación del IQA



MONITOREO SANTA LUCIA

IQA: Índice de Calidad de Agua. Define la aptitud del cuerpo de agua respecto a los usos prioritarios (consumo, riego, etc).

Rangos	IQA
91-100	excelente
71-90	Buena
51-70	Media
26-50	Mala
0-25	Muy mala



Elaboración: GERENCIA INFORMACIÓN, PLANIFICACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL (D.I.A.) División Información Ambiental. Fuente: División Calidad Ambiental - Departamento Evaluación Calidad del AGUA - DINAMA - MVOTMA

Fecha: 09/05/2017	Proyeccion: UTM 21S	Lamina: 1 I.Q.A
Escala: 1:1.000.000	Datum: WGS_1984	

RÍO SANTA LUCÍA

	SL01	SL02	SL03	SL04	SL05	SL06
ENERO	BUENA	MEDIA	BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
MARZO	MEDIA	BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
MAYO	BUENA	BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
JULIO	MEDIA	BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
SETIEMBRE	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
NOVIEMBRE	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA

RÍO SANTA LUCÍA CHICO

	SLC01	SLC02	SLC03
ENERO	MEDIA	MEDIA	
MARZO	MEDIA	MEDIA	
MAYO	BUENA	BUENA	
JULIO	MEDIA	BUENA	
SETIEMBRE	BUENA	MEDIA	
NOVIEMBRE	MEDIA	MEDIA	MEDIA

EMBALSE PASO SEVERINO

	PS01	PS02	PS03	PS04
ENERO		MEDIA	MEDIA	MEDIA
MARZO		MEDIA	MEDIA	MEDIA
MAYO		MEDIA	MEDIA	MEDIA
JULIO		MEDIA	MEDIA	MEDIA
SETIEMBRE		MEDIA	MEDIA	MEDIA
NOVIEMBRE	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA

RÍO SAN JOSÉ

	SJ01	SJ02	SJ03	SJ04	SJ05
ENERO	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
MARZO	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	BAD
MAYO	BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
JULIO	MEDIA	BUENA	BUENA	BUENA	MEDIA
SETIEMBRE	MEDIA	BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
NOVIEMBRE	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA

ARROYOS CANELÓN GRANDE Y CHICO

	CA01	CA02	CA04	CG01	CG02	CG03
ENERO	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
MARZO	MEDIA	MALA	MALA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
MAYO	MEDIA	MALA	MALA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
JULIO	MEDIA	MALA	MALA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
SETIEMBRE	MEDIA	MALA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
NOVIEMBRE	MEDIA	MALA	MALA	MEDIA	MEDIA	MEDIA

