

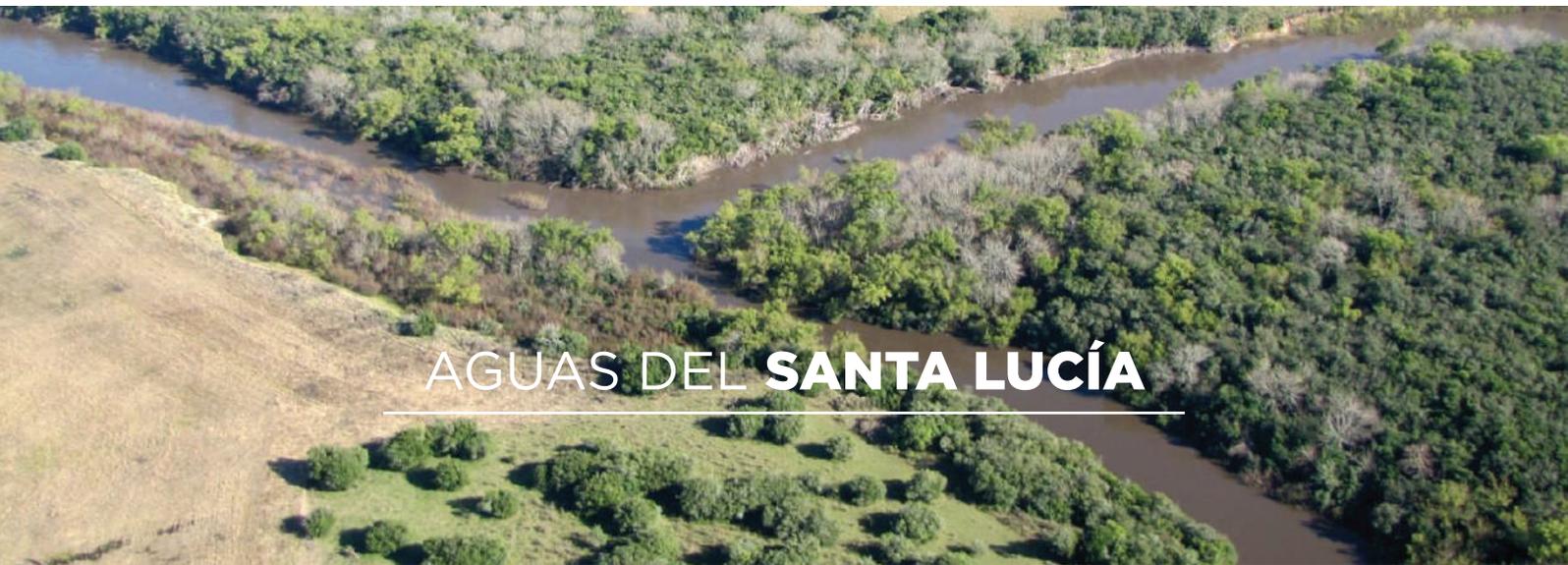


MVOTMA

Ministerio de Vivienda
Ordenamiento Territorial
y Medio Ambiente

Evolución del estado trófico del Río Santa Lucía (período 2005-2011)

Montevideo, Febrero 2013



DIRECCIÓN NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE

Director Nacional Arq. Jorge Rucks

División Evaluación de Calidad Ambiental-DECA

Director Ing. Luis Reolón

Departamento de Calidad de Agua – DCA

Jefe de Dpto.: Gabriel Yorda

Redacción del Informe:

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

Responsable del Programa de Monitoreo:

Alejandro Cendón

Técnicos participantes:

Gerardo Balero, César García, Javier Martínez, Patricia Robatto (SOHMA-revisión de datos analíticos)

Análisis de Laboratorio: Dpto. Laboratorio Ambiental
DINAMA

Jefa Laboratorio: Natalia Barboza

Participación especial

Intendencias de Canelones, Lavalleja, Florida y San José.
Programa DINAMA-JICA

INTRODUCCIÓN.....	4
Clases de Estado Trófico	6
MÉTODO DE TRABAJO.....	7
RESULTADOS.....	9
Evolución del estado trófico del Río Santa Lucía	9
Fósforo Total.....	9
Nitrógeno total	11
Clorofila a	12
Síntesis Río Santa Lucía	13
RIO SANTA LUCÍA CHICO	15
Fósforo total	16
Nitrógeno total	17
Clorofila a	18
Síntesis del Río Santa Lucía Chico.....	19
RIO SAN JOSÉ.....	20
Fósforo total	21
Nitrógeno total	22
Síntesis del Río San José.....	24
SÍNTESIS.....	25
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

Monitoreo de Calidad de Agua del Río Santa Lucía. Evolución del estado trófico (período 2005-2011)

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. Su cuenca hídrica está totalmente incluida en el territorio nacional. Es un sistema navegable en gran parte, con profundidades que alcanzan los 12 m, principalmente en la desembocadura. No obstante el cauce está interrumpido por las represas de Paso Severino y Aguas Corrientes en el curso principal, y por Canelón Grande sobre el brazo del Arroyo Canelones (figura 1).

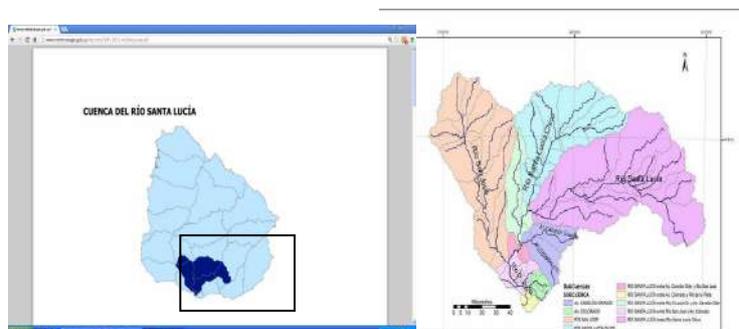


Figura 1. Cuenca del Río Santa Lucía.

Fuente: http://www.meteorologia.gub.uy/reportes/DNM_MCH_rioSantaLucia.pdf y <http://www.mvotma.gub.uy/ciudadania/biblioteca/documentos-de-ambiente/item/10003007-monitoreo-de-la-calidad-del-agua-santa-luc%C3%ADa-2011>

La cuenca baja del sistema contiene un área protegida con zonas de playas, barrancas y cárcavas, además de los únicos humedales costero-salinos del país debido al efecto de la intrusión del Río de la Plata en la zona de la desembocadura. El sistema está sometido a importantes presiones ambientales entre las que se cuenta la extracción diaria de 600.000 m³ de agua para abastecimiento de la zona metropolitana¹, el importante volumen de vertidos industriales en la cuenca (JICA-DINAMA, 2010b), el crecimiento constante de los centros poblados. Todo ello hace que el estado de la cuenca hidrográfica del Río Santa Lucía sea uno de los más críticos de las cuencas del país².

1 MVOTMA-Intendencias de Montevideo, Canelones y San José. 2007. PROPUESTA PARA LA INCLUSIÓN DEL ÁREA HUMEDALES DEL SANTA LUCÍA AL SNAP Grupo de trabajo para la elaboración de la propuesta de Humedales del Santa Lucía, en el marco del Programa Agenda Metropolitana. Disponible en: http://archivo.presidencia.gub.uy/metropolitana/docs/propuesta_miem.pdf Consultado el 2/12/2012

2 OFICINA DE PLANEAMIENTO Y PRESUPUESTO (OPP); ORGANIZACION DE LOS ESTADOS AMERICANOS (OEA); BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (BID); REPUBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY-

Desde el año 2005 la DINAMA lleva adelante un programa de monitoreo para evaluar y vigilar la calidad del agua de los principales cursos de la cuenca. Inicialmente con el apoyo técnico de la Cooperación Japonesa (JICA- www.dinama.gub.uy/jica) hasta 2010 y luego con sus propios equipos técnicos. En todo el período ha contado con la colaboración de las intendencias de la cuenca. Por Decreto 58/2011 la cuenca del Río Santa Lucía está en la órbita del Consejo Regional de la Cuenca del Plata y Océano Atlántico, siendo declarada como una cuenca prioritaria de gestión (DINAGUA, 2009³).

