



MONITOREO Y EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUA
Río Santa Lucía
Resultados del rediseño del programa (período 2011)
División de Evaluación de la Calidad Ambiental



División Evaluación de Calidad Ambiental

Director Ing. Luis Reolón

Departamento de Calidad Ambiental – DCA

Jefe de Dpto.: Gabriel Yorda

Redacción del Informe:

Lizet De León, Consultora. Proy.URU/07/012

Alejandro Cendón

Responsable del Programa de Monitoreo:

Alejandro Cendón

Técnicos participantes:

Gerardo Balero, César García, Javier Martínez

Análisis de Laboratorio: Dpto. Laboratorio Ambiental DINAMA

Jefa Laboratorio: Natalia Barboza

Participan Intendencias de:

Canelones, Lavalleja, Florida y San José

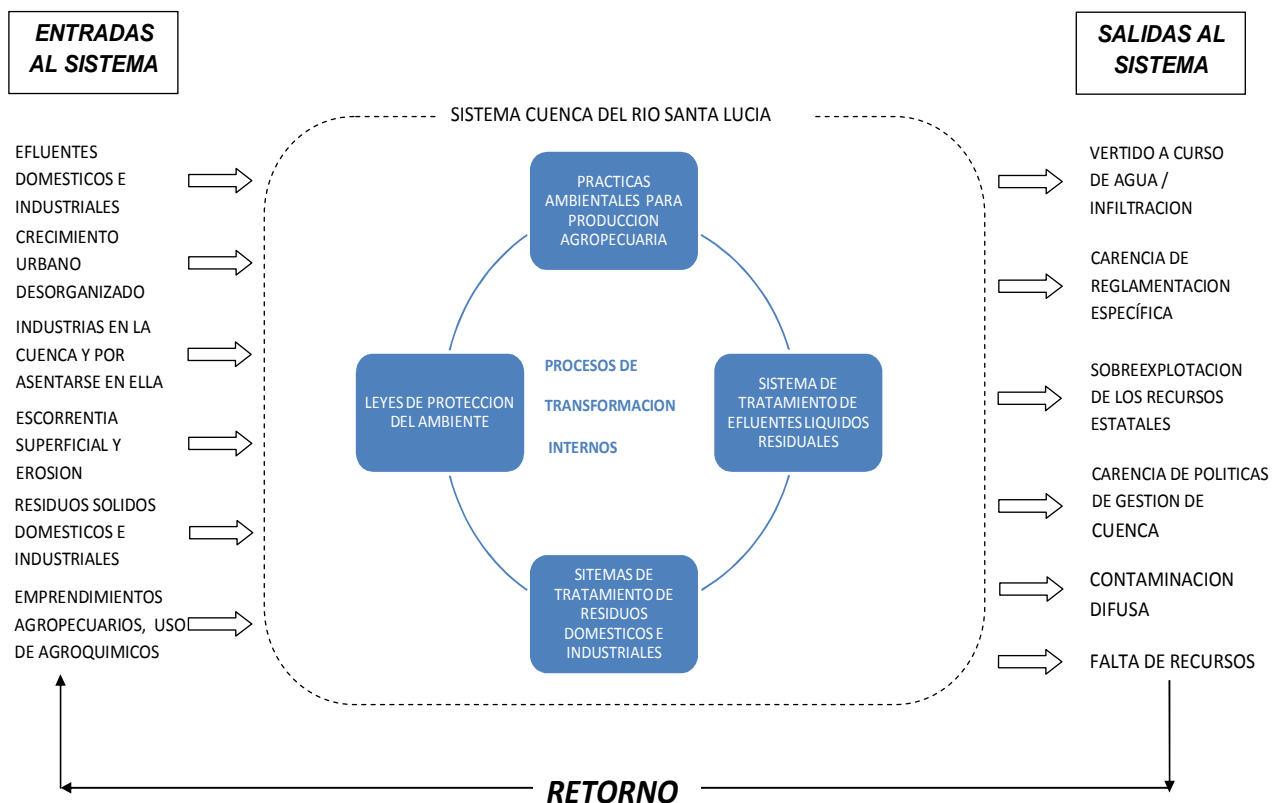
CONTENIDO

CONTENIDO.....	4
INTRODUCCIÓN.....	6
Rediseño del programa de monitoreo	7
Objetivo del informe.....	8
ÁREA DE ESTUDIO	8
METODOLOGÍA	9
Estaciones	9
Frecuencia:.....	10
Variables.....	10
Logística.....	11
RESULTADOS.....	11
SUBCUENCA del RÍO SANTA LUCÍA.....	12
SUB CUENCA del RIO SANTA LUCÍA CHICO.....	20
SUBCUENCA del ARROYO CANELONES.....	26
SUB CUENCA RIO SAN JOSÉ.....	33
SÍNTESIS.....	37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

Monitoreo de Calidad de Agua del Río Santa Lucía. Resultados del rediseño del programa (período 2011)

INTRODUCCIÓN

El Río Santa Lucía y sus afluentes, constituyen uno de los sistemas fluviales más importantes del país. 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 (esquema 1).



Esquema 1. Descripción del funcionamiento de la Cuenca del Río Santa Lucía destacando las presiones ambientales (entradas al sistema) que afectan los procesos internos y que determinan las características ambientales (salidas del sistema) de la cuenca. Tomado de DINAMA-JICA, 2009.

Debido a la importancia de este sistema, la DINAMA ha realizado esfuerzos por determinar el estado ambiental de la cuenca del Río Santa Lucía, 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, etc.) 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, 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 un nuevo diseño de monitoreo que se identifica como "rediseño", cuyos primeros resultados son el objetivo de este informe. Las publicaciones surgidas de esta cooperación están disponibles en la página www.jica.org.uy y en www.mvotma.gub.uy.

Paralelamente, la DINAMA estableció un convenio con la Universidad de la República (Facultad de Ciencias- Sección Limnología) a fin de desarrollar un estudio para definir índices y bioindicadores de calidad de agua para el país. El trabajo se inició en la cuenca del RSL entre 2006 y 2008, en los arroyos vadeables (someros, de bajo caudal) resultados que constituyen aportes sustanciales para el establecimiento de otras formas de evaluar la calidad del agua (Arocena y colaboradores, 2008). La información más relevante se encuentra en el Informe Nacional del Estado del Ambiente (DINAMA, 2009) disponible en www.mvotma.gub.uy y el informe completo puede consultarse en <http://limno.fcien.edu.uy>

Rediseño del programa de monitoreo

De acuerdo con la revisión de los antecedentes y resultados obtenidos en el marco del convenio de Cooperación técnica y científica entre JICA y DINAMA, en febrero de 2010 se presentó un nuevo diseño del plan de monitoreo de calidad de agua de la cuenca del Río Santa Lucía ante el Comité Técnico Especial integrado por técnicos de DINAMA, DINAGUA, OSE, e Intendencias de la cuenca (DINAMA-JICA, 2010 - Informe N°4).

El nuevo plan tiene especial atención en los siguientes aspectos:

- Considerar como base de la información lo aprendido en los períodos previos de la Cooperación JICA-DINAMA.
- Dar continuidad a los datos obtenidos desde el programa inicial.

- Estructurar el nuevo programa en base a subcuencas hidrográficas.
- Involucrar a las Intendencias con mayor grado de compromiso.
- Estructurar el monitoreo en Niveles de acuerdo al objetivo de estudio.

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

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

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

Objetivo del informe

El objetivo de este trabajo es organizar y revisar los datos de campo y laboratorio obtenidos a partir de la nueva etapa de monitoreo ("rediseño") y disponerlos para su divulgación.

ÁREA DE ESTUDIO

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

De acuerdo con la organización del Programa de Monitoreo en niveles de muestreo, las estaciones fueron situadas en puntos estratégicos de las subcuencas, algunos de los cuales coinciden con los programas anteriores. En la tabla 2 se indican las estaciones de muestreo y la subcuenca donde se encuentran. Para facilitar la visualización, cada subcuenca con sus correspondientes sitios de muestreo se muestran al inicio de cada resultado (figuras 3, 14, 23 y 33), acompañado de un esquema esclarecedor.

Una detallada descripción de las características de la cuenca hidrográfica del Río Santa Lucía, se puede consultar en Inda & Indarte (2009) y sobre antecedentes de calidad de agua en DINAMA-JICA (<http://www.dinama.gub.uy/jica>) y DINAMA-F.Ciencias, 2009 (<http://limno.fcien.edu.uy>).

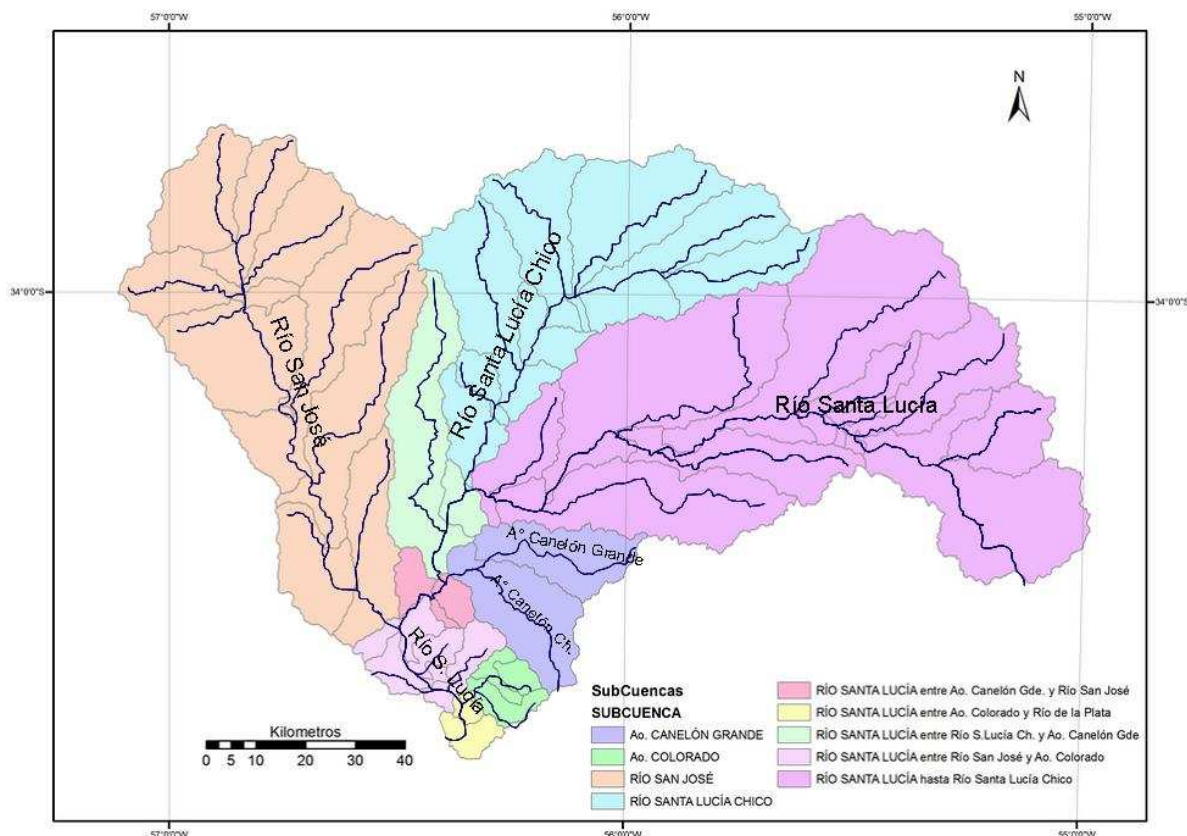


Figura 1. Cuenca del Río Santa Lucía diferenciando en las subcuencas y microcuencas que la componen de acuerdo con la información de DNH. Modificado de Inda & Indarte (2009).

METODOLOGÍA

Los fundamentos de la nueva definición del programa de monitoreo de calidad de agua, así como el detalle de la metodología propuesta se pueden consultar en los informes del equipo técnico de JICA, disponibles en www.dinama.gub.uy/jica

Estaciones

En cada subcuenca se definieron estaciones de monitoreo que corresponden al Nivel 1; mientras que en algunas también se incluyeron estaciones de otros niveles según las características de la cuenca y el objetivo de estudio. En la tabla 2 se indican los niveles de monitoreo realizados en cada subcuenca y la nomenclatura de las estaciones seleccionadas.

Tabla 2. Nomenclatura y distribución de las estaciones de muestreo de acuerdo a la subcuenca donde se ubican y al Nivel de monitoreo (tabla 1)

SUBCUENCA	Río Santa Lucía	Santa Lucía Chico	Canelones	San José
ESTACIONES de Nivel 1	SL01 SL02 SL03 SL04 SL05 SL06	SLC01 SLC02 SLC03 SLC04	CA01 CA02 CA03=CG02 CA04	SJ01 SJ02 SJ03 SJ04
Nivel 2	CO01			SJ05
Nivel 3		PS2 (Paso Severino) PS3 PS4	CG01 (Canelón Grande) CG03 CG02	

Frecuencia:

El monitoreo está planteado para realizar con una frecuencia bimestral, a fin de obtener seis datos al año. La primera etapa del rediseño del programa de monitoreo se desarrolló en los meses de enero, marzo, mayo y julio de 2011. Por razones logísticas se interrumpieron las campañas restantes.

Variables

Las variables de calidad de agua incluidos en este programa, fueron definidas en función de los resultados alcanzados en los programas previos desarrollados por DINAMA-JICA, en el que participaron instituciones nacionales y departamentales. Se presentan en la tabla 3. Algunas están incluidas en el Decreto 253/79 y modificativos (tabla 4), a las que se agregaron otras, por considerar que proporcionan información relevante para los objetivos del monitoreo.

Tabla 3. Variables de calidad de agua incluidas en el Programa de Monitoreo de la Cuenca del Río Santa Lucía (rediseño)

Parámetros <i>in situ</i>	Análisis de Laboratorio	Datos complementarios
pH	Color	Lluvia (DNM)
OD (% & mg/L)	Turbidez	Caudales (DINAGUA)
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	

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

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

PARÁMETRO	ESTÁNDAR
- 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

Logística

La realización de los muestreos se coordina entre la DINAMA y las Intendencias Municipales (Direcciones de Higiene o Gestión Ambiental según corresponda) de los Departamentos de la cuenca hidrográfica: Canelones, Florida, Lavalleja y San José. La misma se realiza con, al menos, 3 semanas de antelación por comunicación telefónica y via mail.

Los muestreos se realizan durante 4 días en dos semanas. Esta dinámica está determinada también por las coordinaciones con el Dpto. de Laboratorio Ambiental de DINAMA, responsable de disponer los recipientes, coordinar los análisis con otros laboratorios y realizar los análisis correspondientes.

Participan en las tareas de cada muestreo dos técnicos de DINAMA-DECA que van al campo, un técnico de apoyo en Montevideo y los técnicos del Dpto. de Laboratorio Ambiental de DINAMA en la recepción y análisis del material. La participación de los técnicos departamentales (2 por intendencia) es irregular.

RESULTADOS

En este capítulo, se presentan los resultados de los parámetros ambientales medidos *in situ* en los cuatro muestreos realizados hasta la fecha, y los resultados analíticos correspondientes a los primeros dos muestreos, procesados por el Dpto. de Laboratorio de DINAMA hasta la fecha. Los resultados se presentan por subcuencas, de acuerdo a la ordenación de estaciones de la tabla 1.

SUBCUENCA del RÍO SANTA LUCÍA

El Río Santa Lucía constituye el cuerpo de agua base de todo el sistema. En él confluyen los afluentes que definen esta importante cuenca: el Río Santa Lucía Chico, San José, Canelones. La subcuenca del Santa Lucía propiamente tal, abarca un espacio de territorio que va desde la sierra de minas hasta los bañados que se forman en su desembocadura en el Río de la Plata y atraviesa suelos utilizados en actividades productivas y urbanas. Las estaciones seleccionadas en el curso principal se indican en la figura 2. Mientras que se esquematiza en la figura 3 la distribución de los principales afluentes y vías de acceso a esas estaciones.



Figura 2. Subcuenca del Río Santa Lucía indicando la ubicación de las estaciones de muestreo de Nivel 1 del rediseño (círculos blancos) y Nivel 2 (círculo rojo).