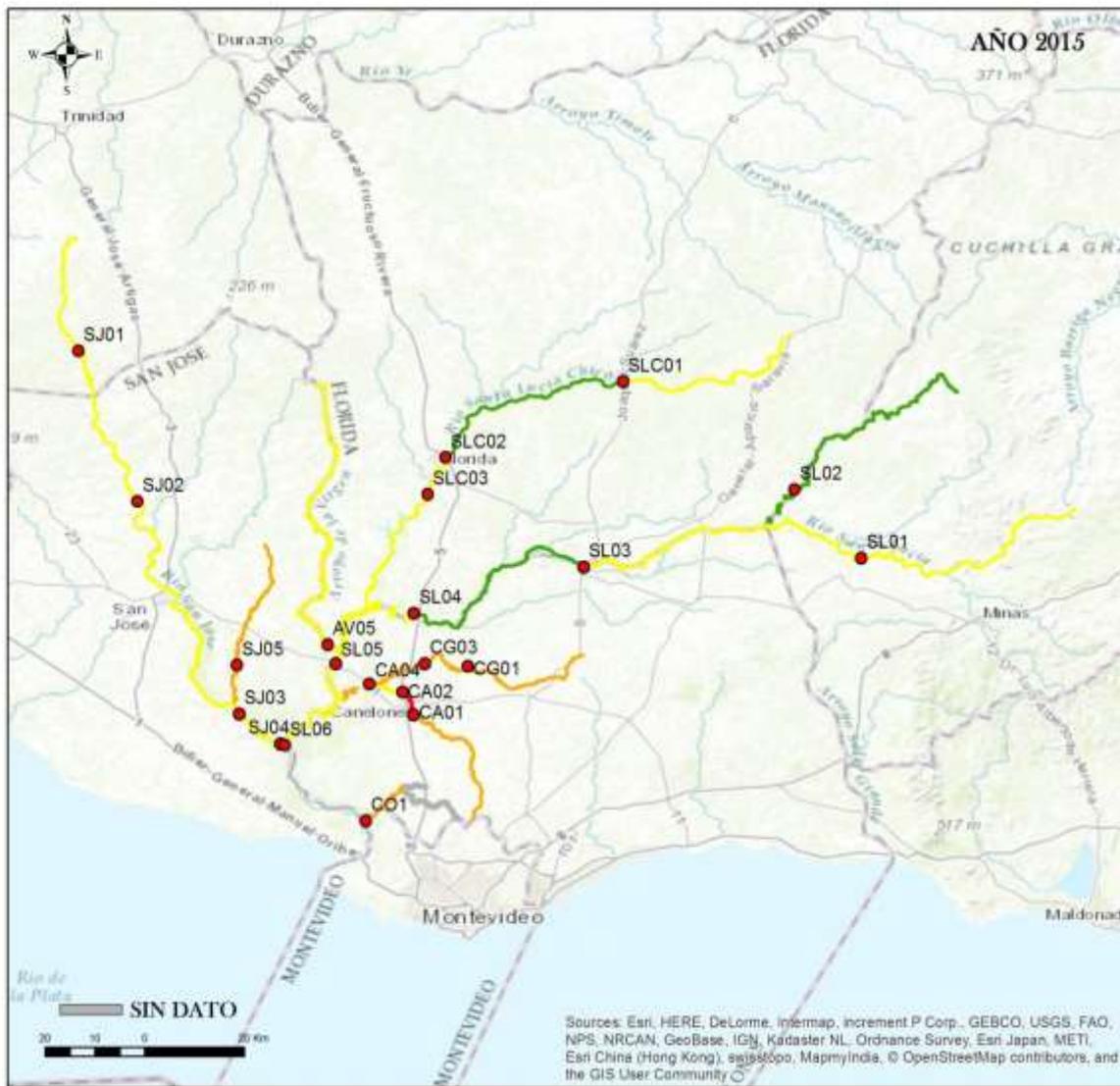
Ao. COLORADO

	CO01
ENERO	MEDIA
MARZO	MEDIA
MAYO	MEDIA
JULIO	MEDIA
SETIEMBRE	MEDIA
NOVIEMBRE	MALA

Ao. de la VIRGEN

	AV05
ENERO	
MARZO	
MAYO	
JULIO	
SETIEMBRE	MEDIA
NOVIEMBRE	BUENA

Resultados de la aplicación del ICA-SL



MONITOREO SANTA LUCIA

ICA: Índice de Calidad de Agua. Define la aptitud del cuerpo de agua respecto a los usos prioritarios (consumo, riego, etc).

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



Elaboración: GERENCIA INFORMACIÓN, PLANIFICACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL (D.I.A.) División Información Ambiental. Fuente: División Calidad Ambiental - Departamento Evaluación Calidad del AGUA - DINAMA - MVOTMA

Fecha: 09/05/2017	Proyección: UTM 21S	Lamina: 1
Escala: 1:1.000.000	Datum: WGS_1984	I.C.A.

Resultado de la aplicación del ICA-SL en las estaciones de monitoreo en las diferentes subcuencas.

RÍO SANTA LUCÍA

	SL01	SL02	SL03	SL04	SL05	SL06
ENERO	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
MARZO	MEDIA	MEDIA	MEDIA	BUENA	MEDIA	MEDIA
MAYO	BUENA	BUENA	MEDIA	BUENA	BUENA	MEDIA
JULIO	MEDIA	BUENA	BUENA	MEDIA	BUENA	BUENA
SETIEMBRE	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA
NOVIEMBRE	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	MEDIA	MEDIA

RÍO SANTA LUCÍA CHICO

	SLC01	SLC02	SLC03
ENERO	MEDIA	MEDIA	
MARZO	MEDIA	MEDIA	
MAYO	MEDIA	MEDIA	
JULIO	BUENA	MEDIA	
SETIEMBRE	BUENA	MEDIA	
NOVIEMBRE	MEDIA	BUENA	MEDIA

EMBALSE PASO SEVERINO

	PS01	PS02	PS03	PS04
ENERO		MEDIA	MALA	MEDIA
MARZO		MEDIA	MEDIA	MEDIA
MAYO		MEDIA	MEDIA	MEDIA
JULIO		MEDIA	BUENA	MEDIA
SETIEMBRE		MEDIA	MEDIA	MEDIA
NOVIEMBRE	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA