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 del mismo, 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.

Una descripción sobre el Río Santa Lucía y su cuenca hidrográfica está disponible en varios trabajos de la DINAMA y JICA. El más recientemente publicado (DINAMA 2010) está disponible en <http://www.mvotma.gub.uy/ambiente-territorio-y-agua/instrumentos-de-gestion-ambiental/estado-del-ambiente>.

Este trabajo tiene como objetivo recopilar los resultados obtenidos en las diferentes etapas y programas de monitoreo del sistema del Río Santa Lucía desarrollados por DINAMA y analizar el estado trófico del sistema durante el período 2005 a 2011. Para la determinación del estado trófico se utiliza el sistema de evaluación para ríos subtropicales aplicado por la Agencia Nacional del Agua (ANA) de Brasil, sustentado en el trabajo de Lamparelli (2004).

Esta clasificación propone cinco categorías de estado trófico determinadas a partir de los rangos de concentración de tres variables fundamentales: concentración de Fósforo total, concentración de Nitrógeno (inorgánico) total y concentración de Clorofila a. Las categorías surgidas de los valores encontrados son las que se presentan en la tabla 1, con sus rangos correspondientes.

La clasificación de los cuerpos de agua en alguna categoría de calidad o estado trófico, permite definir estrategias de gestión de las cuencas hidrográficas según cada categoría. Es fundamental para ello determinar las variables, y las concentraciones de las mismas, que

SECRETARIA EJECUTIVA PARA ASUNTOS ECONOMICOS Y SOCIALES- DEPARTAMENTO DE DESARROLLO REGIONAL Y MEDIO AMBIENTE, Washington D.C., 1992. ESTUDIO AMBIENTAL NACIONAL. Disponible en: <http://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea10s/ch006.htm> Consultado el 2/12/2012.

3 <http://www.mvotma.gub.uy/biblioteca/documentos-de-agua/item/10002981-plan-de-gesti%C3%B3n-integrada-de-recursos-h%C3%ADdricos>

permiten establecer las diferentes categorías del estado trófico de los cuerpos de agua. Dichas variables pueden definirse como “Indicadores” del estado trófico.

En este sentido, Lamparelli (2004) realizó un importante trabajo en la revisión de las variables utilizadas como indicadores de calidad de agua en países con gran trayectoria en estudios de calidad de agua (Carlson 1977, Toledo et al., 1983, Vollenweider 1968). Luego consideró importantes series de datos de dichas variables en ríos (sistemas lóticos) y embalses (sistemas lénticos), del Estado de Sao Paulo, encontrando diferencias significativas en las concentraciones para ambos tipo de ambientes. Estableció los coeficientes de correlación entre la concentración de *clorofila a* (como factor fundamental en la definición del estado trófico debido a que representa la respuesta de las algas y vegetales acuáticos a las disponibilidad de nutrientes, luz, temperatura principalmente) y algunas variables físicas y químicas; llegando a la conclusión que el análisis de fósforo total (PT), nitrógeno inorgánico total (NT) y de *clorofila a* (*Cl a*), corregida por feofitina, son fundamentales para evaluar con alta confianza el estado trófico de los ríos de llanura y clima subtropical.

Clases de Estado Trófico

Brasil ha aplicado la clasificación de estados tróficos propuesta por CETESB para el Estado de Sao Paulo, siendo tal vez el país más avanzado de la región en estudios de calidad de agua y determinación de categorías de estado trófico en sus sistemas acuáticos (ANA 2009, 2011). Existen similitudes climáticas y topográficas de los ríos considerados en los programas de monitoreo de CETESB para el Estado de Sao Paulo (ríos de planicie, con alta turbidez, sedimento de arena y arcilla, interrupción de los cursos por la construcción de represas), con los ríos de Uruguay. De ahí la propuesta de aplicación del mismo índice en nuestro país.

Tabla 1. Concentración (media geométrica anual) de las variables determinantes del estado trófico para los sistemas fluviales del estado de Sao Paulo (ANA 2009).

Variable- concentración promedio anual	ESTADO TRÓFICO				
	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Supereutrófico	Hipertrófico
clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g/l}$) año	≤ 1	1 – 3	3 – 5	5 – 11,6	$> 11,6$
PT ($\mu\text{g/l}$) año	≤ 30	30 – 170	170 – 440	440 – 1800	> 1800
NT (mg/l) año	$\leq 0,6$	0,6 – 4,2	4,2 – 10,5	10,5 – 51	> 51

De acuerdo con un relevamiento realizado por Lamparelli (2004) sobre 610 datos de PT en 35 ríos, la concentración promedio fue de 0,193 mgPT/l (mientras que en los embalses, la concentración promedio fue de 0,075 mg/l).

MÉTODO DE TRABAJO

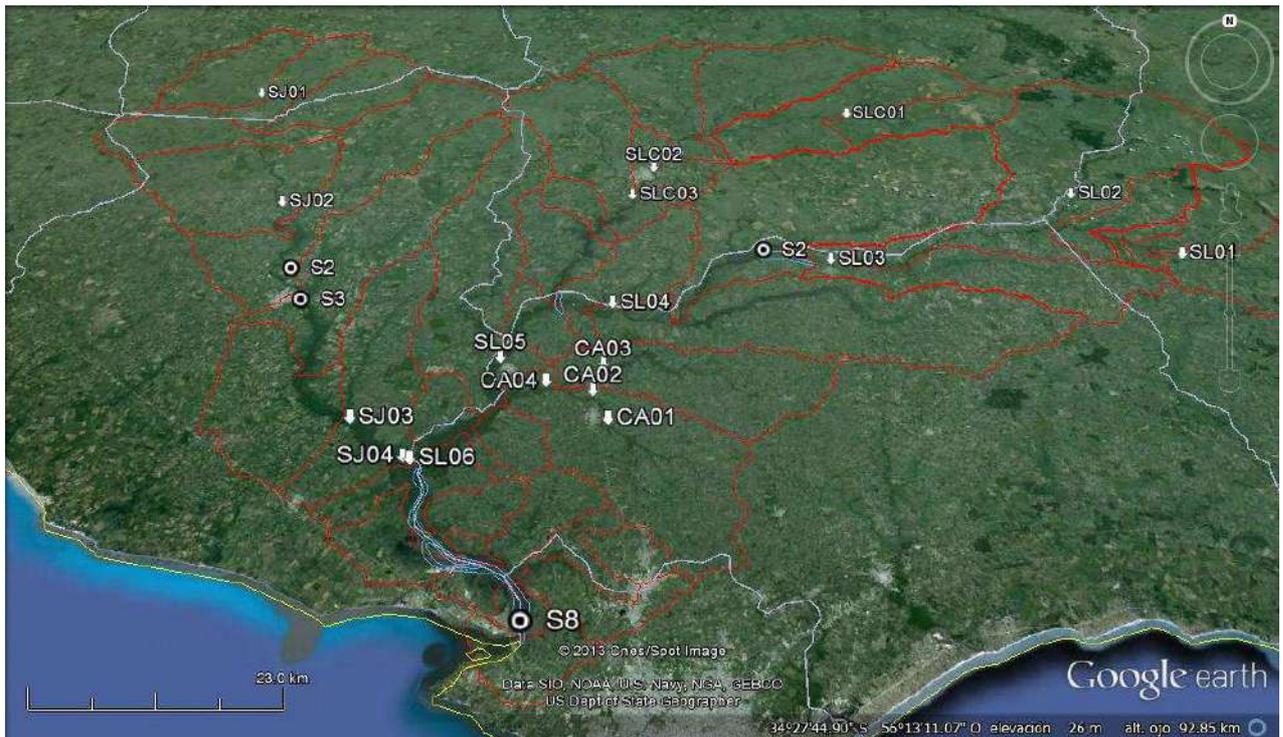
Los datos utilizados para el presente trabajo provienen de las campañas de monitoreo de calidad de agua que realiza el Departamento de Evaluación de Calidad de Agua, de la División de Evaluación de la Calidad Ambiental de DINAMA, desde diciembre de 2004. Dado que solo se cuenta con un dato de 2004, se ha simplificado la denominación del período de trabajo como "2005-2011", pero se consideran los datos de 2004. Entre 2004 y 2010 (marzo) los trabajos se realizaron en colaboración con la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA) mediante convenio con DINAMA. Nos referiremos a esta etapa y la información surgida de ella como "convenio DINAMA-JICA". A partir de 2010, el programa se rediseñó y continuó en la órbita de la DINAMA. Nos referiremos a esta etapa como "rediseño". En ambos períodos se contó con el apoyo de las Intendencias de la cuenca del Río Santa Lucía (Intendencias de San José, Florida, Canelones y Lavalleja).