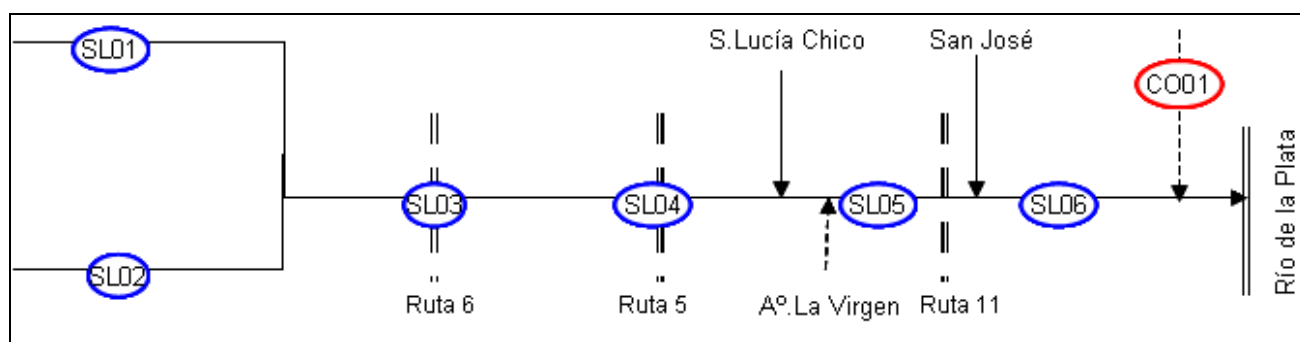


Figura 3. Esquema con la ubicación de las estaciones de monitoreo de Nivel 1 y 2 en la subcuenca del río Santa Lucía indicando las principales referencias (rutas) y llegada de afluentes (ríos Santa Lucía Chico, San José y Arroyo La Virgen)

Las estaciones de la cabecera de esta subcuenca son SL01 y SL02, y se ubican en la parte relativamente alta de la cuenca. SL01 está aguas abajo de la ciudad de Minas. La estación CO01 que pertenece al Nivel 2 de monitoreo (ubicada en sistemas que reciben importantes caudales

hidráulicos o contaminantes) se encuentra sobre el Arroyo Colorado, antes de su desembocadura en el Santa Lucía.

La **Temperatura** del agua presentó una variación mayor entre las fechas de muestreo respecto a los sitios (figura 4), con un rango entre 27 y 10 °C. Los valores máximos se registraron en enero y los mínimos en julio. Mayo fue el mes que presentó mayor variabilidad en la temperatura del agua de las 6 estaciones monitoreadas en esta subcuenca.

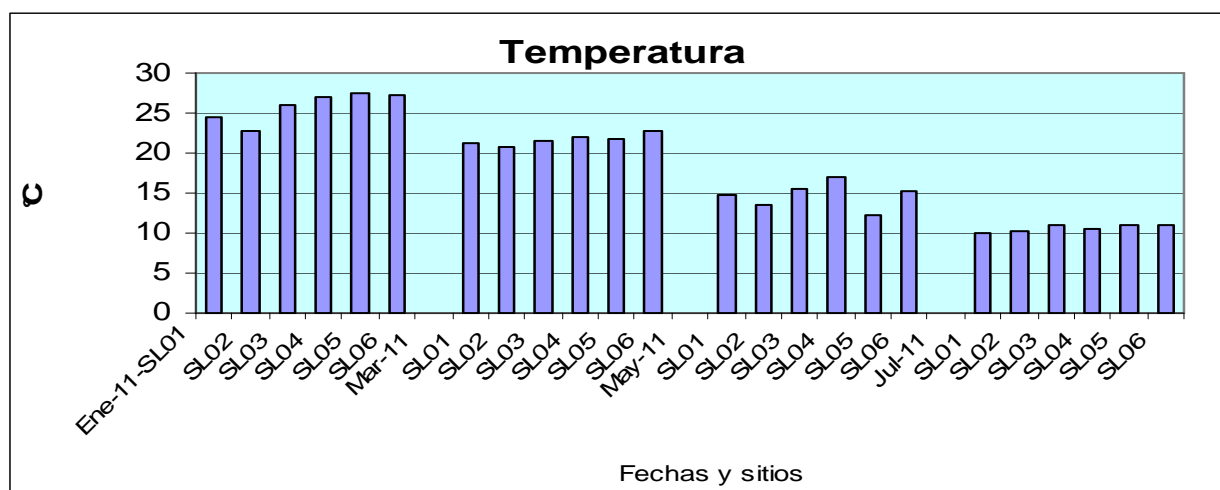


Figura 4. Variación espacial y temporal de la temperatura del agua en el Río Santa Lucía.

La **concentración de Oxígeno** en el agua, medida en porcentaje (%) y como valor absoluto (mgO_2/l), presentó variaciones importantes entre estaciones y entre los períodos de muestreo (figura 5). En enero, debido a la alta temperatura del agua se esperaría una menor concentración de oxígeno. Esto ocurrió en casi todas las estaciones, con concentraciones próximas al valor límite de calidad establecido en el Decreto 253/79: 5 $\text{mg O}_2/\text{l}$. Pero se destacan los altos valores de OD registrados en las estaciones SL04 y SL05, que podrían asociarse a la presencia de algas epífitas (adheridas a un sustrato) que producen localmente una alta concentración de oxígeno como producto residual de la fotosíntesis durante el día. También en mayo, la concentración de oxígeno en dichas estaciones fue mayor y podría tener relación con la permanencia de las algas epífitas o con alta tasa de difusión desde la atmósfera al agua. Son hipótesis que requieren estudios para verificar las causas del incremento del OD en estas condiciones. Los niveles más altos de este parámetro en los meses fríos, son esperables de acuerdo a la relación inversa entre temperatura y concentración de oxígeno en el agua.

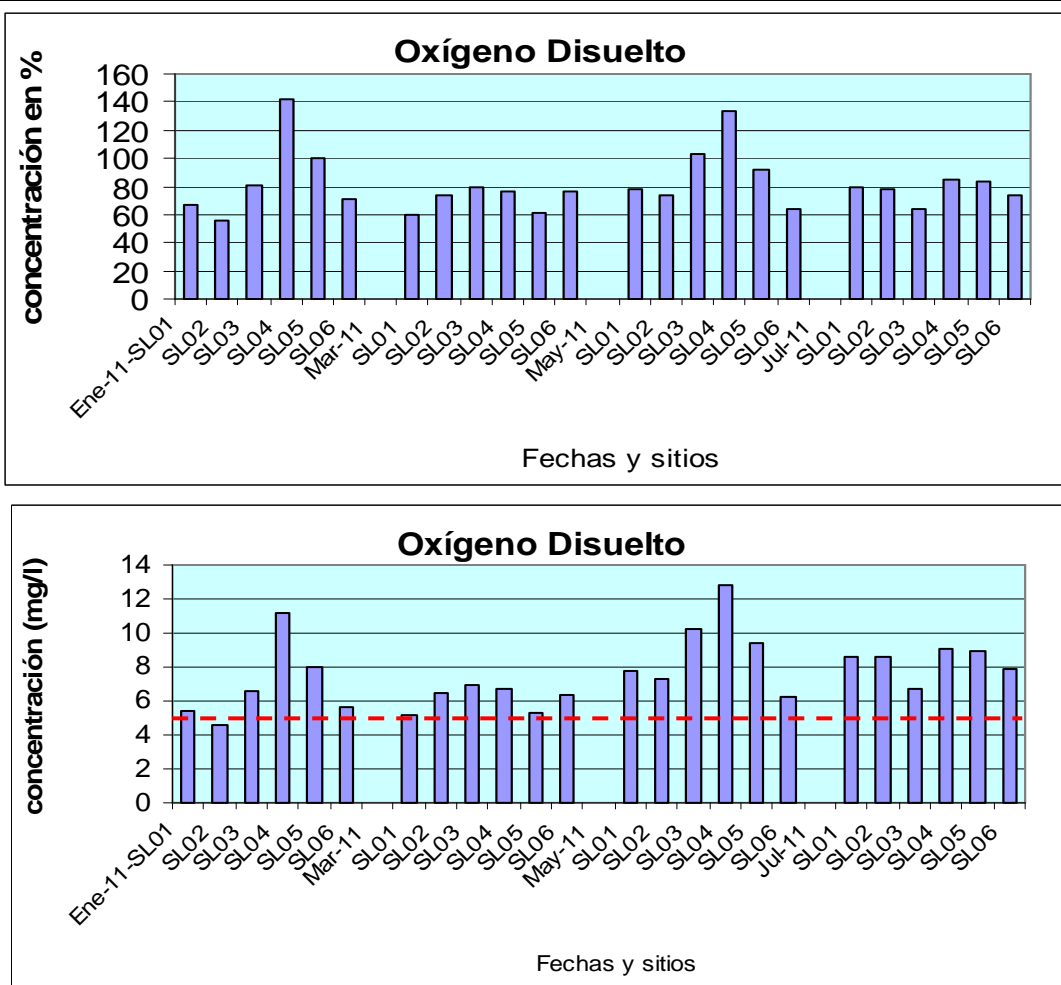


Figura 5. Variación espacial y temporal de la concentración de oxígeno disuelto en el agua medida como porcentaje (%) y valor absoluto (mg O₂/l). La línea punteada indica el valor estándar establecido en la legislación para aguas naturales

La **conductividad** del agua mostró variaciones importantes entre las fechas de muestreo. Los valores más altos se registraron en enero y marzo, mientras que los mínimos se dieron en julio. En esta fecha, las observaciones de campo indican lluvias abundantes que podrían actuar como factor diluyente de la concentración de iones en el agua con la consecuente disminución de la conductividad del agua. La conductividad mínima fue de 10,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (en SL05, mes de julio), y la máxima 4300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (SL06 en marzo). Entre estaciones, SL06 presentó los valores significativamente mayores en casi todos los muestreos (figura 6). Esta estación se encuentra en una zona arenosa y de bañados.

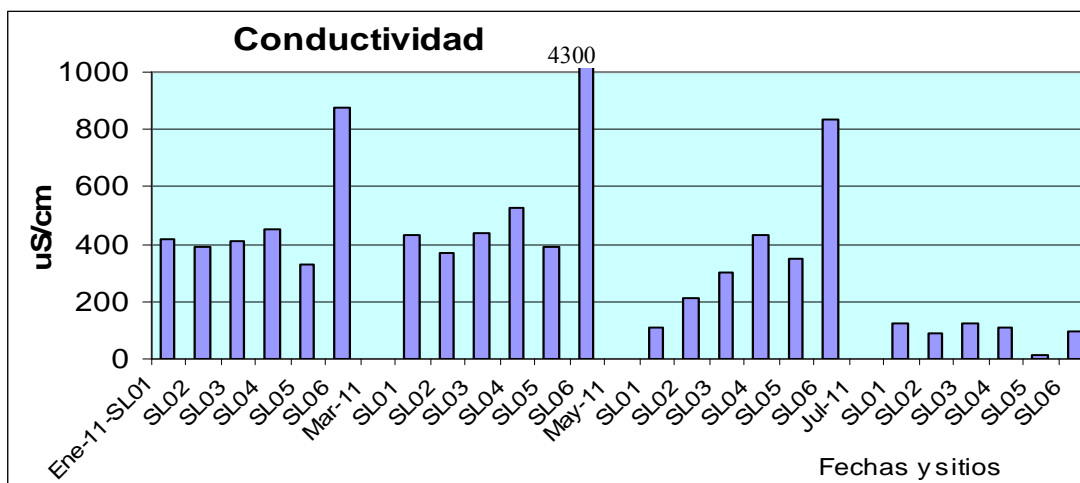


Figura 6. Variación espacial y temporal de la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) del agua en el Río Santa Lucía

El **pH** del Río Santa Lucía registró una variación entre 5,8 y 8,5. Los valores más altos se registraron en enero y mayo. Los más bajos, sensiblemente menores, en julio, cuando el pH presentó valores por debajo del valor estándar mínimo de calidad que establece el Decreto: 6,5. En este mes, las observaciones de campo indicaron lluvias abundantes durante el muestreo. En los demás muestreos, el pH se mantuvo en el rango aceptable para aguas naturales (figura 7).

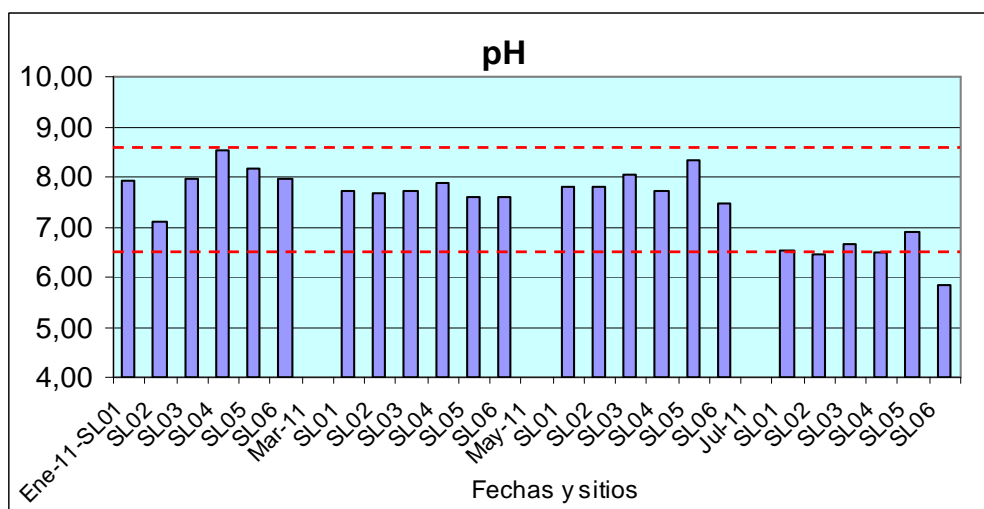


Figura 7. Variación espacial y temporal del pH en el Río Santa Lucía. Las líneas punteadas indican el rango de pH establecido en la legislación para aguas naturales.

Nutrientes

El Fósforo total en el río Santa Lucía presentó niveles entre 80 y 735 $\mu\text{g}/\text{l}$, en los dos muestreos analizados. En enero los valores fueron en general más altos que en marzo. Las estaciones que mostraron mayores concentraciones del nutriente fueron SL04 y SL05 en enero (figura 8), con niveles entre 350 y 735 $\mu\text{gP}/\text{l}$. Mientras que las menores concentraciones se registraron en marzo, con niveles entre 80 y 326 $\mu\text{gP}/\text{l}$. Las estaciones con menores niveles de PT fueron SL06 en enero y SL02 y 03 en marzo. Las observaciones de campo indican mayor altura del agua en el muestreo de marzo respecto a enero, lo que podría sugerir un efecto de dilución del caudal.

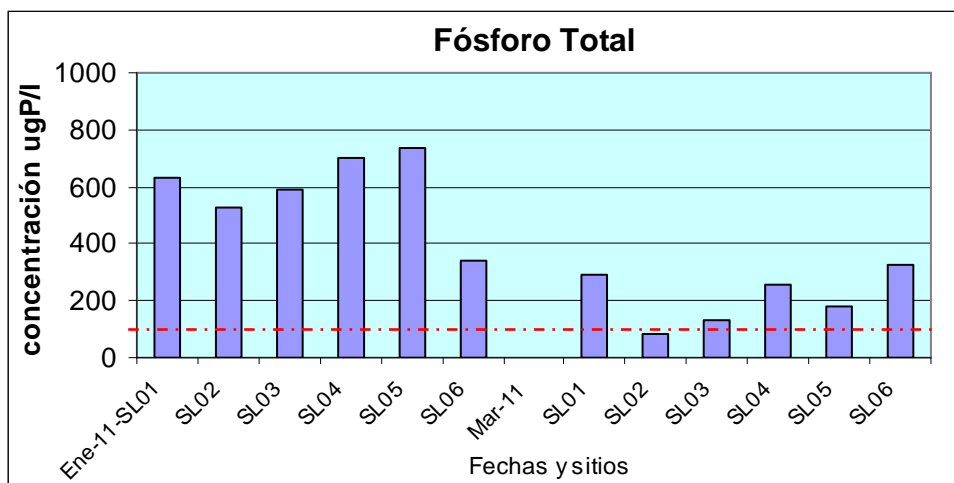


Figura 8. Variación espacial y temporal del fósforo total (µgPT/l) en el Río Santa Lucía. La línea punteada indica el valor estándar de calidad sugerido como modificación de la legislación para aguas naturales de ríos.