RÍO SAN JOSÉ

	SJ01	SJ02	SJ03	SJ04	SJ05
ENERO	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MALA
MARZO	MEDIA	MEDIA	MALA	MALA	MUY MALA
MAYO	BUENA	BUENA	MEDIA	MEDIA	MALA
JULIO	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
SETIEMBRE	MEDIA	MEDIA	BUENA	BUENA	MEDIA
NOVIEMBRE	MALA	MEDIA	MEDIA	MALA	MEDIA

ARROYOS CANELÓN GRANDE Y CHICO

	CA01	CA02	CA04	CG01	CG02	CG03
ENERO	MUY MALA	MUY MALA	MALA	MUY MALA	MEDIA	MEDIA
MARZO	MALA	MUY MALA	MUY MALA	MALA	MEDIA	MEDIA
MAYO	MEDIA	MUY MALA	MUY MALA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
JULIO	MALA	MALA	MEDIA	MALA	MEDIA	MEDIA
SETIEMBRE	MEDIA	MUY MALA	MEDIA	MALA	MEDIA	MEDIA
NOVIEMBRE	MUY MALA	MUY MALA	MALA	MUY MALA	MEDIA	MEDIA

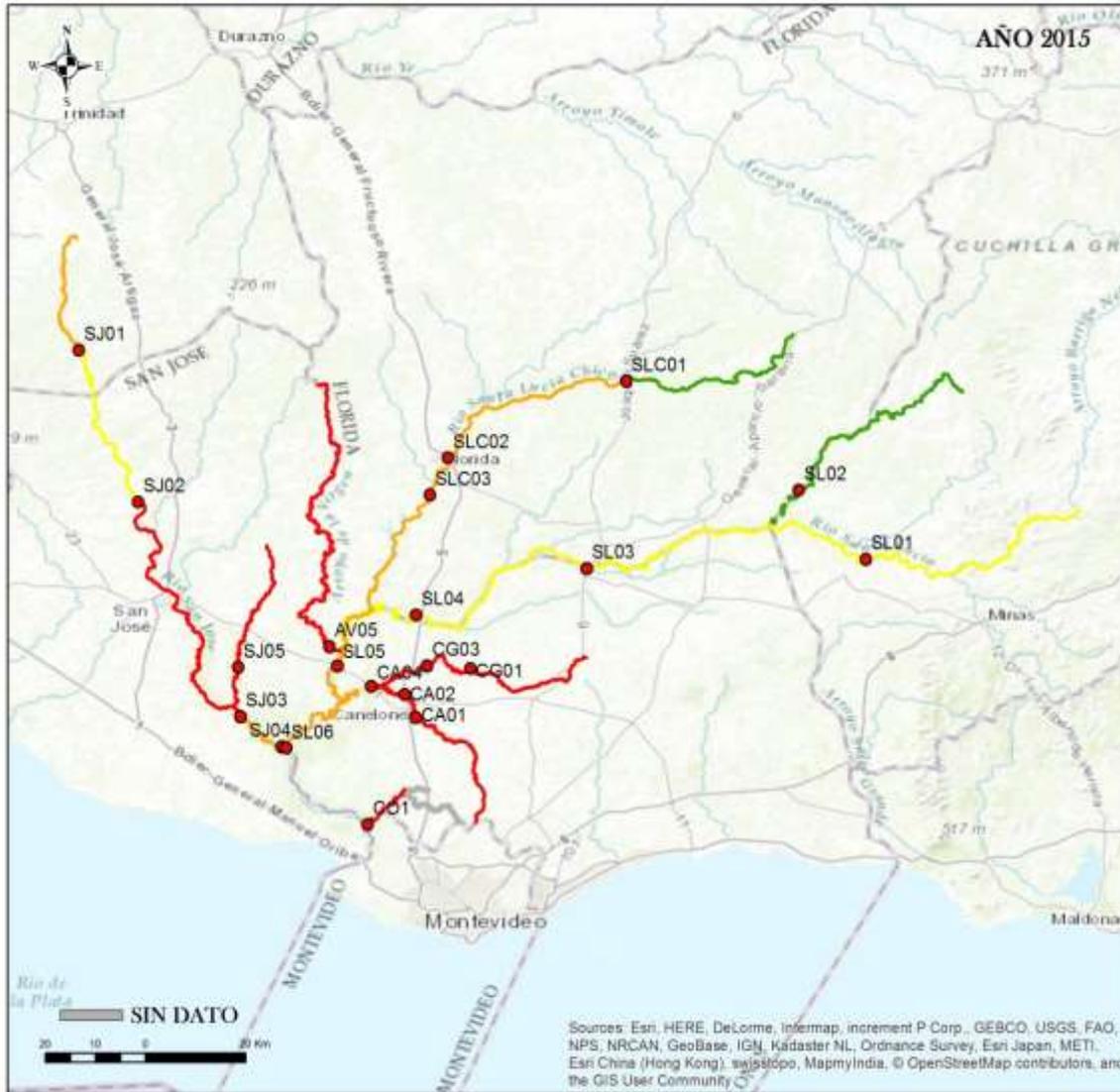
Ao. COLORADO

	CO01
ENERO	MALA
MARZO	MEDIA
MAYO	MALA
JULIO	MUY MALA
SETIEMBRE	MEDIA
NOVIEMBRE	MUY MALA

Ao. de la VIRGEN

	AV05
ENERO	
MARZO	
MAYO	
JULIO	
SETIEMBRE	MEDIA
NOVIEMBRE	MEDIA

Resultados de la aplicación del I.E.T



MONITOREO SANTA LUCIA

IET: Índice de estado Trófico. Clasifica los cuerpos de agua en diferentes grados de trofia (enriquecimientos de nutrientes)

Nivel trófico	Fósforo total (mg/L)	IET
Ultraoligotrófica	≤ 0,03	≤ 47
Oligotrófica	0,03 < PT ≤ 0,035	47 < IET ≤ 52
Mesotrófica	0,035 < PT ≤ 0,137	52 < IET ≤ 56
Eutrófica	0,137 < PT ≤ 0,296	56 < IET ≤ 63
Supereutrófica	0,296 < PT ≤ 0,640	63 < IET ≤ 67