Para este análisis se consideraron los datos de las estaciones sobre el cauce principal de los tres ríos más importantes de la cuenca: Río Santa Lucía (SL), Río Santa Lucía Chico (SLC) y Río San José (SJ). En la figura 2 se muestra la ubicación de las estaciones de ambos programas. En la tabla 2 se muestran las nomenclaturas de las estaciones en ambos programas.

Tabla 2. Nomenclatura de las estaciones de muestreo y correspondencia entre las nominaciones en el programa actual ("rediseño") y anterior ("convenio DINAMA-JICA")

SUBCUENCA	Santa Lucía		Santa Lucía Chico		San José	
	Actual	Anterior	Actual	Anterior	Actual	Anterior
ESTACIONES en el cauce principal	SL01	L2	SLC01	F2	SJ01	---
	SL02	---	SLC02	F3	SJ02	S1
	SL03	C7	SLC03	F4	---	S2
	SL04	C3	SLC04		---	S3
	SL05	C1			SJ03	---
	SL06	S7			SJ04	S5
	---	S8				

Figura 2. Estaciones de monitoreo en la Cuenca del Río Santa Lucía. SL: Río Santa Lucía, SLC: río S. Lucía Chico; SJ y S: río San José. Las flechas marcan las estaciones originales que se mantienen en el rediseño del programa (desde 2011); Los círculos marcan las estaciones del programa DINAMA-JICA (2005-2010) que no se continuaron.



De acuerdo con el trabajo de Lamparelli (2004) para clasificar el estado trófico de los ríos, se utilizaron los resultados de la concentración de fósforo total (PT), nitrógeno inorgánico total (NT) y *clorofila a* corregida por feofitina (Cl a). Para cada parámetro se calculó la media geométrica por estación y por año. A cada estado trófico se asignó un color (tabla 1) para facilitar la lectura de los resultados. A fin de comparar el valor de concentración promedio de cada parámetro con los resultados mostrados por Lamparelli (2004) para los ríos del Estado de Sao Paulo, se calculó la media geométrica de cada parámetro, con los datos obtenidos para los tres sistemas durante todo el período de estudio.

RESULTADOS

La cantidad de datos disponibles o utilizables resultó en un número variable para los diferentes parámetros y estaciones de muestreo. La concentración de PT es el dato más frecuente en todos los sitios y fechas de muestreo; mientras que la clorofila a y el NT son de obtención más reciente en el tiempo.

Las clases tróficas establecidas en este trabajo se identifican con los colores:

Color	Estado trófico	Color	Estado trófico
Azul claro	OLIGOTRÓFICO	Amarillo	SUPEREUTRÓFICO
Celeste	MESOTRÓFICO	Naranja	HIPERTRÓFICO
Verde	EUTRÓFICO		

Evolución del estado trófico del Río Santa Lucía

Las estaciones de monitoreo sobre el río Santa Lucía se ubican como muestra el esquema de la figura 3. La estación L6 fue monitoreada en el período 2005-2010; mientras que la SL02 se comenzó a monitorear en 2011. La estación destacada en rojo CO01 corresponde al Arroyo Colorado, y no se incluye en este análisis ya que forma parte del monitoreo de nivel 3 (evaluación de sitios contaminados) en el rediseño del programa.

En las tablas 3, 4 y 5, se resumen los resultados de la concentración media anual de las tres variables consideradas en cada estación monitoreada en los dos programas (convenio DINAMA-JICA y rediseño).

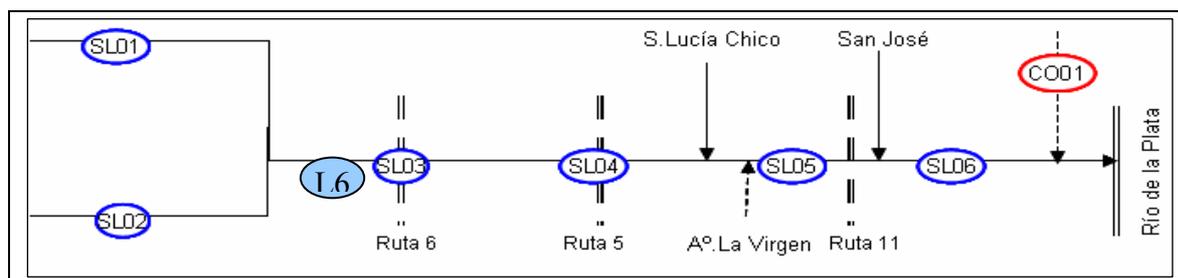


Figura 3. Esquema con la ubicación de las estaciones de monitoreo en el río Santa Lucía utilizadas entre 2005 y 2011. Se indican las principales referencias (rutas) y llegada de afluentes (ríos Santa Lucía Chico, San José y Arroyo La Virgen). La estación CO01 (A° Colorado) no forma parte de este análisis. Tomado de DINAMA 2011.

Fósforo Total

La cantidad de datos de PT obtenida para el río SL fue de 165, y por estación de muestreo se obtuvieron entre 3 y 6 datos al año. El Fósforo total en el río Santa Lucía presentó

niveles entre 0,0090 y 1,1 mg/l, con una concentración media para el período de 0,131 mg/l (media geométrica). La estación SL2 muestra la mayor concentración promedio del nutriente, pero es la que tiene menor cantidad de datos (n=2). Mientras que la cantidad de datos para las demás estaciones está entre n=20 y 25. Por lo cual el valor de SL2 está sujeto a ajustes a medida que se obtengan nuevos resultados. Las estaciones SL4, SL5 y SL6 muestran concentraciones de PT gradualmente mayores hacia la desembocadura del río, indicando una acumulación del PT aguas abajo en el sistema (figura 4). Las estaciones aguas arriba, más próximas a la cabecera de la cuenca registraron las menores concentraciones con niveles entre 30 y 100 µgP/l.