Los niveles de **Fósforo Total**, aún los más bajos, superaron la concentración máxima indicada en la legislación como estándar de calidad (25 µgPT/l). Dicha concentración se estableció en función de valores de otras legislaciones y sin considerar datos autóctonos, inexistentes a la hora de elaborar el Decreto 253/79. Actualmente, en base a datos recopilados en diferentes estudios, el grupo GESTA-Agua (de la COTAMA) sugiere una modificación del estándar de calidad para la concentración de fósforo total, aumentándolo a 100 µgPT/l. Este valor estaría más próximo a los valores reales observados en nuestro país. Aún así, la mayoría de los valores de concentración de PT en el Río Santa Lucía en los dos muestreos analizados fue superior al valor sugerido, indicando la existencia de importantes y variables niveles del nutriente. Los factores que determinan estas variaciones pueden estar asociados al caudal, al período del año y las actividades productivas, o a las variaciones en la densidad de población, entre otras causas. Estas hipótesis requieren corroborarse con mayor cantidad de información.

Otro nutriente analizado en este sistema fue el **Nitrógeno**, medido como concentración de amonio (NH_4) y nitrato (NO_3). El NH_4 , en enero, registró concentraciones inferiores al límite de cuantificación analítico (LC) establecido en 0,02 mg/l o inferiores al límite de detección (LD) establecido en 0,007 mg/l. De ahí que el gráfico de la figura 9 muestra niveles de NH_4 homogéneos para ese mes. Mientras que en marzo, la concentración de este nutriente se incrementó, registrando valores menores al LD en la estación LS06 hasta 0,25 mgN- NH_4 /l en SL01. En esta estación se reciben los aportes desde la alta cuenca del Santa Lucía, ya que se encuentra aguas abajo de la ciudad de Minas. Por otra parte, el Nitrógeno analizado como concentración de nitrato (NO_3), registró concentraciones inferiores al LC establecido en 0,014 mgN- NO_3 /l en las primeras 4 estaciones, alcanzando 0,25 mg/l en SL05 y SL06. En estas estaciones se reciben aguas del río Santa Lucía Chico y Arroyo La Virgen (SL05) y del río San José (SL06), que podrían estar determinando el incremento de la concentración del nutriente en esos puntos (figuras 3 y 9).

Contrario al fósforo, la concentración de los nutrientes nitrogenados se incrementó en marzo respecto a enero, sugiriendo que ambos nutrientes tienen comportamiento diferente respecto al mismo factor ambiental, el cual no está determinado en este informe. Del mismo modo que con el fósforo, todas las hipótesis deben ser corroboradas con mayores datos y análisis de antecedentes.

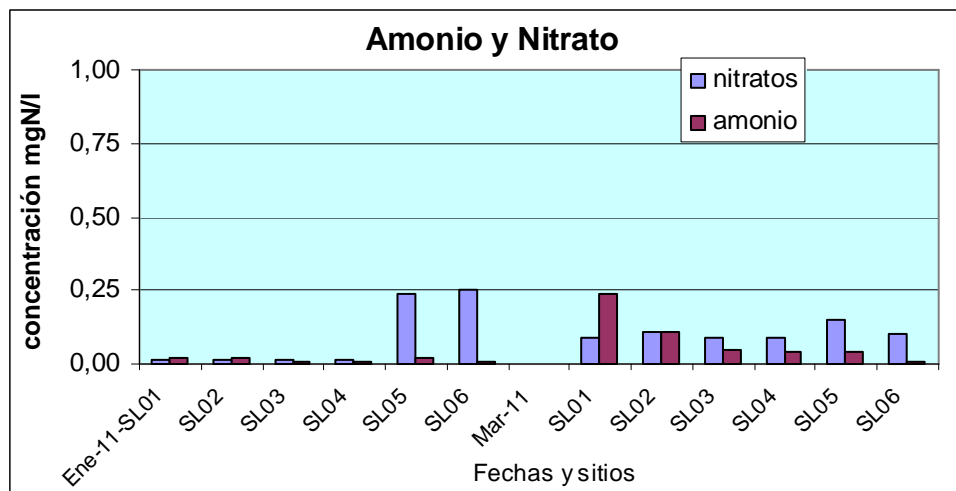


Figura 9. Variación espacial y temporal del nitrógeno como Amonio (mg N-NH₄/l) y Nitrato (mg N-NO₃/l) en el Río Santa Lucía.

De acuerdo con el Decreto vigente, la concentración de nitrato en el agua natural debe ser menor a 10 mg/l. En base a ello, el río Santa Lucía cumplió satisfactoriamente con este estándar de calidad en las muestras de enero y marzo 2011.

Como parámetro biológico de calidad de agua se analizó la concentración de **coliformes termotolerantes** en el río Santa Lucía. Por las características de esta variable, que requiere el análisis inmediatamente de extraída la muestra (dentro de las 24 hs), se cuenta con resultados de los cuatro muestreos realizados. Ello permite observar variaciones importantes entre las fechas de muestreo, para las mismas estaciones (por ejemplo, SL01, SL02 y SL03); mostrando que los meses fríos (mayo y julio) registraron mayores concentraciones de coliformes que los cálidos, en las estaciones que registran datos (figura 10). De los resultados obtenidos no puede establecerse que haya un sitio particularmente comprometido con la calidad del agua según este parámetro. La legislación establece que la concentración de coliformes termotolerantes del agua superficial no debe exceder de 2000 UFC/100 ml en ninguna de al menos 5 muestras consecutivas para clasificarse de buena calidad, siendo la media geométrica de las 5 muestras (MG5) menor a 1000 UFC/100 ml. Considerando las muestras en forma individual, sólo la estación SL01 presentó en mayo una concentración superior a las 2000 UFC/100 ml (figura 10), ya que alcanzó las 8500 UFC/100ml.

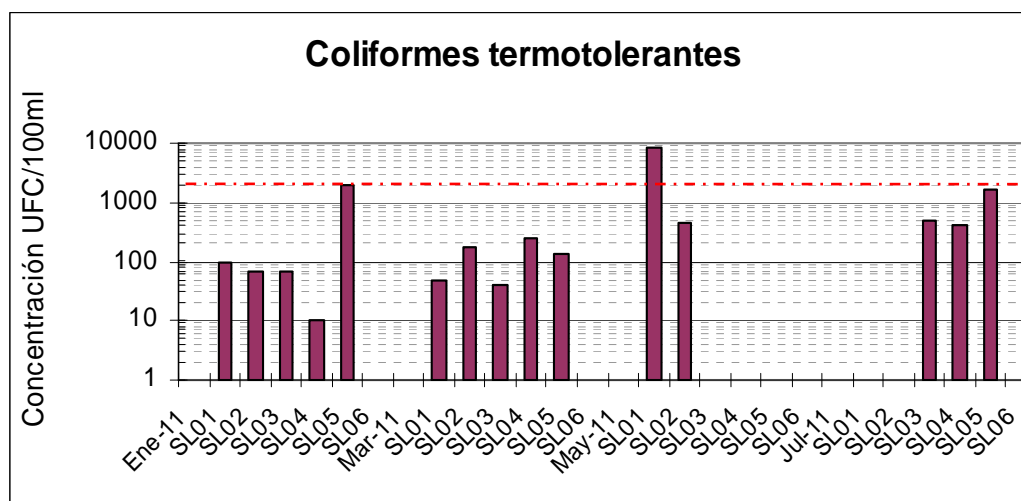


Figura 10. Variación espacial y temporal de la abundancia de Coliformes termotolerantes (UFC/100 ml) del Río Santa Lucía entre enero y julio 2011

Subcuenca del Arroyo Colorado- Monitoreo Nivel 2

Para esta subcuenca se estableció como punto de monitoreo de Nivel 2 la estación CO01 próximo a la desembocadura del Arroyo Colorado en el Río Santa Lucía (ver ubicación en las figuras 2 y 3). El Arroyo Colorado recibe aportes desde una zona altamente poblada y con actividad agro-industrial, por lo cual está sometido a intensas presiones que comprometen su calidad y la vida de la biota. Las temperatura del agua (figura 11-A) en esta estación presentó el mismo comportamiento que en el resto del sistema con máximos en enero (25°C) y mínimos en julio (10,6°C). La menor concentración de oxígeno se registró en marzo (3,3 mg/l y 37%), siendo inferior al límite de 5 mg/l que establece el decreto como estándar de calidad para aguas naturales (figura 11-B). Mientras que fue máxima en enero (7,6 mg/l y casi 96%), contrario a lo esperable de acuerdo con la época del año. Sin embargo, en ambientes eutrofizados (con altos niveles de nutrientes) podría esperarse alta concentración de oxígeno durante el día debido a intensa actividad fotosintética de plantas acuáticas o microalgas, con crecimiento explosivo (o floración algal), principalmente en verano. No hay datos de clorofila simultáneos ni registros de campo que puedan acompañar esta hipótesis. El pH del agua presentó un rango entre 6,4 y 7,7 (figura 11-C) generalmente próximo al límite inferior del estándar (6,5). Enero presentó el mayor pH y julio el menor. La conductividad del agua fue alta para un sistema de agua dulce, con valores que alcanzaron los 18000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en marzo (figura 11-D). El mínimo fue 151 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y se registró en julio. Esta variable está determinada por las características geológicas del suelo de la cuenca, por los aportes puntuales domésticos o industriales con altos contenidos de iones disueltos, por aportes difusos desde la cuenca o por el ingreso de agua desde el Río de la Plata y sus efectos en el sitio de muestreo, debido a la proximidad de esta estación con la desembocadura del Río Santa Lucía. La salinidad en la estación CO01 mostró un comportamiento igual a la conductividad (figura 12), indicando alta correlación entre ambos parámetros.

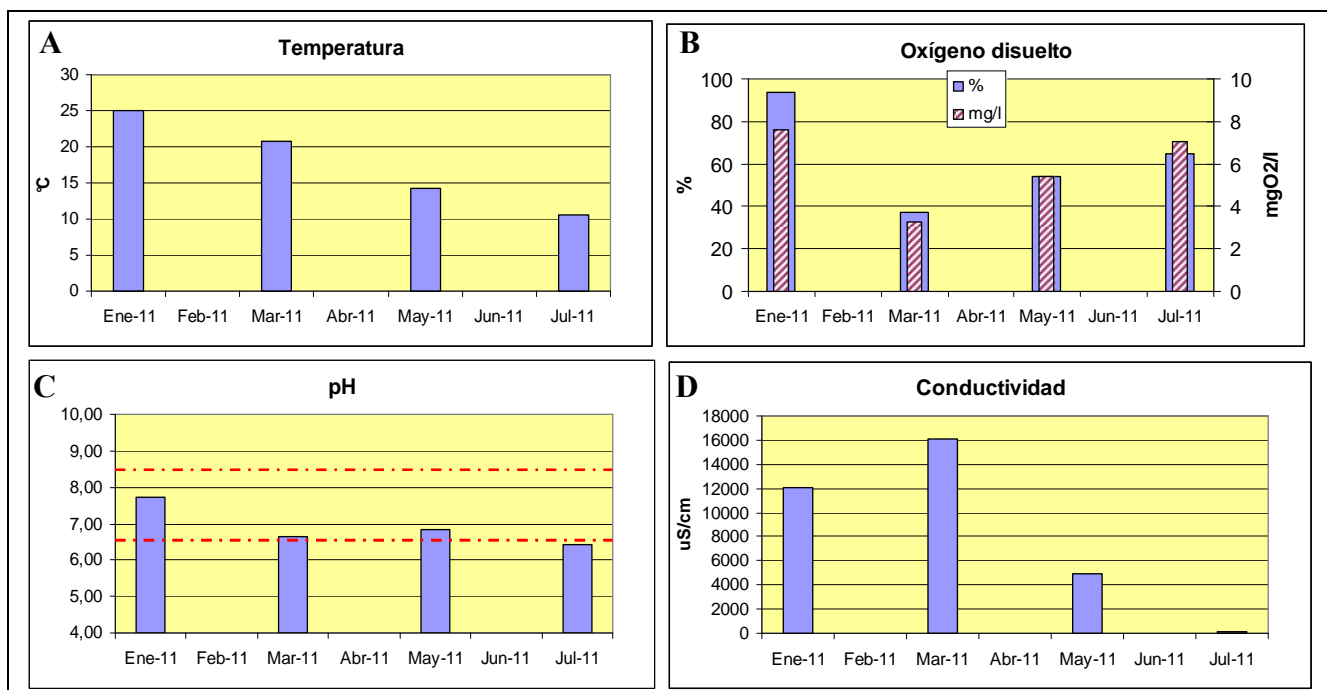
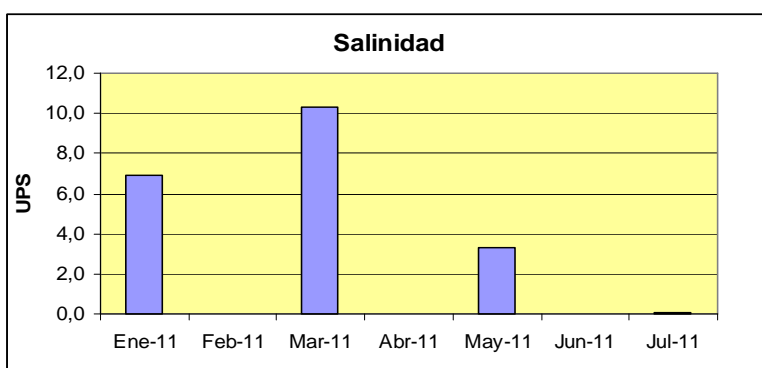


Figura 11. Variación temporal de (A) la Temperatura (°C), (B) concentración de oxígeno (en % y mgO₂/l), (C) pH y (D) conductividad (µS/cm) del agua del Arroyo Colorado próximo a la desembocadura en el Río Santa Lucía.

Para verificar si la alta conductividad del agua en el Arroyo Colorado está asociada al ingreso de agua desde la costa platense o a la salida de aportes domésticos e industriales desde su cuenca,



será necesario corroborar este comportamiento con información proveniente del Río de la Plata.

Figura 12. Variación de la salinidad del agua en la estación CO01, sobre el arroyo Colorado (Monitoreo de Nivel 2)

La concentración de los demás parámetros analizados para esta estación en los dos muestreos con resultados analíticos disponibles (enero y marzo), no mostró niveles que indiquen afectación de la calidad del agua para los parámetros considerados (tabla 5). Excepto el fósforo total, que al igual que en los demás sitios superó el estándar vigente, los demás valores cumplieron con los niveles de calidad establecidos por el Decreto 253/79 (tabla 4).

Tabla 5. Parámetros de calidad de agua en el Arroyo Colorado y valores del estándar según el Decreto 253/79 y modificativos

Parámetro	Enero 2011	Marzo 2011	LC o LD	Estándar
Fósforo total (µg/l)	250	290		25
Nitrato (mgN-NO ₃ /l)	LD	0,25	0,02	10
Amonio (mgNH ₄ /l)	LD	LD	0,02	
DBO ₅ (mg/l)	2,5	0,8		10
Turbiedad (UNT)	5,3	6,2		50

SUB CUENCA del RIO SANTA LUCÍA CHICO

En esta subcuenca se realizan dos niveles de monitoreo: Nivel 1 en el cauce principal correspondiente a las estaciones SLC01, SLC02 y SLC03; y de Nivel 3 en el embalse Paso Severino, correspondiente a las estaciones PS01, que coincide geográficamente con la SLC03, PS02 en la boca del embalse (zona de la represa), PS03 y PS04 en puntos intermedios que se muestran en las figuras 13 y 14.