Hiperestrófica	> 0,640	> 67



Elaboración: GERENCIA INFORMACIÓN, PLANIFICACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL (D.I.A.) División Información Ambiental. Fuente: División Calidad Ambiental - Departamento Evaluación Calidad del AGUA - DINAMA - MVOTMA

Fecha: 10/05/2017	Proyección: UTM 21S	Lamina: 1 I.E.T
Escala: 1:1.000.000	Datum: WGS_1984	

RÍO SANTA LUCÍA

	SL01	SL02	SL03	SL04	SL05	SL06
ENERO	60	58	60	63	65	65
MARZO	61	59	60	65	66	63
MAYO	63	53	58	63	65	68
JULIO	60	56	58	61	63	65
SETIEMBRE	59	59	60	62	64	63
NOVIEMBRE	64	62	59	56	61	65

RÍO SANTA LUCÍA CHICO

	SLC01	SLC02	SLC03
ENERO	61	66	
MARZO	59	66	
MAYO	59	65	
JULIO	49	61	
SETIEMBRE	60	64	
NOVIEMBRE	59	65	66

EMBALSE PASO SEVERINO

	PS01	PS02	PS03	PS04
ENERO		68	67	68
MARZO		67	67	67
MAYO		67	66	66
JULIO		66	64	65
SETIEMBRE		67	67	68
NOVIEMBRE	66	65	67	67

RÍO SAN JOSÉ

	SJ01	SJ02	SJ03	SJ04	SJ05
ENERO	65	64	66	66	69
MARZO	59	63	68	68	75
MAYO	62	61	69	67	69
JULIO	60	60	67	66	66
SETIEMBRE	71	59	65	62	68
NOVIEMBRE	67	65	66	67	69

ARROYOS CANELÓN GRANDE Y CHICO

	CA01	CA02	CA04	CG01	CG02	CG03
ENERO	71	76	72	69	70	70
MARZO	72	78	73	69	71	71
MAYO	69	85	73	69	70	70
JULIO	65	48	71	69	70	70
SETIEMBRE	71	72	70	66	70	70
NOVIEMBRE	70	72	71	69	69	69

Ao. COLORADO

	CO01
ENERO	68
MARZO	65
MAYO	70
JULIO	71
SETIEMBRE	66
NOVIEMBRE	75

Ao. de la VIRGEN

	AV05
ENERO	
MARZO	
MAYO	
JULIO	
SETIEMBRE	67
NOVIEMBRE	68