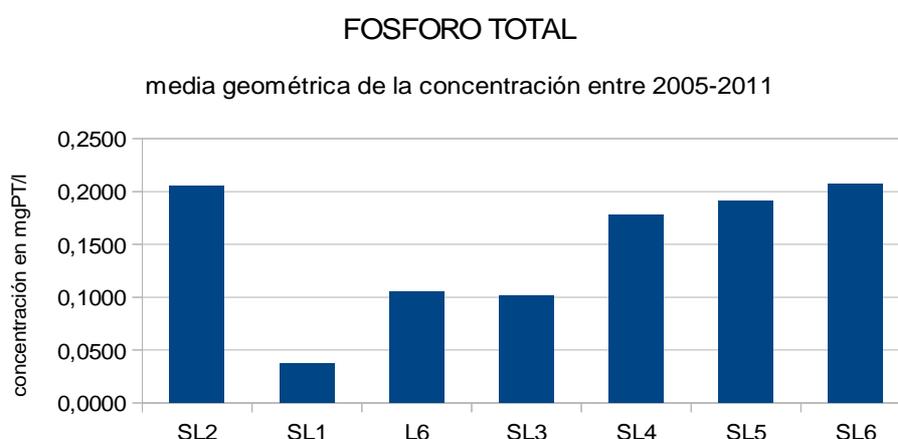


Figura 4. Variación de la concentración del fósforo total (mgPT/l, media geométrica) en el Río Santa Lucía.

La evolución del estado trófico del río Santa Lucía en función de la concentración de PT, muestra que existe un incremento temporal del nutriente en todas las estaciones a lo largo del río Santa Lucía (tabla 3). Durante los primeros años de monitoreo los niveles de PT estuvieron en los rangos establecidos como oligotrófico y mesotrófico (ver referencias de concentración y colores en la tabla 1), para la mayoría de los puntos de muestreo.

Las estaciones de la cuenca baja (SL5 y SL6), que tienen datos desde el inicio del programa, mostraron altas concentraciones en 2005 pero se recuperaron en los años siguientes, disminuyendo sus niveles de PT; para luego incrementarlo y mantenerse en los valores correspondientes al estado eutrófico a partir de 2008. Debe observarse, en la tabla 3, que entre 2010 y 2011 se registró un importante incremento en los valores de PT para todas las estaciones, excepto SL4 que se mantuvo igual. Las causas asociadas a este incremento en los niveles de PT que determinan un importante incremento en el estado trófico del sistema deberán ser investigadas a fin de realizar una adecuada gestión y enlentecer el proceso de eutrofización que está mostrando según estos resultados.

Tabla 3. Concentración promedio anual (media geométrica) del fósforo total (mgPT/l) en las estaciones del Río Santa Lucía monitoreadas entre 2005 y 2011

EVOLUCIÓN DEL FÓSFORO TOTAL (mgPT/l)							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
SL2							0,2058
SL1	0,0251	0,0180	0,0215	0,0235	0,0857	0,0556	0,4317
L6	0,0864	0,0889	0,0889	0,1698	0,1546	0,0935	
SL3	0,0772	0,0517	0,1019	0,1520	0,0954	0,1122	0,2825
SL4	0,0490	0,1049	0,1673	0,1697	0,1495	0,1833	0,1833
SL5	0,1811	0,0884	0,1544	0,2546	0,2555	0,2323	0,3667
SL6	0,2689	0,1104	0,0955	0,2102	0,2872	0,2477	0,3334

Nitrógeno total

La información sobre la concentración de nitrógeno total inorgánico (NT) en el río Santa Lucía comenzó a analizarse a partir de 2009, por lo cual se cuenta con un reducido número de datos respecto al PT. La cantidad de datos disponibles es n=37.

La concentración de NT está entre 0,31 y 1,51 mg NT/l, con una media geométrica de 0,885 mgNT/l. La estación SL5 presenta la mayor concentración promedio para el período de estudio, seguida de SL6 (figura 4); similar a lo observado para el PT. Mientras que SL1 más próxima a la alta cuenca presenta los niveles más bajos del nutriente. También para el NT el sistema muestra un gradual incremento de su concentración hacia la desembocadura, con algunos sitios puntualmente altos, como L6, que luego se recuperan.

NITRÓGENO TOTAL

media geométrica de la concentración entre 2009-2011

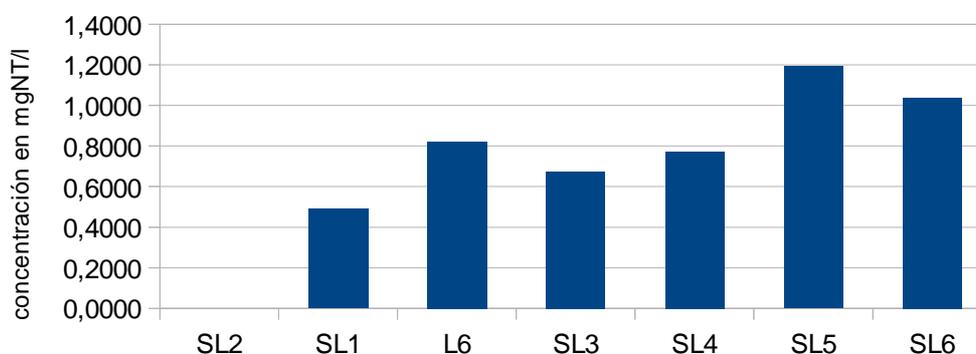


Figura 5. Variación de la concentración del nitrógeno total (mgNT/l, media geométrica) en el Río Santa Lucía.

La evolución del estado trófico del Río Santa Lucía a partir de la concentración de NT sólo puede evaluarse desde 2009 (tabla 4). Los valores que muestra el sistema indican que el estado trófico evoluciona desde oligo-mesotrófico a meso-eutrófico. En tal sentido, en 2009 los resultados en 3 de 7 estaciones indicaron condiciones de estado oligotrófico; mientras que en 2010 solo 1 de 7 se mantuvo en ese nivel. No obstante, para la mayoría de las estaciones monitoreadas, los valores no tuvieron incrementos significativos y en algunos casos descendieron, aunque manteniéndose en la categoría de mesotrófico (SL1, SL5, SL6).

Tabla 4. Concentración promedio anual (media geométrica) del nitrógeno total (mgNT/l) en las estaciones del Río Santa Lucía monitoreadas entre 2009 y 2011

EVOLUCIÓN DEL NITRÓGENO TOTAL (NT)							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
SL2					0,5268	0,4661	
SL1					0,8691	0,7905	
L6					0,4773	0,8459	
SL3					0,5042	1,0292	
SL4					1,1125	1,2499	1,0292
SL5					1,3120	0,8874	
SL6					2,1343	1,6449	

Será importante conocer cuales son los factores que determinan tanto los incrementos como las disminuciones de los niveles de NT entre un año y otro a fin de considerarlos para la gestión de la cuenca.

Clorofila *a*

La medición de la concentración de clorofila *a* (con corrección por feofitina) como una medida del crecimiento y biomasa de la comunidad fitoplanctónica (microalgas) se inició a partir de 2009. Por lo tanto, de forma similar a lo ocurrido con el NT, también se tienen relativamente pocos datos, n=44.

La concentración de clorofila *a*, presenta un rango entre 0,1 y 14, 8 µgCL a/l; con una concentración promedio (MG) de 1,46 µg/l. A diferencia de lo registrado para los otros dos parámetros indicadores del estado trófico, la concentración de clorofila *a* no se incrementó a lo largo del río, sino que tuvo variaciones más localizadas. La mayor concentración promedio para el período de estudio se registra en la estación L6 (actualmente discontinuada); y en segundo lugar en la SL6, próxima a la desembocadura. Las estaciones intermedias muestran concentraciones promedio similares y bajas (figura 6).