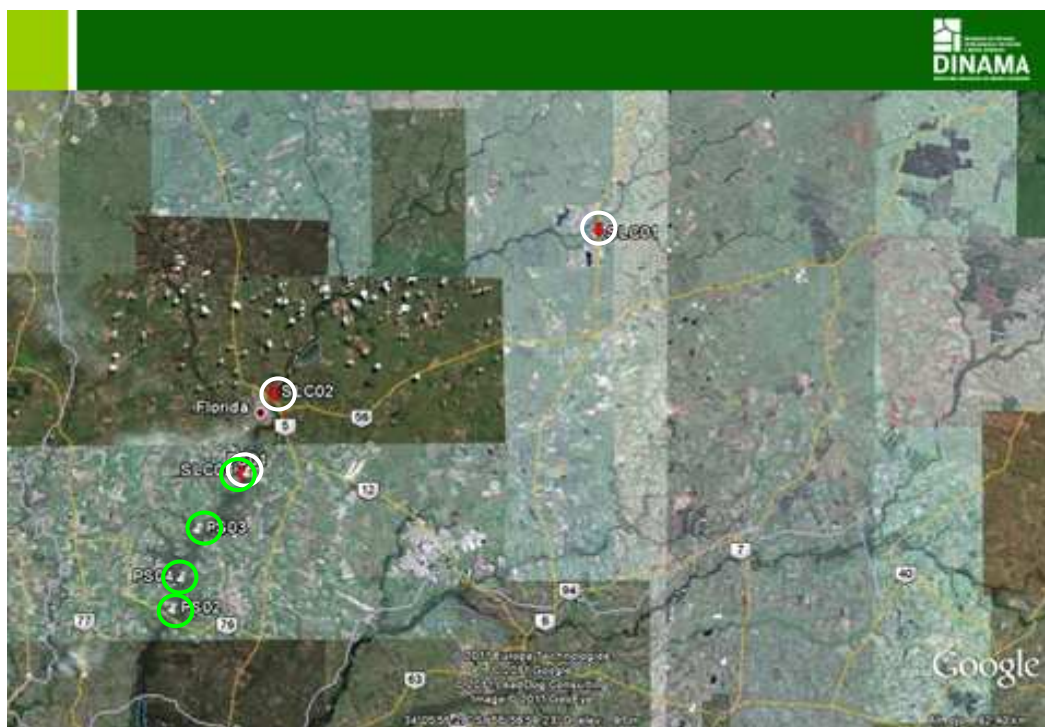


Figura 13. Subcuenca del Río Santa Lucía Chico indicando la ubicación de las estaciones de muestreo de Nivel 1 en blanco y de Nivel 3 en verde

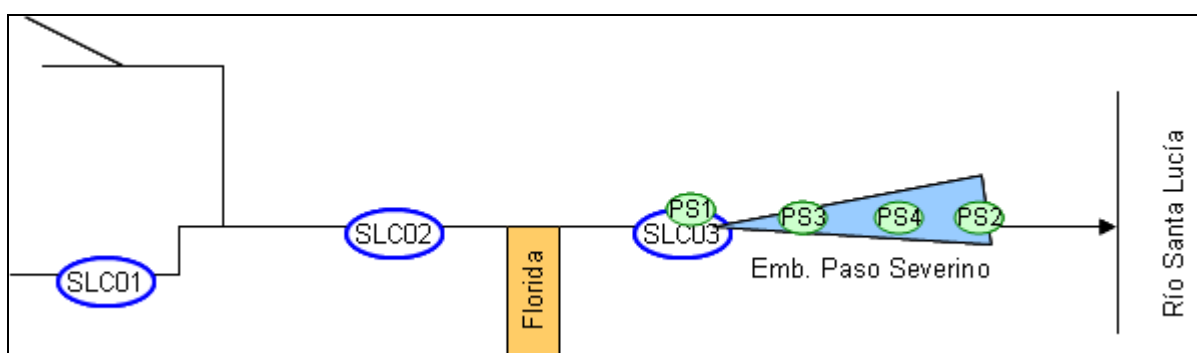


Figura 14. Esquema con la ubicación de las estaciones de monitoreo en la subcuenca del río Santa Lucía Chico indicando las correspondientes al nivel 1 (cauce principal, círculos azules) y el nivel 3 (embalse Paso Severino, círculos verdes)

La **Temperatura** del agua presentó variaciones de acuerdo a las fechas de muestreo y al ambiente, que se corresponde con los dos Niveles de monitoreo. Presentó un rango entre 26 °C en PS04 (monitoreo de Nivel 3) y 9.8 °C en SLC01 (monitoreo de Nivel 1)(figura 15). Los valores máximos se registraron en enero y en las estaciones del embalse, mientras que los mínimos se registraron en julio y en las estaciones fluviales. Julio fue el mes que presentó temperaturas más homogéneas entre los dos ambientes (fluvial y embalse).

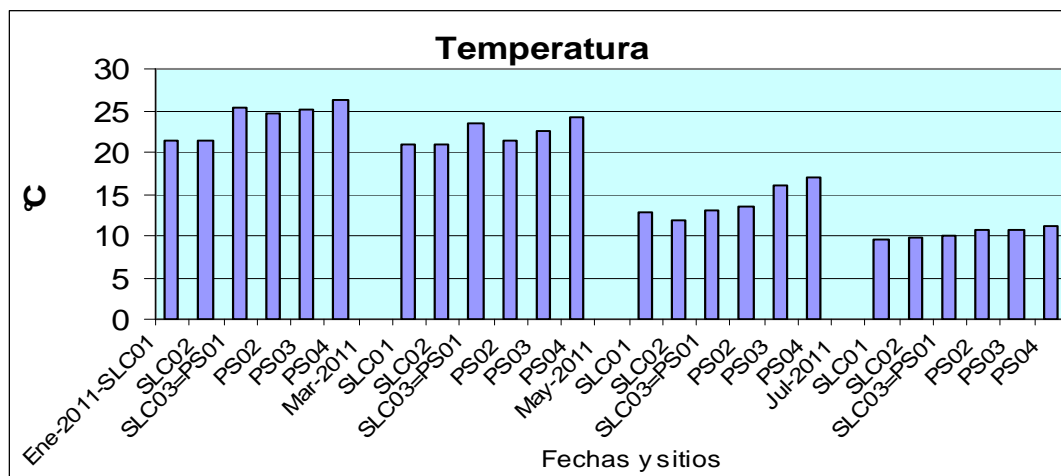


Figura 15. Variación espacial y temporal de la temperatura del agua en el Río Santa Lucía Chico (estaciones SLC01-02-03) y embalse Paso Severino (estaciones PS01-02-03-04)

La **concentración de Oxígeno** en el agua, medida en porcentaje (%) y como valor absoluto (mgO_2/l), presentó variaciones entre las estaciones, entre los Niveles de monitoreo (río y embalse) y entre los períodos de muestreo (figura 16). En las estaciones del río (Nivel 1 de monitoreo) se registraron las menores concentraciones de oxígeno disuelto en enero y marzo, con valores inferiores a los $5 \text{ mgO}_2/\text{l}$ establecidos como estándar de calidad por la legislación. Las estaciones más afectadas fueron SLC01, con $4,3 \text{ mg/l}$ y 49%, y SLC03 (figura 16). En mayo y julio la concentración de oxígeno se incrementó en este sistema, alcanzando los $10 \text{ mgO}_2/\text{l}$ (90%). La mayor concentración de oxígeno en los meses fríos es esperable de acuerdo a la relación inversa entre temperatura y concentración de oxígeno en el agua.

La concentración de oxígeno disuelto en las estaciones del embalse estuvo entre $6,5$ y $9,2 \text{ mg/l}$, equivalentes a 76 y 83 % en marzo y julio respectivamente (figura 16). Este parámetro mostró una diferencia bien marcada con las estaciones del río. Se destacan los relativamente altos valores registrados en PS03 y PS04 en todos los muestreos y particularmente en verano (enero y marzo). Estos niveles que alcanzaron a $7 \text{ mgO}_2/\text{l}$ (86 %) en enero, podrían asociarse a la presencia de floraciones de cianobacterias. La alta densidad de estos organismos fotosintéticos, producen una alta concentración de oxígeno durante el día como producto residual de la fotosíntesis. Sin embargo durante la noche solo respiran, como el resto de la biota acuática, consumiendo el gas disponible en el agua y comprometiendo la calidad del ambiente para la vida del resto de los organismos acuáticos. El ciclo se repite diariamente.

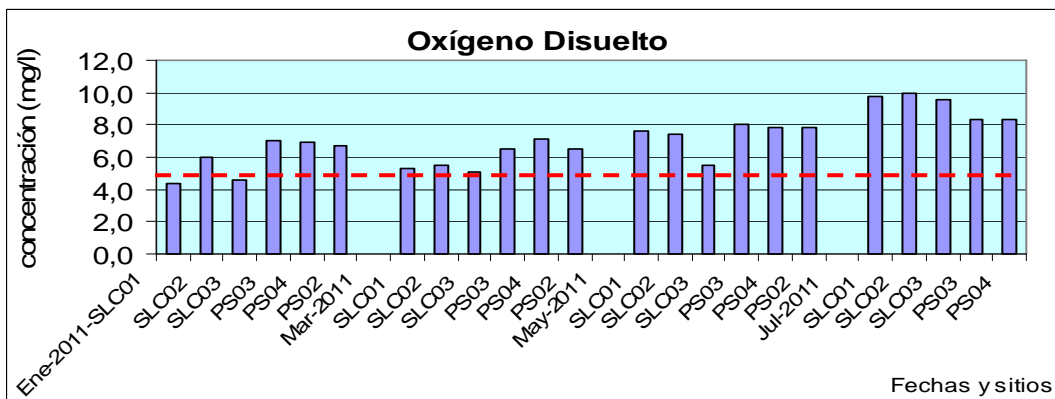
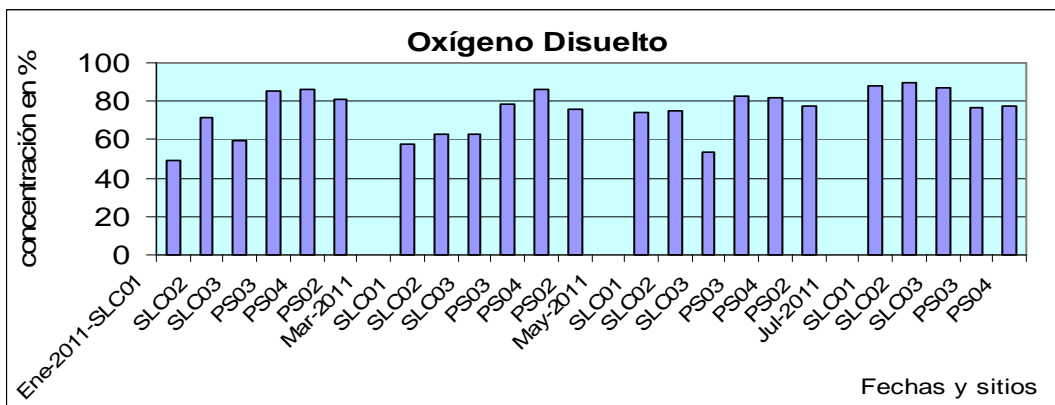


Figura 16. Variación espacial y temporal de la concentración de oxígeno disuelto en % y en mgO₂/l en el agua en el Río Santa Lucía Chico (estaciones SLC01-02-03) y embalse Paso Severino (estaciones PS01-02-03-04). La línea punteada indica el valor estándar establecido en la legislación para aguas naturales

La **conductividad** del agua mostró variaciones entre las fechas de muestreo y entre los Niveles de monitoreo (figura 17). Los valores más altos se registraron en enero y marzo, y en las estaciones del río (Nivel 1) respecto a las del embalse (Nivel 3). El máximo de conductividad fue 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en SLC03 en marzo. La menor conductividad del agua se registró en julio en ambos ambientes, con el mínimo de 73 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en PS03. Al igual que en el Río Santa Lucía, hubieron lluvias importantes en este muestreo.

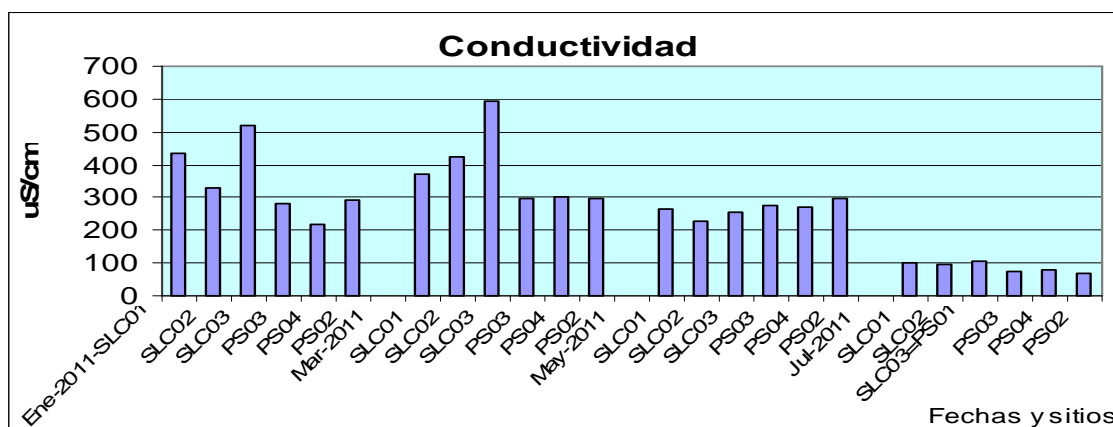


Figura 17. Variación espacial y temporal de la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) del agua en el Río Santa Lucía Chico (estaciones SLC01-02-03) y embalse Paso Severino (estaciones PS01-02-03-04)

El **pH** del Río Santa Lucía Chico y del embalse Paso Severino registró una variación entre 6,1 y 7,9. En cada muestreo, se diferenciaron los pH del río respecto a los del embalse. Los valores más altos se registraron en enero y en el embalse. Los más bajos, en julio en todas las estaciones. También en este sistema el pH en julio estuvo por debajo del valor estándar de calidad que establece el Decreto: 6,5. En las otras fechas, se mantuvo en el rango aceptable para aguas naturales (figura 18).

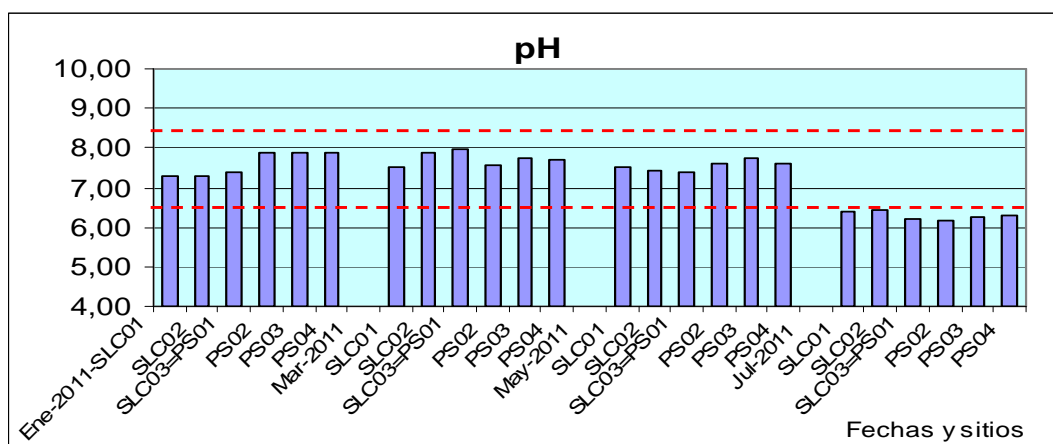


Figura 18. Variación espacial y temporal del pH en el Río Santa Lucía Chico (estaciones SLC01-02-03) y embalse Paso Severino (estaciones PS01-02-03-04). Las líneas punteadas indican el rango de pH establecido en la legislación para aguas naturales.

Nutrientes

El **Fósforo total** en el río Santa Lucía Chico presentó niveles entre 80 y 735 $\mu\text{g/l}$, en los dos muestreos analizados, sin diferencias significativas entre ambos. Sí se observaron diferencias en las concentraciones de PT entre las estaciones del río y las del embalse para los dos muestreos analizados. En las estaciones del río (monitoreo Nivel 1), la concentración de PT mostró incremento entre SLC01 en la zona más alta de la subcuenca y SLC03, la última del sistema fluvial en la cola del embalse Paso Severino (Figura 19). Mientras que en las estaciones del embalse (Nivel 3) las concentraciones de PT fueron similares entre sí.