CLOROFILA A

media geométrica de la concentración entre 2009-2010

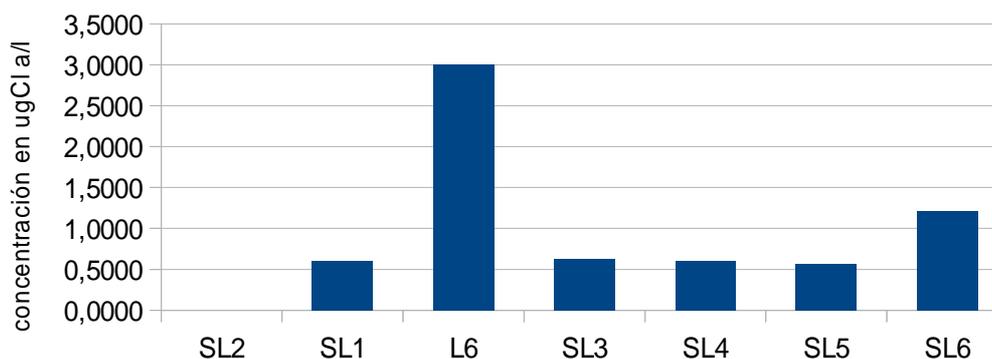


Figura 6. Variación de la concentración del clorofila a ($\mu\text{g Cl a/l}$) en el Río Santa Lucía.

La evolución del estado trófico en función de la concentración de clorofila *a* muestra un solo valor "alto" entre 2009 y 2010, en la estación L6, que pasa de un estado mesotrófico a eutrófico (tabla 5). No obstante, en el resto de las estaciones los niveles de clorofila muestran condiciones de estado oligotrófico, o sea, con muy bajas concentraciones promedio anual de biomasa algal. Dentro de estos bajos niveles, la mayoría de los valores se incrementan de un año a otro.

Tabla 5. Concentración promedio anual (media geométrica) de la Clorofila *a* ($\mu\text{g Cl a/l}$) en las estaciones del Río Santa Lucía monitoreadas entre 2009 y 2011

EVOLUCIÓN DE LA CLOROFILA A (Cl a)							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
SL2							
SL1					0,5441	0,6402	
L6					1,1477	4,8634	
SL3					0,2711	0,9529	
SL4					0,3376	0,8131	0,8131
SL5					0,2490	0,8534	
SL6					2,2599	0,8879	

Síntesis Río Santa Lucía

La evolución del estado trófico del Río Santa Lucía en función de las concentraciones (media geométrica anual) de PT, NT y Clorofila *a*, indican que el sistema muestra un incremento del estado trófico hacia los últimos dos años de monitoreo, particularmente en las estaciones de la baja cuenca. Este resultado está sustentado, principalmente, por los datos de PT que son más abundantes y constantes durante todo el período de estudio.

RIO SANTA LUCÍA CHICO

El cauce principal del Río Santa Lucía Chico se encuentra interrumpido por el Embalse Paso Severino, aguas abajo de la ciudad de Florida (figura 7). En este informe se consideran los resultados obtenidos para las estaciones del cauce principal excluyendo el embalse, debido a que las ecuaciones que determinan la evaluación del estado trófico se ajustan a datos de ríos. La estación SL03 del río coincide geográficamente con la PS01 en la cola del embalse y es incluida en los resultados.



Figura 7. Subcuenca del Río Santa Lucía Chico indicando la ubicación de las estaciones de muestreo. Las flechas indican las estaciones actuales y los círculos las discontinuadas.

Las estaciones de muestreo de los dos períodos de monitoreo se muestran en el esquema de la figura 8. Actualmente se mantiene el monitoreo en las estaciones aguas arriba del embalse Paso Severino, mientras que se discontinuó el monitoreo en F5, aguas abajo.

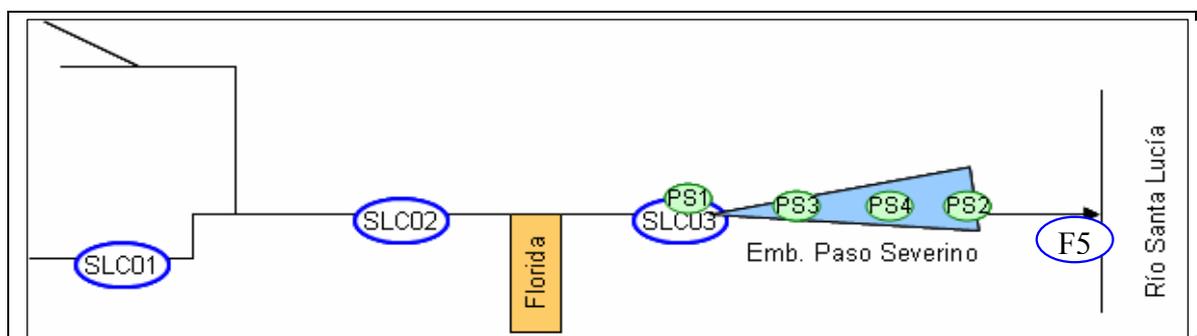


Figura 8. Esquema con la ubicación de las estaciones de monitoreo del río Santa Lucía Chico indicando las correspondientes al cauce principal (círculos azules) y el embalse (círculos verdes). Modificado de DINAMA 2011.

Fósforo total

El **Fósforo total** en el río Santa Lucía Chico presenta niveles entre 0,018 y 0,911 mg PT/l, en 98 datos disponibles, con un valor promedio (MG) de 0,168 mg/l. Se observa una tendencia al incremento de la concentración de PT desde las estaciones de aguas arriba hacia la desembocadura del sistema (figura 9). La estación SL3 que coincide con la cola del embalse Paso Severino muestra los niveles más altos del nutriente. Esta estación podría comportarse como un sistema híbrido entre río y lago por sus ubicación. Sería necesario analizar específicamente si la alta concentración de nutriente se debe a condiciones hidrológicas (cambio en el tiempo de residencia del agua) o ambientales (altos aportes desde la cuenca). Se mencionan estas posibilidades entre otras, pero se requieren estudios específicos para determinar las causas. En la estación aguas abajo del embalse (F5), la concentración promedio de PT registró una disminución.

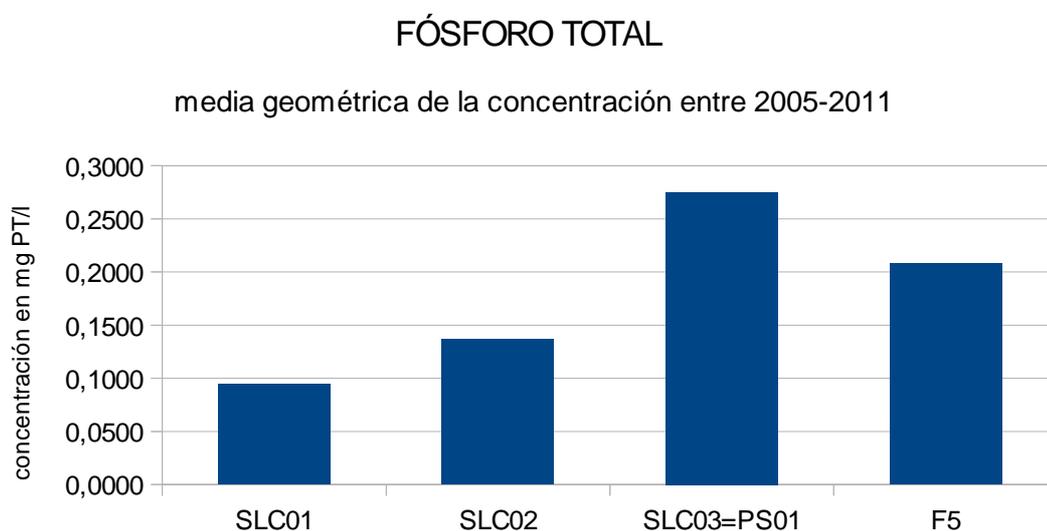


Figura 9. Variación de la concentración del fósforo total (mg PT/l, media geométrica) en el Río Santa Lucía Chico.

En los sitios monitoreados cada año, la concentración de PT muestra una evolución de menor a mayor estado trófico, variable según el lugar del río. La estación SLC01, más próxima a las nacientes, ha mostrado un estado casi constante de nivel mesotrófico durante 6 años consecutivos, para alcanzar un nivel levemente eutrófico en 2011 (tabla 8). Levemente porque el límite de concentración que determina dicho nivel es 0,170 mg PT/l, y en 2011 alcanzó a 0,179 mg/l. No obstante, a lo largo del tiempo se observan concentraciones anuales promedio con tendencia creciente, lo que significa una evolución hacia el estado eutrófico o más. La estación SL02, situada aguas arriba de la ciudad de Florida, también ha presentado niveles mesotróficos en la mayoría de los años monitoreados. Sin embargo este sitio parece recibir

pulsos de aportes de PT, ya que en 2008 y 2011 registró incrementos significativos respecto a los años previos.

Tabla 6. Concentración promedio anual (media geométrica) de la concentración de fósforo total (mg PT/l) en las estaciones del Río Santa Lucía Chico monitoreadas entre 2005 y 2011

EVOLUCIÓN DEL FÓSFORO TOTAL (mg PT)							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
SLC01	0,0694	0,0537	0,0901	0,1369	0,1534	0,1327	0,1795
SLC02	0,1221	0,0573	0,0974	0,2483	0,1497	0,1491	0,4050
SLC03=PS01	0,2796	0,1701	0,1453	0,5423	0,2985	0,2386	0,8266
F5	0,1795	0,1569	0,1104	0,3359	0,3697	0,2762	

La estación SLC03 aparece como la más comprometida y de nivel trófico más alto. Desde el comienzo del programa de monitoreo, esta estación presentó valores que la sitúan en el rango de eutrófica. No obstante un descenso en la concentración del PT en 2007 la bajó al nivel mesotrófico, pero tuvo un fuerte incremento en la concentración hacia 2008 que determinó niveles de PT del rango de supereutrófico. Algo similar ocurrió en 2011, con concentraciones aún mayores del nutriente (0,827 mg/l). En coincidencia con los resultados observados en la figura 8, en la estación situada en la cola del (o en la entrada al) embalse, son mayores los valores de PT en el agua.

Nitrógeno total

El nitrógeno total inorgánico (NT) en el río Santa Lucía Chico registra concentraciones entre 0,55 y 2,30 mg NT/l, en un total de 20 datos analizados. La concentración promedio (MG) es de 1,25 mgNT/l. La estación SLC03 registra la mayor concentración de NT a lo largo del río Santa Lucía Chico (figura 10), igual que ocurre con el PT. La ubicación de esta estación en una zona altamente productiva (lechería) podría ser un factor determinante en la alta concentración de nutrientes en el agua.

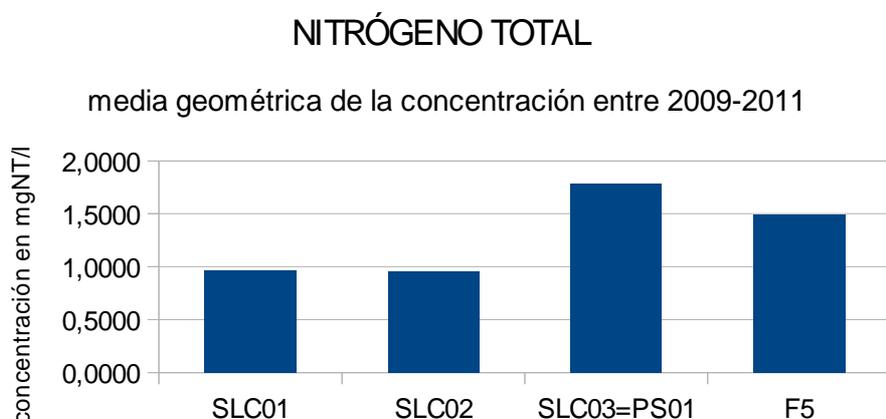


Figura 10. Variación de la concentración del nitrógeno total (mg NT/l, media geométrica) en el Río Santa Lucía Chico.

La estación F5 aguas abajo del embalse también registra concentraciones más altas del nutriente, aunque menores que SLC03. Las estaciones aguas arriba, por el contrario, muestran concentraciones constantes y bajas de nitrógeno total durante el período de estudio.

La evolución de la concentración de NT en el río SLC ha determinado un constante nivel mesotrófico al sistema (tabla 7). Aún en las estaciones SLC03 y F5 de mayor concentración. Por lo cual, a pesar que dichos sitios mostraron concentraciones relativamente altas del NT respecto a las otras estaciones, no lo son en relación a los valores encontrados para ríos de llanura en zonas subtropicales.

Tabla 7. Concentración promedio anual (media geométrica) de Nitrógeno total (mg NT/l) en las estaciones del Río Santa Lucía Chico monitoreadas entre 2009 y 2011

EVOLUCIÓN DEL NITRÓGENO TOTAL (NT)							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
SLC01					0,8660	1,0420	
SLC02					0,8325	1,0415	
SLC03=PS01					1,7479	1,8027	
F5					1,5013	1,4816	

La alta concentración de nutrientes determina que los niveles tróficos se incrementen, favoreciendo el proceso de eutrofización con alto riesgo de aparición de floraciones algales nocivas y la pérdida de la calidad del agua. La forma de enlentecer este proceso es realizando una adecuada gestión del uso del suelo y actividades en la cuenca a fin de minimizar los aportes de nutrientes al agua y propiciar la recuperación del sistema.

Clorofila *a*

La concentración de clorofila *a*, corregida por la concentración de feofitina, comenzó a medirse en 2009 por lo cual se cuenta con una serie relativamente pequeña de datos. El rango de concentración de clorofila para el sistema está entre 0,1 y 27,4 $\mu\text{g/l}$. El valor promedio (MG) para 26 datos disponibles es de 1,145 $\mu\text{g/l}$.

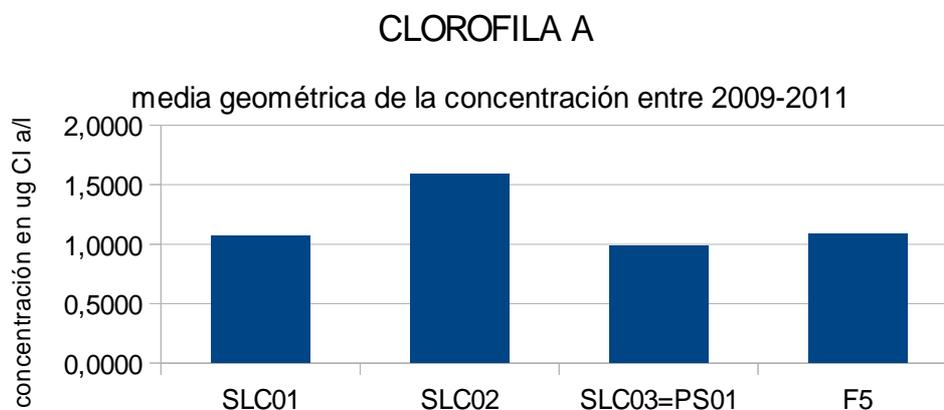


Figura 11. Variación de la concentración de Clorofila *a* ($\mu\text{g Cl a/l}$, media geométrica) en el Río Santa Lucía Chico.

A diferencia de lo observado para los demás parámetros determinantes del estado trófico, la estación que muestra la mayor concentración de clorofila a (o sea, de biomasa algal), es SLC02; mientras que SLC03 registra los niveles más bajos de concentración (figura 11).

Si se establece el nivel trófico del río Santa Lucía Chico en función de la concentración de clorofila a, el mismo es mayoritariamente oligotrófico, debido a los bajos niveles de biomasa algal registrados hasta la fecha. Sin embargo, como muestra la tabla 8, pueden registrarse incrementos importantes determinando sitios y años con altas concentraciones y nivel de estado eutrófico.