Las mayores concentraciones de PT en la subcuenca del Santa Lucía Chico analizadas en enero y marzo de 2011 se registraron en SLC03, con 911 $\mu\text{g/l}$ en enero y 750 $\mu\text{g/l}$ en marzo (figura 19). Esta estación, por su ubicación en la subcuenca, recibe las aportaciones de una importante zona de actividad lechera y de la propia ciudad de Florida. La menor concentración fue de 85,6 $\mu\text{g/l}$, en ambos muestreos, en SLC01.

En las estaciones del embalse propiamente dicho (exceptuando PS01 que es el mismo sitio que SLC03), la concentración de PT fue similar en todas las muestras, y estuvo en torno a 340 $\mu\text{g/l}$ (figura 19).

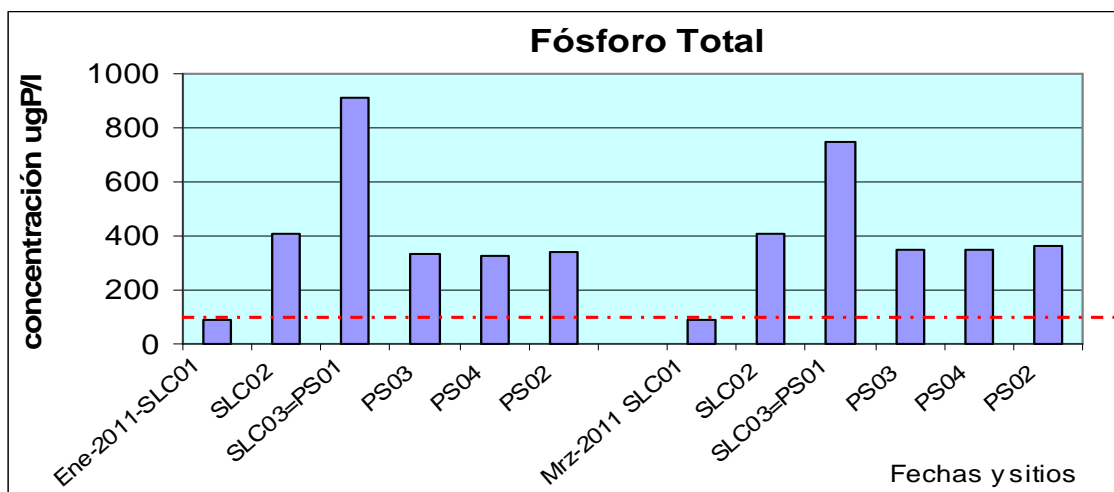


Figura 19. Variación espacial y temporal del fósforo total ($\mu\text{gPT/l}$) en el Río Santa Lucía Chico (estaciones SLC01-02-03) y embalse Paso Severino (estaciones PS01-02-03-04). La línea punteada indica el valor estándar de calidad sugerido como modificación de la legislación para aguas naturales de ríos ($100 \mu\text{g/l}$).

Los niveles de fósforo total del Río Santa Lucía Chico en enero y marzo de 2011 también superaron la concentración máxima indicada en la legislación como estándar de calidad ($25 \mu\text{gPT/l}$) y la sugerida por el grupo GESTA-Agua (de la COTAMA) como modificación al Decreto ($100 \mu\text{gPT/l}$). Lo mismo ocurrió con los niveles de fósforo total del embalse.

El **Nitrógeno**, medido como concentración de amonio (NH_4), registró en enero concentraciones inferiores al límite de cuantificación analítico ($\text{LC} = 0,02 \text{ mg/l}$) en la mayoría de las estaciones y se incrementó en marzo, llegando a los $0,49 \text{ mgN-NH}_4/\text{l}$ en la estación SLC03 (figura 20). Los niveles de nitrógeno medido como concentración de nitrato (NO_3), estuvieron entre $0,07$ y $1,6 \text{ mgN-NO}_3 /\text{l}$. La estación LSC03, ubicada en la cola del embalse, fue nuevamente la que registró las mayores concentraciones de nitrógeno en las dos formas analizadas, tal como ocurrió con el fósforo en este sitio.

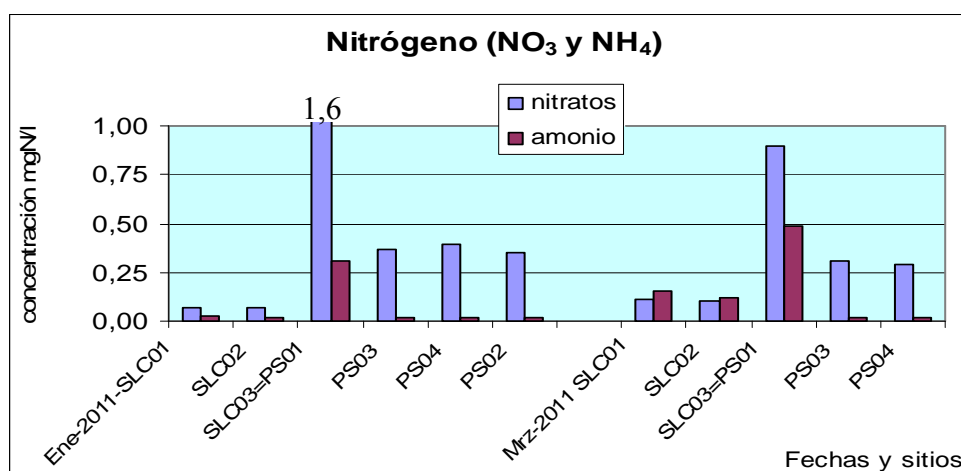


Figura 20. Variación espacial y temporal del nitrógeno como Amonio ($\text{mg N-NH}_4/\text{l}$) y Nitrato ($\text{mg N-NO}_3 /\text{l}$) en el Río Santa Lucía Chico (estaciones SLC01-02-03) y embalse Paso Severino (estaciones PS01-02-03-04).

La alta concentración de nutrientes en el sistema, especialmente en el embalse, favorece el proceso de eutrofización y la pérdida de la calidad del agua. Será necesario determinar el origen de estos nutrientes a fin de realizar gestiones para reducir el aporte, ya sea desde fuentes puntuales (por ejemplo, desde la ciudad de Florida o desde afluentes provenientes de tambos) o desde fuentes difusas (por ejemplo desde el campo con ganado o desde tierras cultivadas). Los niveles de nitrato en el Río Santa Lucía Chico y en el Embalse Paso Severino, fueron inferiores al límite máximo establecido en la legislación nacional (10 mg NO₃ /l) en los muestreos de enero y marzo.

Se analizó la turbidez del agua en todo el sistema, presentando valores entre 5 y 21 UNT (figura 21). Dado que la legislación establece un límite máximo de turbidez de 50 UNT, esta variable cumplió en enero y marzo 2011 con el estándar de calidad para aguas naturales. La turbidez puede ser un factor limitante para el desarrollo de organismos productores primarios, como las microalgas, sustento de las tramas tróficas que componen los ecosistemas.

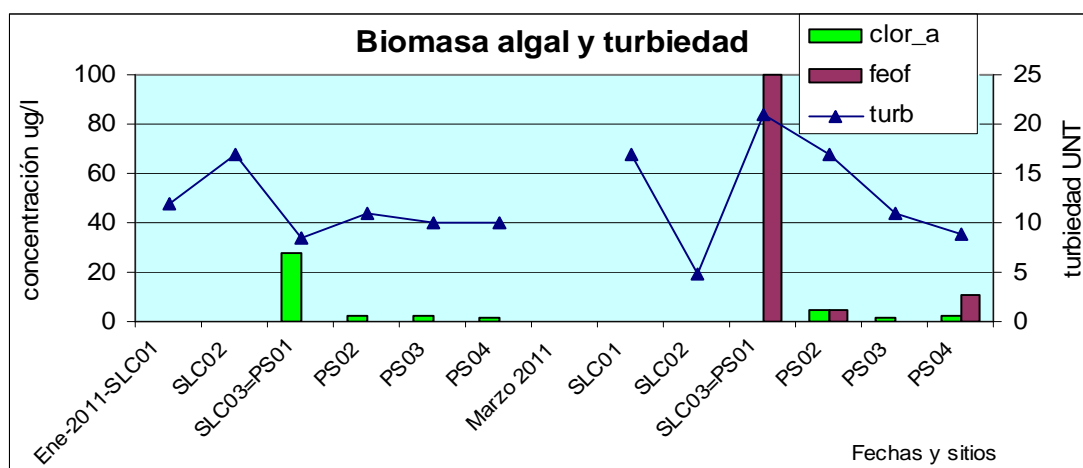


Figura 21. Variación espacial y temporal de la Turbidez (UNT) en el Río Santa Lucía Chico y Embalse Paso Severino y de la biomasa algal (µg Clorofila a/l) y de su producto de degradación (µg feofitina / l) en el Embalse Paso Severino.

En el monitoreo Nivel 3 de esta subcuenca (Embalse Paso Severino), se analizó la biomasa de fitoplancton medida como concentración de clorofila a, y de su pigmento de degradación, feofitina (figura 21). El análisis se aplicó a las estaciones PS01 (que es la estación analizada hasta ahora como SLC03 del río) en la cola del embalse, PS02 en la boca (o represa) y las estaciones intermedias PS03 y PS04. La concentración de clorofila, medida en enero y marzo 2011, presentó valores no cuantificables (menores al LC=0,1 µg/l), hasta 27,5 µg/l en PS01 en enero. La concentración de feofitina en el agua, mostró valores menores al límite de cuantificación (0,1 µg/l) en casi todos los análisis, pero registró un incremento muy significativo en marzo, principalmente en PS01. Esto podría ser consecuencia de la degradación de una importante cantidad de biomasa vegetal, ya sea de origen algal o de plantas acuáticas. Será necesario registrar con mayor detalle los eventos de este tipo en el embalse para comprender los resultados analíticos.

SUBCUENCA del ARROYO CANELONES

En esta subcuenca también se realizan dos niveles de monitoreo: Nivel 1 en el cauce principal del Arroyo Canelones, y Nivel 3 en el embalse Canelón Grande (figura 22).

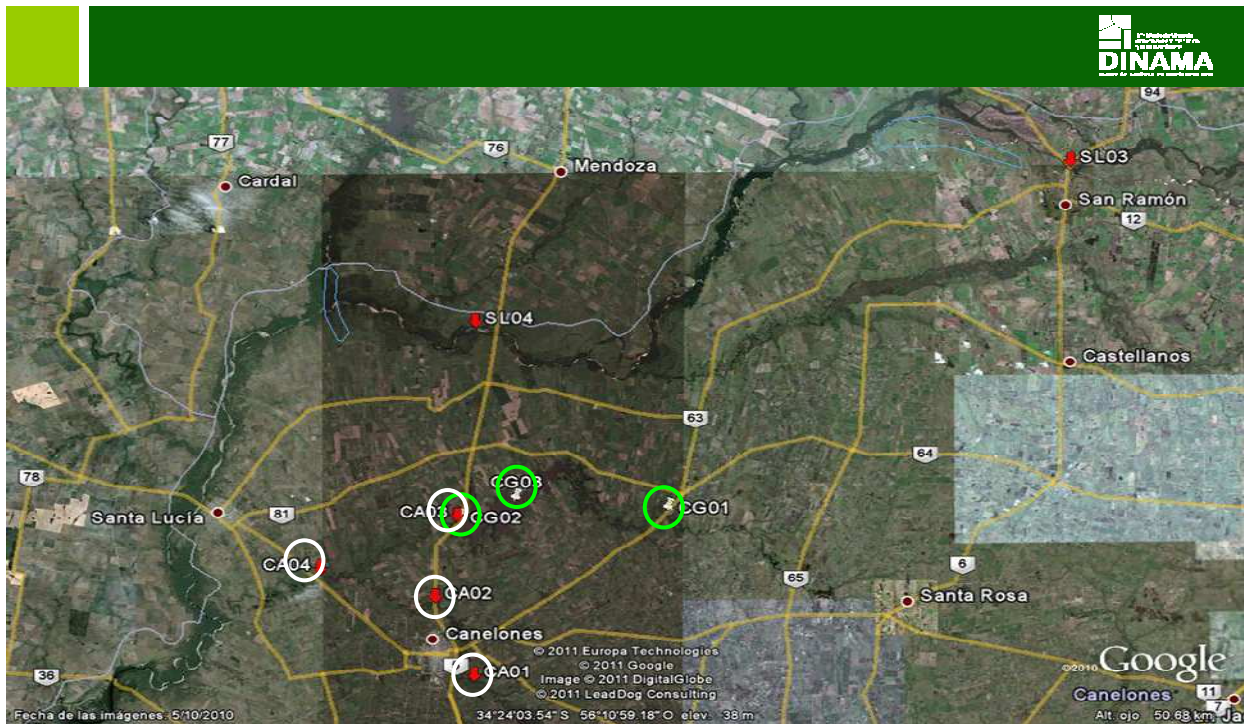


Figura 22. Subcuenca del Arroyo Canelón Grande y Chico, incluyendo el Embalse de Canelón Grande. Se indica la ubicación de las estaciones de muestreo de Nivel 1 en blanco y de Nivel 3 en verde

Las estaciones receptoras de los aportes de la cuenca alta son CG1 sobre el Canelón Grande, ubicada en la cola del embalse; y CA01 en el Arroyo Canelón Chico (figura 23). A ésta le sigue CA02 aguas abajo de la ciudad de Canelones y antes de la confluencia con el Canelón Grande. La estación CA04 a la altura del puente sobre ruta 11, recoge las características del sistema antes de desembocar en el Río Santa Lucía. CA03 coincide en el punto con CG2, boca del embalse; y CG3 está en un punto medio del embalse.

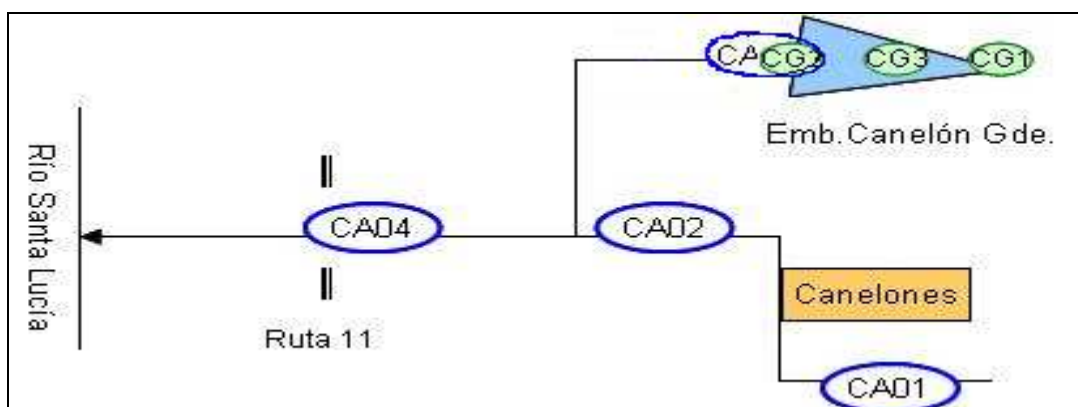


Figura 23. Esquema con la ubicación de las estaciones de monitoreo en la subcuenca del Arroyo Canelón Grande y Chico indicando las correspondientes al nivel 1 (cauce principal en círculos azules) y el nivel 3 (embalse, en círculos verdes)

La temperatura del agua en la subcuenca del Arroyo Canelones, presentó una amplitud similar a la registrada en los sistemas anteriores, con claras variaciones entre las fechas de muestreo. La temperatura mínima se alcanzó en julio con 11 °C, en las estaciones CG01 y CG02 (cola y boca, respectivamente) del embalse Canelón Grande; y las máximas en enero en CG02 y CA01 con 26,5°C (figura 24). Las tres primeras columnas correspondientes al registro del embalse fueron similares en todos los muestreos, indicando relativa homogeneidad espacial en las condiciones térmicas del sistema.