En el período de tiempo analizado se observa una tendencia hacia el incremento de los niveles de clorofila en el agua del río, acompañando la tendencia que mostró el PT de aumento gradual del nivel trófico. Sin embargo la cantidad de datos aún es muy bajo para confirmar tendencias. Pero es suficiente para considerar los factores de riesgo y realizar una gestión de preservación de la calidad del sistema, que es buena en la mayor parte de los tramos analizados.

Tabla 8. Concentración promedio anual (media geométrica) de Clorofila a ($\mu\text{g Clo a/l}$) en las estaciones del Río Santa Lucía monitoreadas entre 2009 y 2011

EVOLUCIÓN DE LA CLOROFILA A (Cl a)							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
SLC01					0,1732	2,6507	
SLC02					0,3435	3,4247	
SLC03=PS01					0,7887	0,8463	1,6553
F5					0,3847	1,8198	

Síntesis del Río Santa Lucía Chico

El sistema muestra niveles de estado oligotrófico y mesotrófico, principalmente, indicando buenas condiciones en el ambiente. No obstante hay indicios de situaciones particulares con pulsos en la concentración de fósforo. La zona más vulnerable, dentro de los sitios analizados, se encuentra en la cola del embalse Paso Severino. A pesar de estos pulsos, los niveles de clorofila a permanecen bajos en ese sitio, indicando que hay otros factores controladores del desarrollo de microalgas, como podrían ser turbidez del agua o productos químicos, entre otros. Estos mismos factores podrían estar evitando el crecimiento de floraciones algales nocivas, muy perjudiciales para la salud de animales y que además encarecen los tratamientos de potabilización del agua. El sistema tiene condiciones para el desarrollo de estas floraciones. Las altas concentraciones de clorofila a registradas en la estación aguas arriba de la ciudad de Florida así lo demuestran. Será importante conocer cuales son esos factores controladores a fin de evitar perjuicios sanitarios o económicos derivados de ellos.

RIO SAN JOSÉ

En el cauce principal del Río San José se han monitoreado en total seis sitios. En la figura 12 se muestra la ubicación de los mismos: SJ01 y SJ02 aguas arriba de la ciudad de San José, S2 en la ciudad, S3 y SJ03 aguas abajo, y SJ04 se ubica próximo a la desembocadura en el Río Santa Lucía. La estación SJ05 se ubica en el A° Cagancha y es una estación destinada a la evaluación de la contaminación industrial en la subcuenca, por lo que no se incluye en este análisis.



Figura 12. Subcuenca del Río San José. Se indica la ubicación de las estaciones del monitoreo de los programas de calidad de agua entre 2005 y 2011.

En el análisis del Río San José se consideran 6 estaciones en total. Cuatro de ellas pertenecen al programa actual (rediseño) y dos fueron discontinuadas (S2 y S3), pero aportan información del período 2005-2010. En el esquema de la figura 13 se ubican a lo largo del río todas las estaciones consideradas.

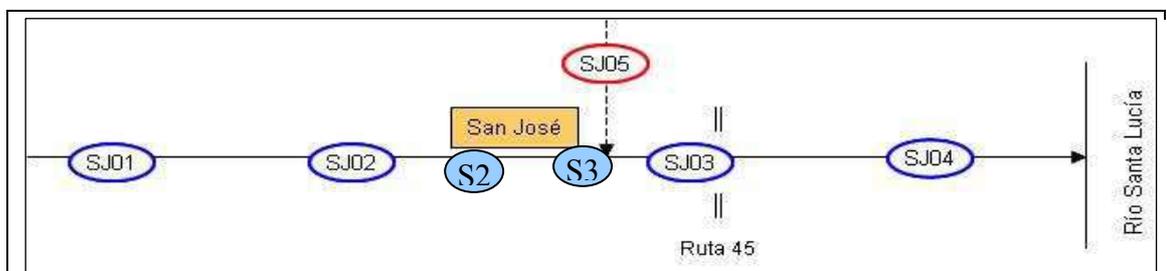


Figura 13. Esquema con la ubicación de las estaciones de monitoreo en la subcuenca del Río San José indicando las correspondientes al actual programa de monitoreo y las estaciones discontinuadas del período 2005-2010 (S2 y S3)

Fósforo total

La concentración de **Fósforo total** en el río San José analizada entre 2005 y 2011 registra valores entre 0,018 y 1,58 mgPT/l, con una media geométrica de 0,180 mg/l, para 94 datos disponibles. Los niveles promedio de PT son relativamente similares en las estaciones aguas arriba de la ciudad de San José durante el período analizado, incrementándose aguas abajo. Particularmente la estación SJ03 muestra los valores más altos de concentración del nutriente (figura 14). No obstante, debe considerarse que solo se tienen 4 datos de esta estación que comenzó a monitorearse en 2011 y además, que está ubicada aguas abajo de la desembocadura del A° Cagancha (figura 13), que transporta una alta carga de nutrientes (DINAMA, 2011). El menor valor en la concentración de PT observado en la estación próxima a la desembocadura del río San José en el Santa Lucía, podría mostrar una recuperación del sistema debido a las condiciones de autodepuración propia de sistemas fluviales.

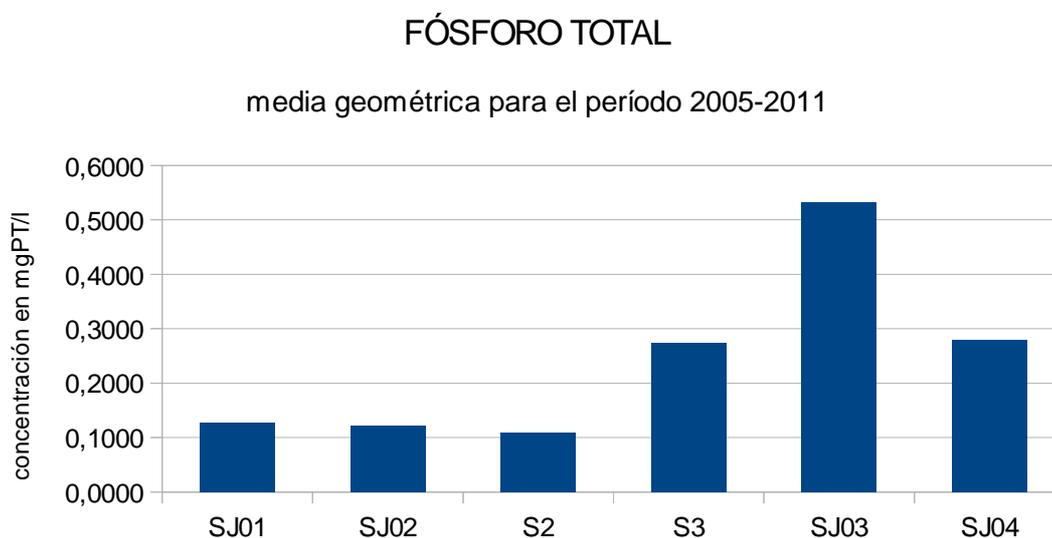


Figura 14. Variación de la concentración del fósforo total (mg PT/l, media geométrica) en el Río San José.

La evolución del estado trófico del Río San José respecto a las concentraciones de fósforo total (tabla 9) muestra que el sistema ha presentado oscilaciones a lo largo del período de estudio. En 2005 y 2006 mostraba un incremento del estado trófico desde condiciones de mesotrófico a supereutrófico (con un "descenso" a eutrófico), entre las estaciones aguas arriba y abajo de la ciudad de San José. Esa situación cambió en 2007, cuando todo el río presentó condiciones de mesotrófico, mostrando una capacidad de recuperación del sistema de un año al siguiente. Sin embargo entre 2008 y 2011 nuevamente el estado trófico se incrementó constantemente y se mostró totalmente eutrófico (en 2009) hasta sitios supereutrófico como las estaciones SJ03 y SJ04.