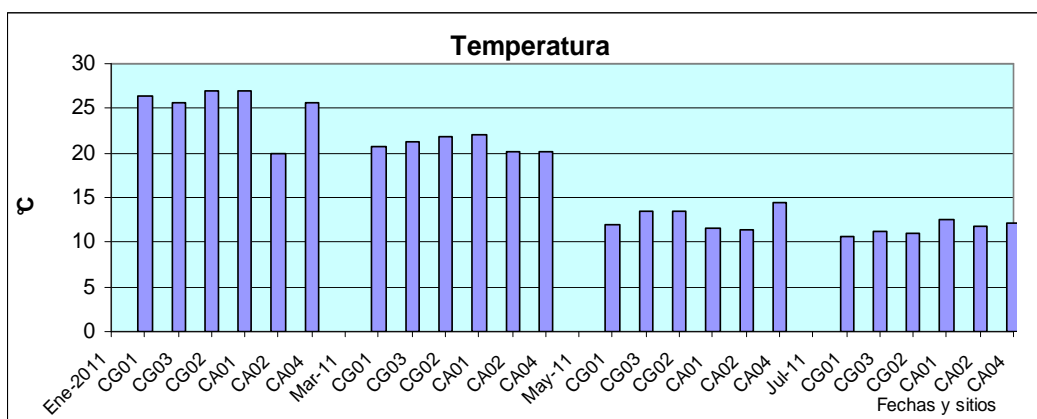


Figura 24. Variación espacial y temporal de la temperatura del agua en el Arroyo Canelones y Embalse Canelón Grande

La **concentración de Oxígeno** en el agua (en % y mgO₂/l), presentó variaciones entre los Niveles de monitoreo (río y embalse), tal como se observó en la subcuenca del Santa Lucía Chico y entre los períodos de muestreo (figura 25). Las mayores concentraciones de oxígeno se registraron siempre en las estaciones del embalse y, temporalmente, en los meses fríos, alcanzando valores de 10 mg/l (93,3%) en CG03 en julio. En cambio la menor concentración de oxígeno disuelto fue 0,77 mg/l equivalente a 9% y se registró en CA02 en marzo. En varias ocasiones el nivel de OD en el agua fue inferior a los 5 mg/l que establece el Decreto 253/79 y modif., como estándar de calidad para aguas naturales, indicando el no cumplimiento con el estándar para este parámetro. La baja concentración de oxígeno en el agua compromete la calidad de vida de los organismos acuáticos dificultando su crecimiento y el metabolismo en general. Las estaciones que mostraron menores valores en el período de muestreo fueron las del monitoreo de Nivel 1, especialmente CA01 y CA02 ubicada aguas abajo de Canelones (figura 23).

De un modo similar a lo observado en el embalse Paso Severino y el río SLC, también en este sistema la concentración de oxígeno fue mayor en las estaciones del embalse y fue relativamente alta en los meses cálidos (enero y marzo) manteniéndose en esos valores hasta los meses fríos. La hipótesis que podría explicar parcialmente lo ocurrido en verano es, nuevamente, la presencia de fitoplancton realizando actividad fotosintética y liberando oxígeno durante el día. No hay registros de floraciones de cianobacterias en este sistema y los niveles de clorofila (ver más adelante en este

informe) no fueron altos con excepción de un dato. Se requieren mayor cantidad de datos y de estudios para comprender los eventos de este sistema que determinan estos valores de concentración de oxígeno y sus variaciones.

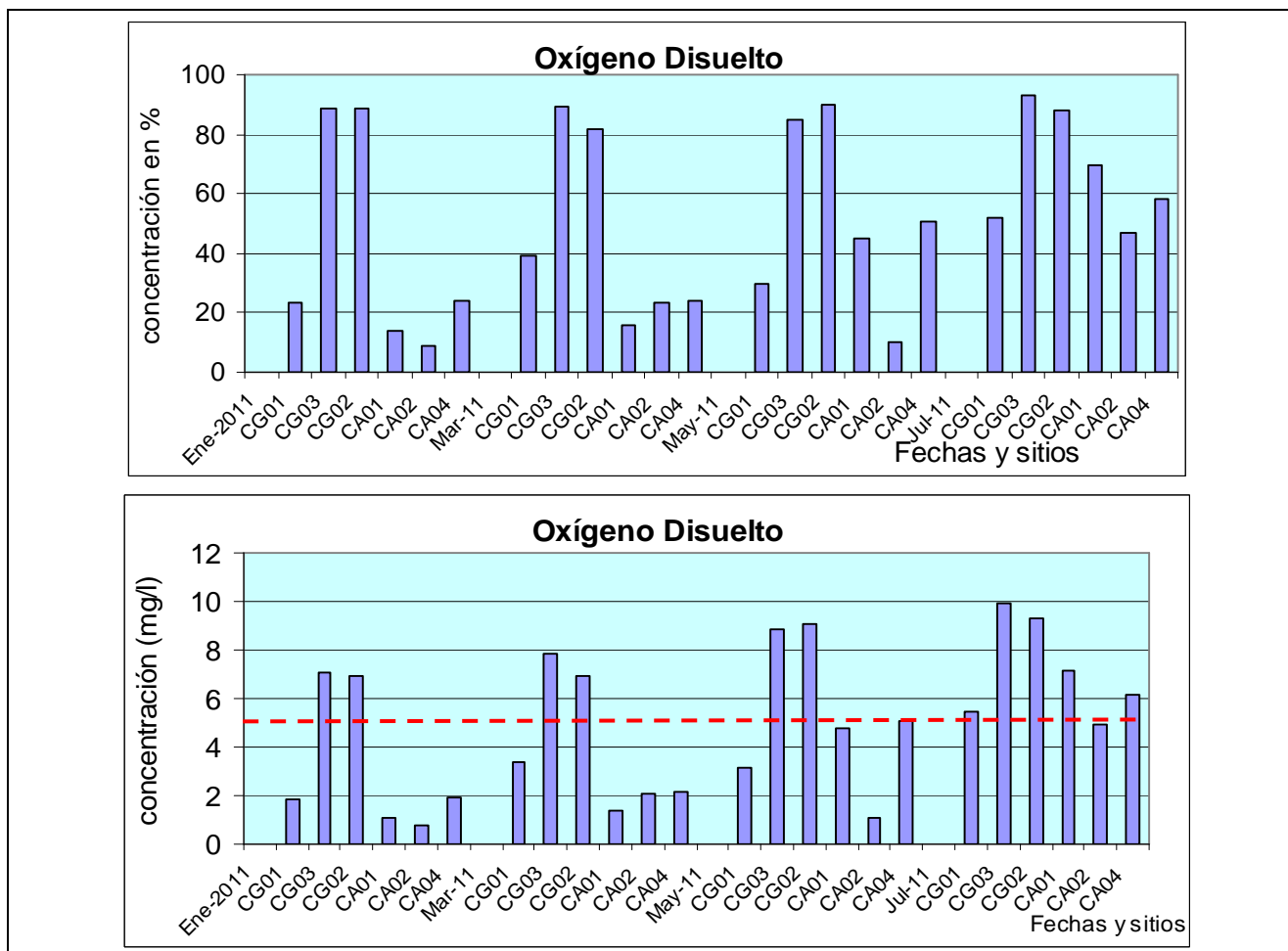


Figura 25. Variación espacial y temporal de la concentración de oxígeno disuelto en % y en mgO_2/l en el agua del Arroyo Canelones, Grande y Chico (estaciones CA01, CA02 y CA04) y embalse Canelón Grande (estaciones CG01, CG02 y CG03). La línea punteada indica el valor estándar establecido en la legislación para aguas naturales.

La **conductividad** del agua del Arroyo Canelones fue, en general, superior a los demás sistemas de la cuenca. Las estaciones de entrada al embalse (CG01) y sobre el curso principal del arroyo registraron conductividades altas para el agua dulce, alcanzando $1800 \mu\text{S}/\text{cm}$ en CA02, aguas abajo de la ciudad de Canelones (ver esquema en figura 23). La menor conductividad se registró en el embalse propiamente (estaciones CG03 y CG02) y antes de desembocar en el Santa Lucía (CA04), con valores próximos a $200 \mu\text{S}/\text{cm}$ (figura 26). Podría darse una relación inversa entre la conductividad y la lluvia, dado que en julio, con lluvias abundantes, la conductividad decreció en todas las estaciones hasta valores menores a $400 \mu\text{S}/\text{cm}$. Por otra parte, los bajos valores del embalse podrían explicarse por la composición del material particulado en suspensión que alcanza a altos niveles según la turbidez que presenta el sistema (ver adelante). Sin embargo, todas las explicaciones permanecen en el plano de las hipótesis hasta que se obtenga más información y se relacione con otros estudios.

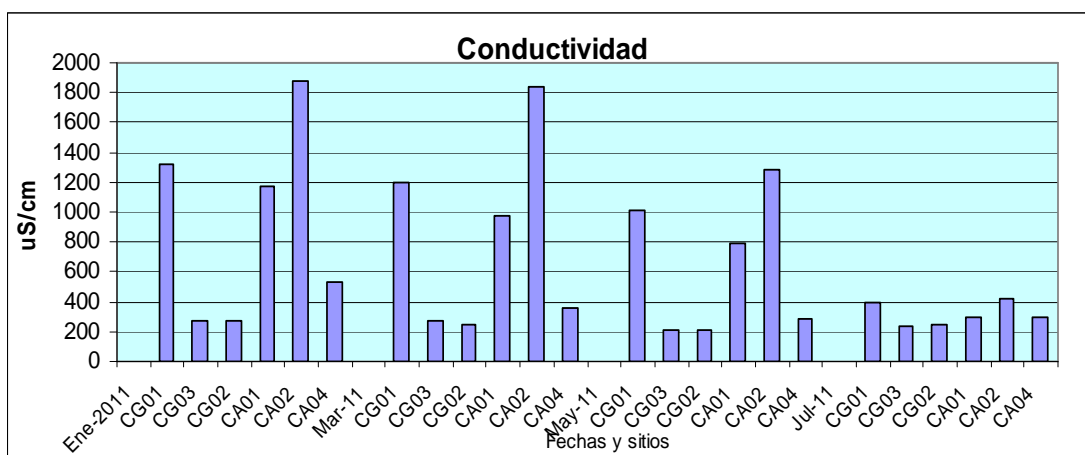


Figura 26. Variación espacial y temporal de la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) del agua en el Arroyo Canelones, Grande y Chico (estaciones CA01, CA02 y CA04) y embalse Canelón Grande (estaciones CG01, CG02 y CG03).

El pH del Arroyo Canelones y el embalse Canelón Grande registró un mínimo de 6 en CG02 en julio y máximo de 7,9 en CG03 en mayo. Este parámetro fue muy variable espacial y temporalmente. No permite sugerir alguna tendencia, excepto la disminución que presentó en julio y que se asocia al aumento de las lluvias en la cuenca. A diferencia de las otras subcuencas, el pH fue inferior al límite establecido en el decreto en sólo dos ocasiones en julio, en el embalse (figura 27). En la mayoría de las fechas, el pH fue superior a 7 y se mantuvo en el rango de calidad que establece la legislación vigente.

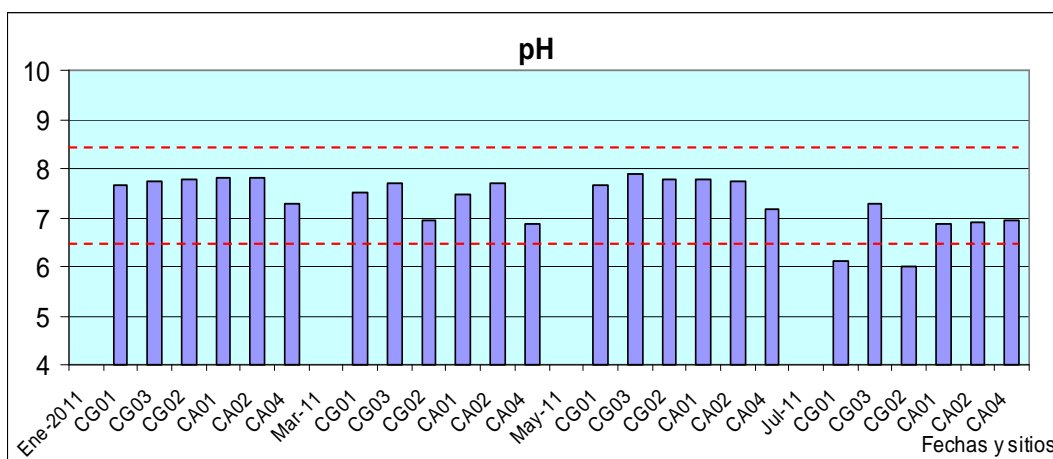


Figura 27. Variación espacial y temporal del pH en el Arroyo Canelones, Grande y Chico (estaciones CA01, CA02 y CA04) y embalse Canelón Grande (estaciones CG01, CG02 y CG03). Las líneas punteadas indican el rango de pH establecido en la legislación para aguas naturales.

Nutrientes

El **Fósforo total** en el Arroyo Canelones y el embalse Canelón Grande fue, en general, alto y muy alto en los dos muestreos analizados, registrando las concentraciones mayores de toda la CSL. El máximo valor de concentración se alcanzó en el embalse (CG03) en marzo con 12900 $\mu\text{gPT}/\text{l}$, y el menor en el arroyo (CA01) en enero con 480 $\mu\text{gPT}/\text{l}$ (figura 28). No es posible determinar las causas de estos valores con la información disponible. En el terreno de las hipótesis, debe considerarse que este sistema acuático está establecido en una cuenca con intensa actividad

agrícola, además de ciudades importantes en sus márgenes. Por lo cual recibe aportes difusos de fósforo posiblemente de origen agroquímico, además de aportes puntuales de origen doméstico o industrial. Esto explicaría los altos valores en CA02, aguas abajo de la ciudad. Sin embargo es complejo explicar las causas del valor de 12,9 mgPT/l registrado en el cuerpo del embalse.

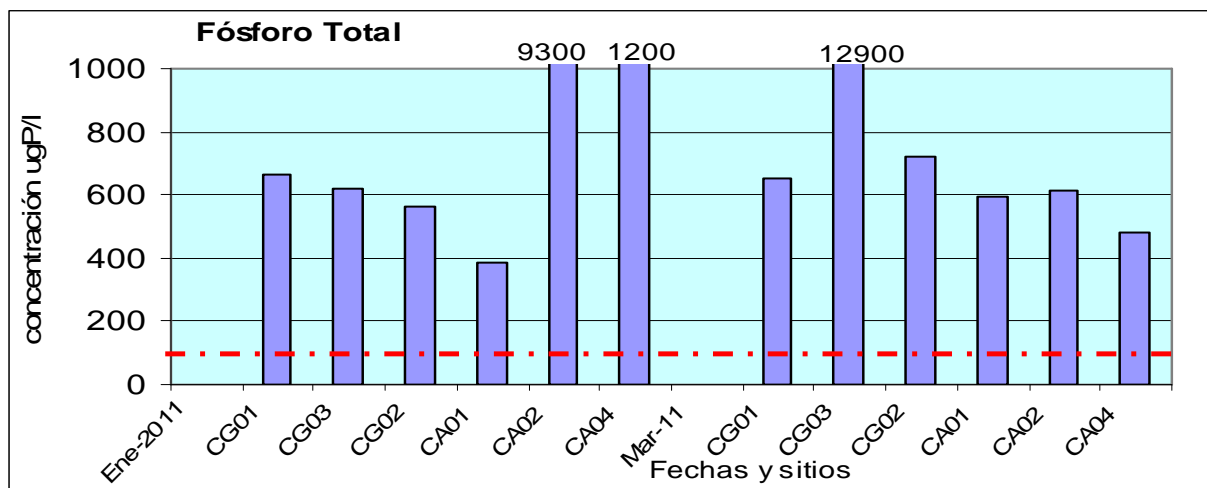


Figura 28. Variación espacial y temporal del fósforo total (ugPT/l) en el Arroyo Canelones, Grande y Chico (estaciones CA01, CA02 y CA04) y embalse Canelón Grande (estaciones CG01, CG02 y CG03). La línea punteada indica el valor estándar de calidad sugerido como modificación de la legislación para aguas naturales de ríos (100 µg/l).

Claramente, la concentración de **fósforo total** en la subcuenca del Arroyo Canelones superó en enero y marzo 2011 los máximos de calidad que establece la legislación vigente (25 µgPT/l) y la propuesta de modificación (100 µgPT/l para sistemas fluviales).

La concentración de **Nitrógeno** en la subcuenca del A° Canelones fue la más alta de la CSL. Medido como amonio (NH₄), registró concentraciones entre no detectables (LD=0,07 mg/l) hasta sus valores máximos en CA02 de 26 mg/l, aguas abajo de la ciudad de Canelones. La proximidad de esta estación a la ciudad indicaría que la alta concentración de amonio en el agua podría estar vinculada con los vertidos al sistema de aguas residuales domésticas sin tratamiento. Por otra parte, la concentración de nitrógeno medida como nitrato (NO₃) también mostró valores desde no detectables hasta los máximos de 7 mgN-NO₃/l en la misma estación (figura 29). La legislación establece un máximo de 10 mg/l para esta variable. Es probable que la influencia de los vertidos domiciliarios también afecte a esta variable en la estación CA02.

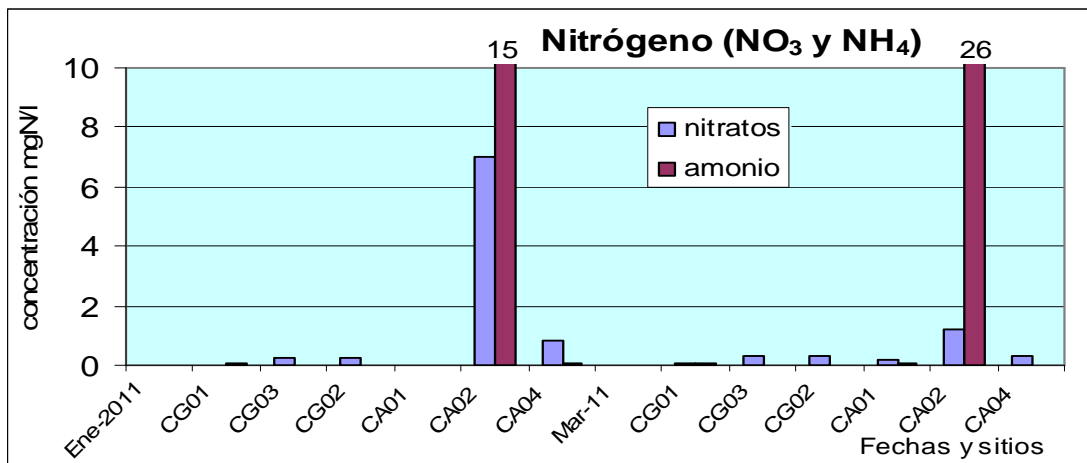


Figura 29. Variación espacial y temporal del Nitrógeno como nitrato (mgN-NO₃ /l) y amonio (mgN-NH₄/l) en el Arroyo Canelones, Grande y Chico (estaciones CA01, CA02 y CA04) y embalse Canelón Grande (estaciones CG01, CG02 y CG03).

La turbidez del agua de todo el sistema presentó valores entre 5 y 130 UNT, la más alta registrada para la CSL. Se distingue la turbidez de los dos niveles de monitoreo, con los máximos valores en el cuerpo del embalse (figura 30). El límite de calidad establecido en la legislación es 50 UNT, valor superado en los dos muestreos analizados hasta la fecha. La turbidez interfiere con la difusión de la luz en la columna de agua, afectando la actividad fotosintética de los organismos productores primarios (plantas, microalgas o algas).

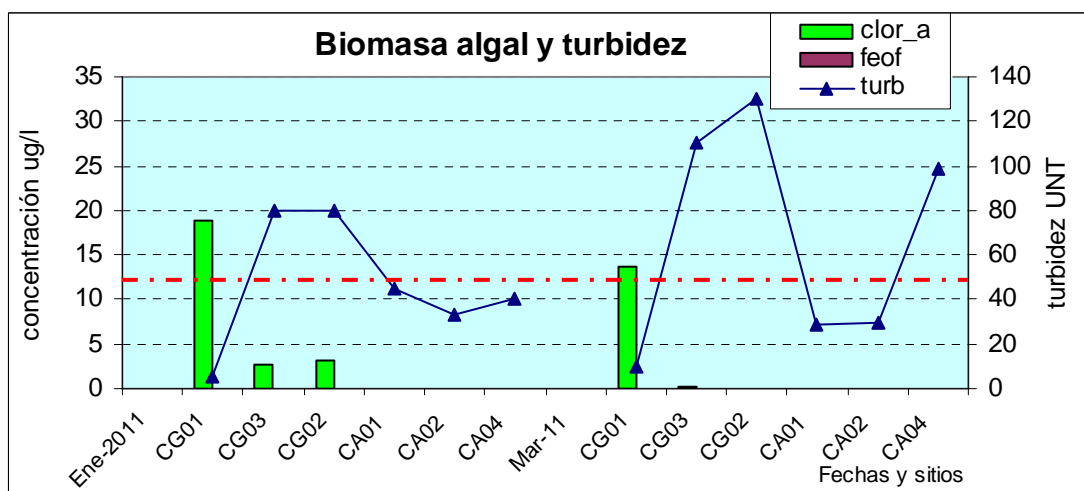


Figura 30. Variación espacial y temporal de la Turbidez (UNT) en el el Arroyo Canelones, Grande y Chico (estaciones CA01, CA02 y CA04) y embalse Canelón Grande (estaciones CG01, CG02 y CG03). La línea punteada indica el valor del estándar de calidad que establece el Decreto 253/79 y modificativos.

En esta subcuenca también se realiza un monitoreo de nivel 3 (embalses), por lo cual se agregó el análisis de la biomasa de fitoplancton, mediante la concentración de clorofila a, y de su pigmento de degradación, feofitina (figura 30), en las estaciones CG01 en la cola del embales, CG02 en la represa (o boca) y CG03 en el cuerpo del sistema. La clorofila registró su máxima concentración en CG01, en los dos meses analizados, disminuyendo sensiblemente en el resto del embalse. Paralelamente, en estas estaciones se incrementó sensiblemente la turbidez del agua, factor que actúa como limitante de la actividad fotosintética de las microalgas, limitando su crecimiento y por

lo tanto, la producción de clorofila. Esta relación inversa fue más notoria en marzo, cuando la concentración de clorofila no alcanzó el LC de 0,1 µg/l y la turbidez del agua superó los 100 UNT. La concentración de feofitina en el agua, registró valores menores al LC (0,1 µg/l) en todos los análisis.

Estos bajos valores de biomasa fitoplanctónica contradicen la hipótesis del alto valor de oxígeno del agua del embalse y hacen necesario establecer y demostrar otras hipótesis que permitan explicarlo y comprender el funcionamiento del sistema. Por otra parte, los altos niveles de nutrientes (N y P) constituyen una fuente no limitante para el crecimiento de algas y plantas, que sin duda, está siendo controlada por otros factores, entre los cuales la alta turbidez sería uno de los más importantes.

La concentración de coliformes termotolerantes en la subcuenca del Arroyo Canelones mostró los mayores valores en julio, con niveles que superaron las 10000 UFC/100 ml, en el curso principal. La variabilidad de este parámetro es muy amplia, por lo cual en la legislación se establece como valor estándar una concentración de 2000 UFC/100 ml en 5 muestras consecutivas. La estación CA02 presentó concentraciones de coliformes siempre superiores a 2000 UFC/100 ml. Es esperable encontrar coliformes termotolerantes en esta estación, ya que también son consecuencia del vertido de aguas residuales domésticas desde la ciudad de Canelones y se asocian con los altos valores de amonio y fósforo. Las estaciones del embalse mostraron niveles relativamente bajos de coliformes (figura 31).

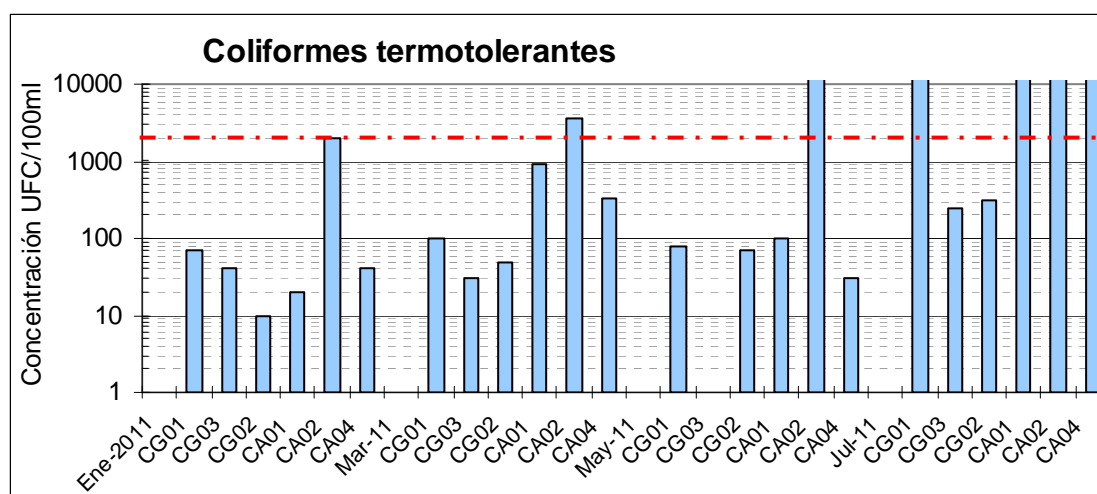


Figura 31. Variación espacial y temporal de la concentración de coliformes termotolerantes (UFC/100 ml) en el el Arroyo Canelones, Grande y Chico (estaciones CA01, CA02 y CA04) y embalse Canelón Grande (estaciones CG01, CG02 y CG03). La línea punteada indica el valor del estándar de calidad que establece el Decreto 253/79 y modificativos.

SUB CUENCA RIO SAN JOSÉ

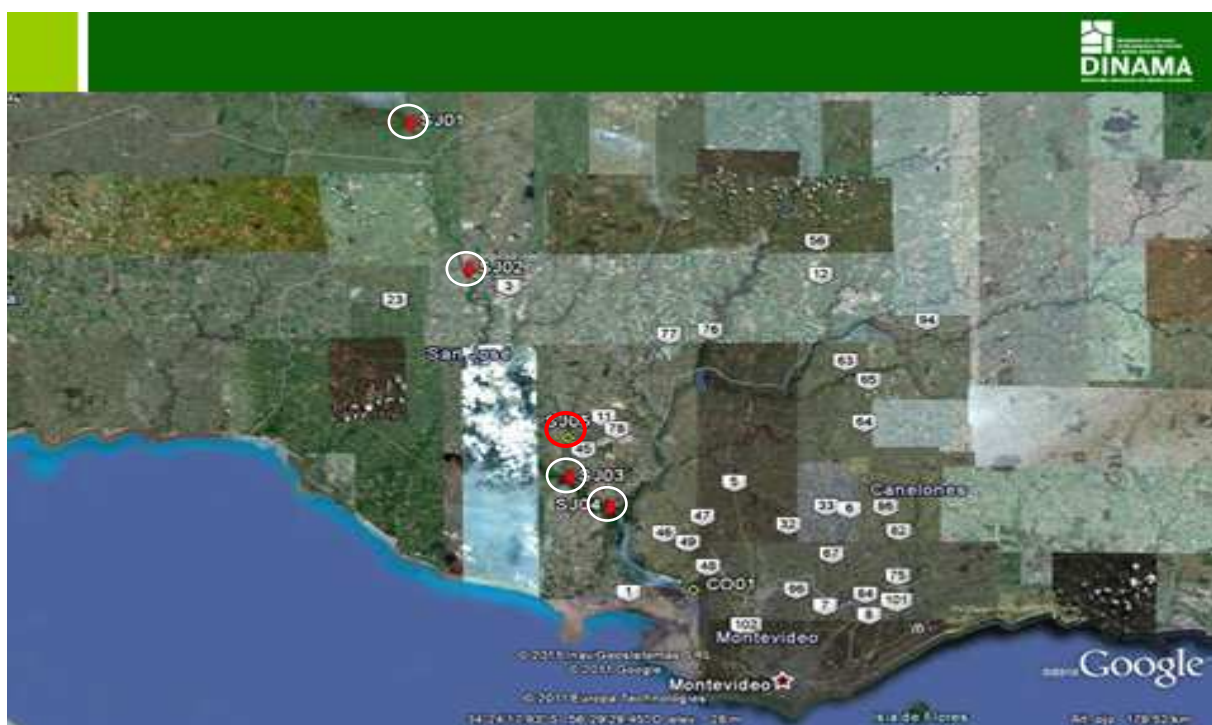


Figura 32. Subcuenca del Río San José. Se indica la ubicación de las estaciones del monitoreo de Nivel 1 (SJ01, SJ02, SJ03, SJ04) en blanco y de Nivel 2 (SJ05) en rojo

En la subcuenca del Río San José se establecieron dos niveles de monitoreo: Nivel 1-para el cauce principal y Nivel 2- para sitios que reciben altas cargas hidráulicas o contaminantes (tablas 1 y 2). En el esquema de la figura 33 se señala en color rojo la ubicación de la estación SJ05 que corresponde al monitoreo de nivel 2. Esta estación se encuentra próxima a la desembocadura del arroyo Cagancha en el Río San José (RSJ). En su cuenca está instalada una importante planta de productos lácteos. A fin de visualizar la posible influencia de la calidad del agua de SJ05 en las estaciones aguas abajo, se incluirán los resultados en los gráficos del monitoreo de Nivel 1.

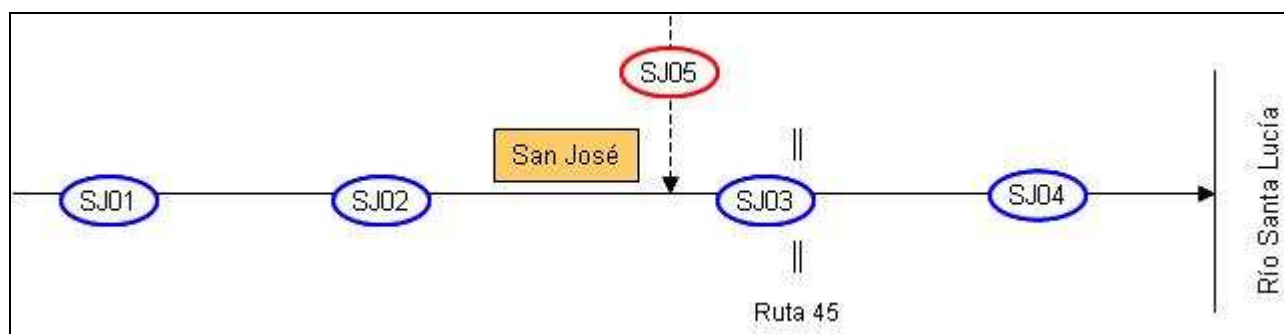


Figura 33. Esquema con la ubicación de las estaciones de monitoreo en la subcuenca del Río San José indicando las correspondientes al nivel 1 (cauce principal) y el nivel 2 (receptor de altas cargas)

La **temperatura** del agua en las estaciones del Nivel 1 presentó variaciones entre los 9 y 27,5°C, en julio y enero respectivamente. Especialmente, las estaciones de menor profundidad (más

someras) SJ01 y SJ05 se diferenciaron del resto mostrando temperaturas levemente inferiores en cada muestreo (figura 32).

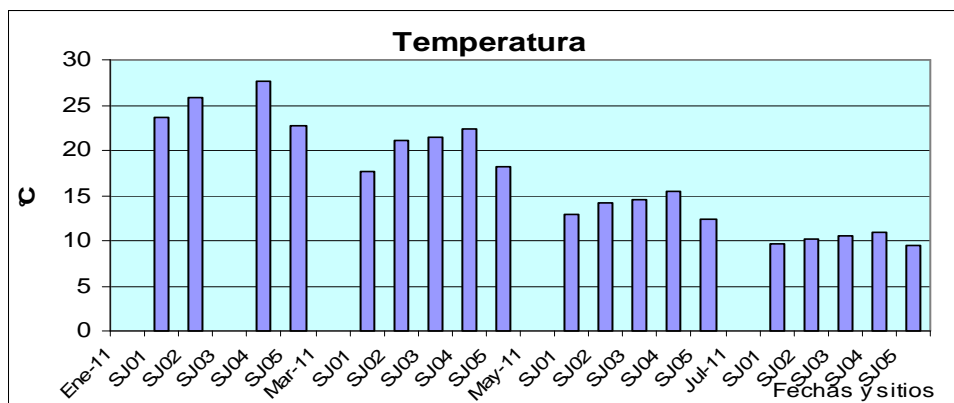


Figura 34. Variación espacial y temporal de la temperatura del agua en el Río San José

La **concentración de Oxígeno** en el agua del cauce principal, presentó los menores valores en marzo en SJ04 con 5,5 mgO₂/l (62%). El valor máximo fue 8,6 mgO₂/l en enero, lo que correspondió a 109% de concentración de oxígeno, también en la estación SJ04, que se ubica en una zona de bañados y vegetación abundante (figura 32). Nuevamente el alto valor de oxígeno podría deberse a la actividad fotosintética de los vegetales y fitoplacton presentes en el sitio (figura 35). La estación SJ05 (monitoreo Nivel 2) registró en enero y marzo los mínimos para todo el sistema, con 3 mgO₂/l que correspondieron a 3 % de OD.

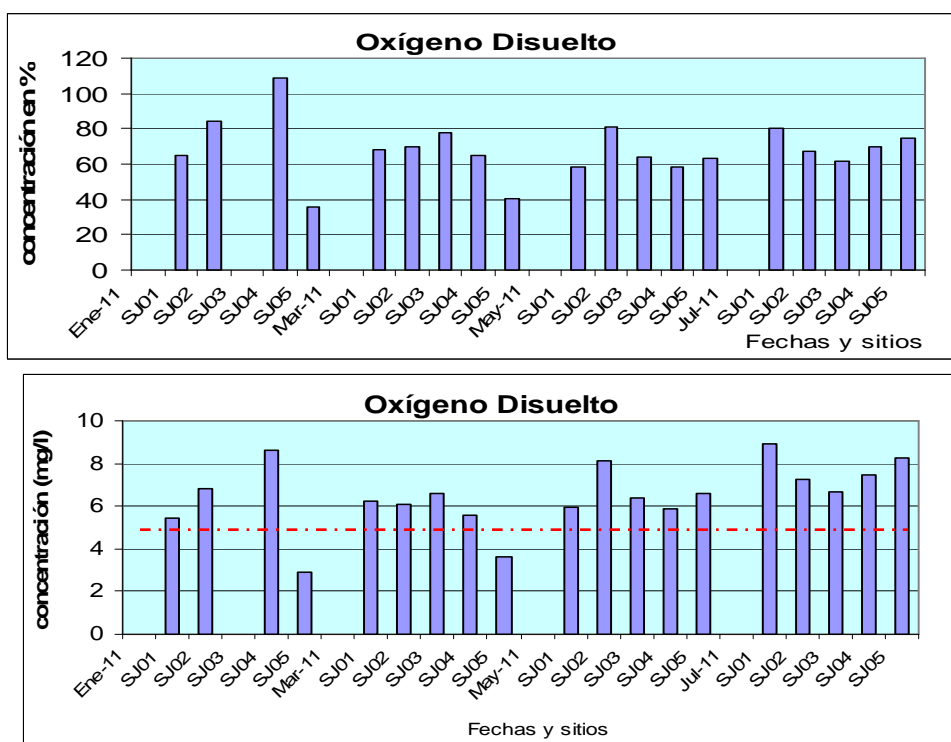


Figura 35. Variación espacial y temporal de la concentración de oxígeno disuelto en % y en mgO₂/l en el agua en el Río San José. La línea punteada indica el valor estándar establecido en la legislación para aguas naturales.

La **conductividad** del agua mostró un comportamiento similar al de las otras subcuencas, con una disminución de los valores en julio y con leves diferencias entre los demás muestreos. La máxima conductividad alcanzó a 3400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en SJ04 en marzo. La mínima fue 91 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la estación SJ02 en julio (figura 36). Se registraron lluvias importantes en este muestreo. Excepto por el registro de marzo, los valores más altos de conductividad se observaron en la estación SJ05 ubicada casi en la desembocadura del arroyo Cagancha, el cual recibe una importante carga de vertidos de la industria láctea ubicada aguas arriba.

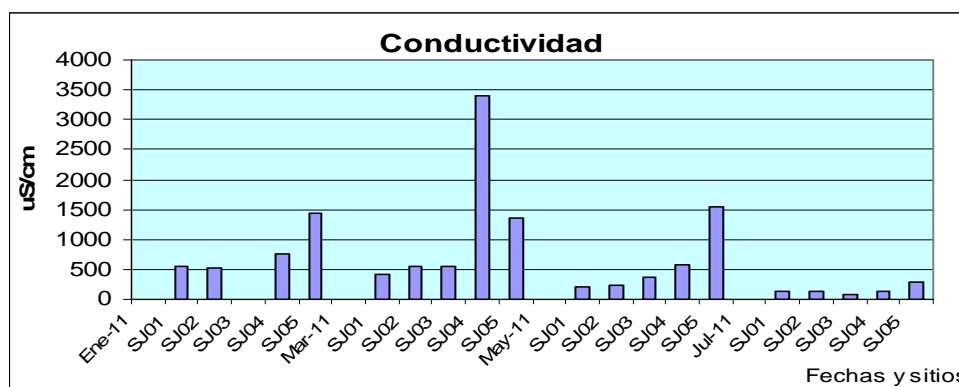


Figura 36. Variación espacial y temporal de la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) del agua en el Río San José

El **pH** del Río San José mostró una variación entre 5,6 y 8,2. Los valores más altos se registraron en los meses cálidos. Los más bajos, en julio en todas las estaciones, estando por debajo del límite inferior de pH que establece la legislación (figura 37). Esta situación ya se registró para los otros sistemas de la cuenca del Santa Lucía, mostrando una característica de este sistema que merece atención respecto a su capacidad de amortiguar los cambios de pH y el efecto que esto pueda tener sobre la biota.

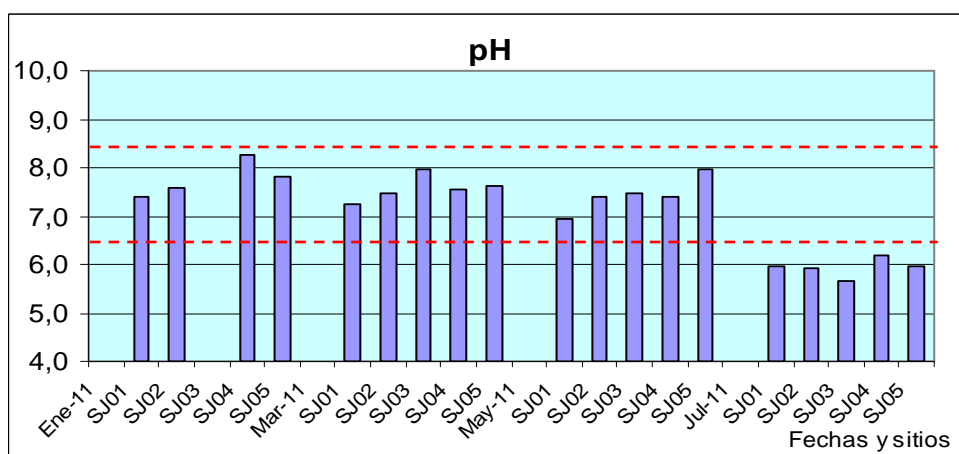


Figura 37. Variación espacial y temporal del pH en el Río San José. Las líneas punteadas indican el rango de pH establecido en la legislación para aguas naturales.

Nutrientes

La concentración de **Fósforo total** en el río San José fue relativamente alta en los dos muestreos analizados, ya que superó los 100 $\mu\text{g}/\text{l}$ en casi todas las muestras, con incremento de la concentración hacia la desembocadura. No se observaron diferencias importantes entre enero y

marzo, excepto en la estación SJ01 que registró la mínima concentración en marzo con 216 $\mu\text{gPT/l}$. Esta estación se ubica en la parte alta de la subcuenca. En el otro extremo, los máximos valores en los dos muestreos analizados se dieron en SJ05 con 2900 $\mu\text{gPT/l}$ (figura 38). Esta estación merece especial atención para esta variable que ha presentado dos valores altos en forma relativamente constante.

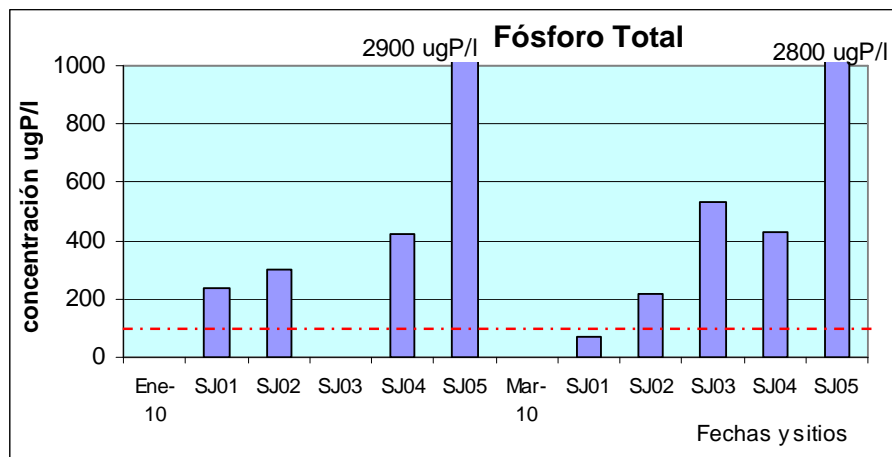


Figura 38. Variación espacial y temporal del fósforo total ($\mu\text{gPT/l}$) en el Río San José. La línea punteada indica el valor estándar de calidad sugerido como modificación de la legislación para aguas naturales de ríos (100 $\mu\text{g/l}$).

El **Nitrógeno**, medido como concentración de amonio (NH_4) y de nitrato (NO_3), registró en general niveles inferiores a 0,15 mg/l, excepto en SJ05. La concentración de NO_3 y NH_4 en enero, estuvo por debajo del LC= 0,02 mg/l en las muestras de las estaciones SJ01, 02 y 03 (figura 39). Mientras que en SJ05 la concentración de nitrato en enero alcanzó 1,27 mgN- NO_3 /l. Sin embargo no se registró un valor alto en marzo.

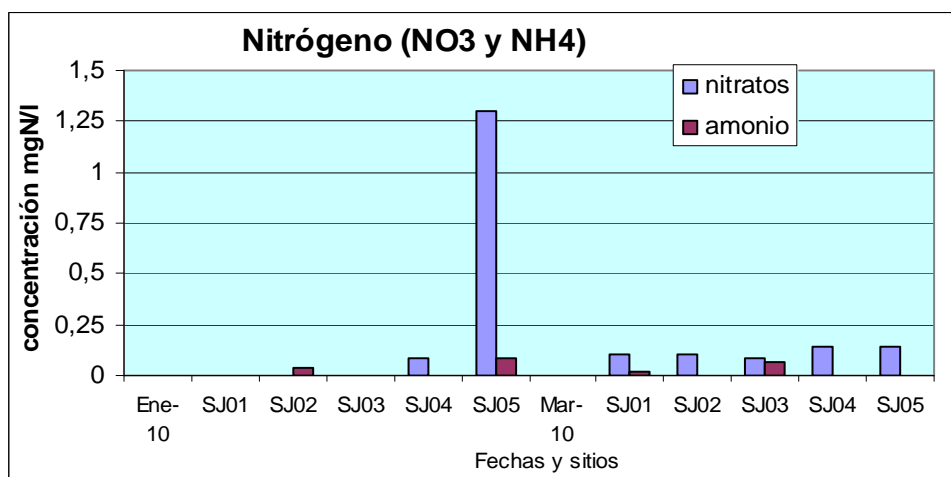


Figura 39. Variación espacial y temporal del nitrógeno como Amonio (mg N- NH_4 /l) y Nitrato (mg N- NO_3 /l) en el Río San José.

SÍNTESIS

Esta síntesis resume los resultados más relevantes del rediseño del programa de monitoreo de calidad de agua de la Cuenca del Río Santa Lucía obtenidos en 2011, el que establece cuatro escenarios ambientales. Se consideraron tres de ellos, definidos como Monitoreo de Nivel 1 en el curso principal, de Nivel 2 en sitios que reciben altas cargas hidráulicas o contaminantes y Nivel 3 en ambientes embalsados. A su vez, para facilitar el análisis de la información, los Niveles se organizaron en subcuencas. Éstas son las subcuencas del Río Santa Lucía, Santa Lucía Chico, San José y Arroyo Canelones.

De acuerdo con los resultados obtenidos durante el primer período de muestreo que comprendió los meses de enero, marzo, mayo y julio 2011, la calidad del agua de todo el sistema se presentó variable, tanto en el espacio como en el tiempo, pero en términos generales fue buena. De un modo general, los resultados obtenidos durante el primer período de monitoreo en el rediseño, indicaron que la calidad del agua del sistema RSL cumplió con la mayoría de los parámetros de calidad establecidos en el Decreto 253/79 y modificativos, excepto para el fósforo en la mayoría de las estaciones. Otros parámetros presentaron valores puntualmente fuera del rango establecido en escasas ocasiones.

Espacialmente, las subcuencas definidas mostraron condiciones que cumplieron con los niveles de calidad de agua establecidos en el Decreto 253/79 y modificativos, salvo sitios puntuales. El sistema que apareció comprometido con la calidad del agua fue la subcuenca del arroyo Canelones. Los indicadores más claros de afectación fueron los altos niveles de fósforo y coliformes. También los altos valores de conductividad del agua constituyeron señales de alerta para incrementar los estudios y el control de vertidos, tanto puntuales como difusos, que llegan al agua de este sistema. También los niveles de turbidez del embalse Canelón Grande resultaron muy altos. Sin embargo, esta situación controlaría el crecimiento de las microalgas o las plantas acuáticas del sistema, las cuales podrían desarrollar importante biomasa gracias al alto nivel de nutrientes que se encontró en el agua.

Otros sitios que muestran señales que deben atenderse respecto a la calidad del agua son las estaciones SLC03 en la cola del embalse Paso Severino y aguas abajo de la ciudad de Florida; SJ05 que recibe aportes desde el A° Cagancha; y CO01 que recibe aportes de la cuenca del Arroyo Las Piedras y Colorado.

Temporalmente, los parámetros de calidad de agua mostraron valores de alerta en forma diferenciada. Por ejemplo, el posible efecto derivado de la lluvia registrada en el muestreo de julio,

sobre algunas variables. El pH fue el más afectado, mostrando niveles por debajo del límite inferior que establece la legislación.

El modelo de rediseño se presenta como una forma clara de vigilar y analizar el comportamiento de este sistema tan vasto e importante por la ubicación y función que cumple. Por tal motivo debería ser prioritario el mantenimiento del programa de monitoreo. Esto permitiría incrementar la información sobre el sistema y conocer mejor su funcionamiento, para desarrollar una gestión que controle su proceso de deterioro y eutrofización. En el mismo sentido, será posible implementar políticas ambientales a nivel de cuenca hidrográfica para profundizar los estudios y preservar el ambiente en forma integral.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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 Biomonitoreo. Informe final. Convenio DINAMA-Fac. Ciencias. Uruguay.
- Inda H. & Indarte E. 2009. Informe de situación sobre fuentes de contaminación difusa en la cuenca del Río Santa Lucía. Convenio JICA-DINAMA. Diciembre 2009.
- JICA-DINAMA. 2008. Proyecto sobre el control y gestión de la calidad del agua en la Cuenca del Río Santa Lucía. Informe de avance N°1. Octubre 2008.
- JICA-DINAMA. 2009. Proyecto sobre el control y gestión de la calidad del agua en la Cuenca del Río Santa Lucía. Informe de avance N°2. Marzo 2009.
- JICA-DINAMA. 2009. Proyecto sobre el control y gestión de la calidad del agua en la Cuenca del Río Santa Lucía. Informe de avance N°3. Octubre 2009.
- JICA-DINAMA. 2010. Proyecto sobre el control y gestión de la calidad del agua en la Cuenca del Río Santa Lucía. Informe de avance N°4. Marzo 2010.
- JICA-DINAMA. 2009. Proyecto sobre el control y gestión de la calidad del agua en la Cuenca del Río Santa Lucía. Informe de avance N°5. Octubre 2010.