Tabla 9. Concentración promedio anual (media geométrica) de la concentración de fósforo total (mg PT/l) en las estaciones del Río San José monitoreadas entre 2005 y 2011

EVOLUCIÓN DEL FÓSFORO TOTAL (PT)							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
SJ01							0,1277
SJ02	0,0627	0,0956	0,0811	0,2566	0,2000	0,1642	0,2541
S2	0,0987	0,1040	0,0548	0,1308	0,2006	0,1604	
S3	0,7512	0,5654	0,0594	0,1939	0,2025	0,3553	
SJ03							0,5310
SJ04	0,2604	0,2391	0,1220	0,5197	0,4063	0,3039	0,4250

Nitrógeno total

El nitrógeno inorgánico en el Río San José registra valores entre 0,70 y 3,33 mgNT/l, con una media geométrica de 1,3 mg/l, para 18 datos disponibles para el período 2009 a 2011. De forma similar a lo registrado para el PT, los niveles de NT se mantuvieron relativamente bajos en las estaciones aguas arriba de la ciudad de San José, incrementándose en la estación S3 (aguas abajo de la ciudad) y nuevamente disminuyendo en SJ04, próximo a la desembocadura.

NITRÓGENO TOTAL

media geométrica para el período 2009-2011

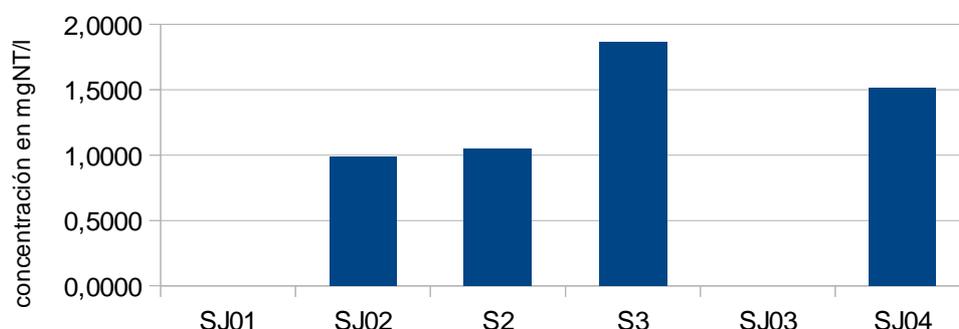


Figura 15. Variación de la concentración de nitrógeno total (mg NT/l) en el Río San José.

La evolución del estado trófico del sistema en función del NT, muestra que el Río San José ha pasado de tener características de sistema oligotrófico a mesotrófico, manteniéndose en este nivel en los dos últimos años y en todas las estaciones. De modo que la concentración de nitrógeno total en el sistema no mostraría condiciones de alarma.

Tabla 10. Concentración promedio anual (media geométrica) de la concentración de nitrógeno total (mg NT/l) en las estaciones del Río San José monitoreadas entre 2005 y 2011

EVOLUCIÓN DEL NITRÓGENO TOTAL (mg NT)							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
SJ01							
SJ02					1,2400	0,9185	
S2					1,2200	0,9947	
S3					1,4000	2,2592	
SJ03							
SJ04					1,5914	1,4677	

Clorofila a

La concentración de clorofila *a* en el río San José comenzó a analizarse a partir de 2009, por lo cual se cuenta con 22 datos en total. El rango de concentración para el período analizado está entre 0,10 y 11, 80 $\mu\text{g Cl a/l}$, con una media geométrica de 1,48 $\mu\text{g/l}$. La clorofila *a* mostró un comportamiento diferente a los nutrientes, evidenciando ser un parámetro regulado por otros factores, además de éstos. La estación que registra la mayor clorofila es SJ02, aguas arriba de la ciudad de San José. En este sitio el río mostró los menores niveles de fósforo y nitrógeno. Por otra parte, las concentraciones menores de clorofila *a* se observaron en las estaciones S2 (en la ciudad de San José) y SJ04 (próximo a la desembocadura).

CLOROFILA A

media geométrica para el período 2008-2011

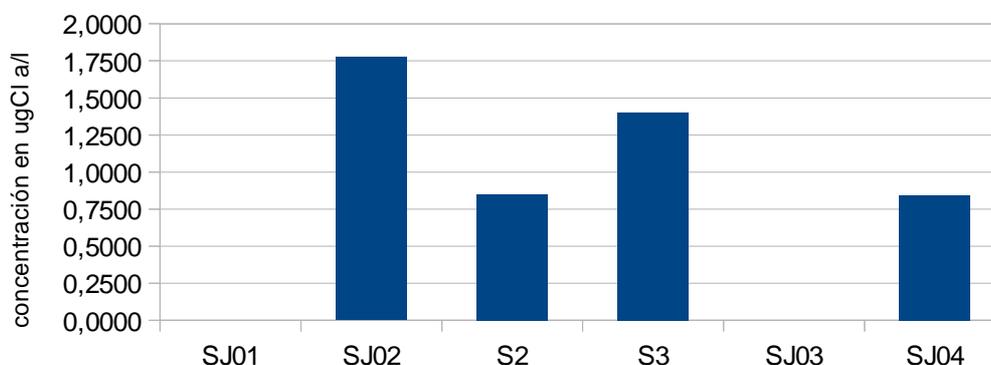


Figura 16. Variación de la concentración de clorofila a ($\mu\text{g Cl a/l}$) en el Río San José.

La evolución del estado trófico del río San José en función de la concentración de clorofila *a*, muestra que el sistema ha permanecido en niveles oligotrófico y mesotrófico durante el período de monitoreo para este parámetro (2009-2011). En tal sentido, la respuesta de la comunidad de productores primarios, principalmente de microalgas (o fitoplancton) en el sistema no se corresponde con lo esperable en función de la concentración de nutrientes disponible. La evolución del estado trófico según los niveles del fósforo total, tendrían como consecuencia un mayor crecimiento de la comunidad de microalgas. Sin embargo los valores de

clorofila muestran que la respuesta no es la esperable y por lo tanto existen otros factores ambientales que controlan el crecimiento de estos organismos evitando el desarrollo de floraciones algales. Esto es muy claro en la estación SJ04, donde los niveles de PT y NT fueron relativamente altos (en comparación con SJ01 y SJ02), sin embargo los niveles de clorofila son los más bajos. Para determinar cuales son esos factores es necesario establecer objetivos de trabajo específico y un diseño de muestreo acorde.

Tabla 11. Concentración promedio anual (media geométrica) de la concentración de clorofila *a* ($\mu\text{g PT/l}$) en las estaciones del Río San José monitoreadas entre 2009 y 2010.

EVOLUCIÓN DE LA CLOROFILA A ($\mu\text{g/l CI a}$)							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
SJ01							
SJ02					0,8900	2,1069	
S2					2,3700	0,6578	
S3					1,2377	1,4903	
SJ03							
SJ04					0,8070	0,8594	

Síntesis del Río San José

El Río San José presenta diferentes niveles de estado trófico para los tres parámetros considerados. Desde la concentración de PT se muestra como un sistema en riesgo de eutrofización a partir de la ciudad de San José, debido a los altos niveles del nutriente. Mientras que teniendo en cuenta la concentración de NT su condición es de mesotrófico, porque los niveles detectados han sido mayoritariamente moderados a bajos. Si se considera la respuesta de la comunidad de microalgas, el sistema se muestra entre oligotrófico y mesotrófico, con bajas concentraciones de clorofila *a*, a pesar de la disponibilidad de nutrientes en el agua. Por lo tanto, se estima que existen otros factores que controlan el crecimiento de las algas y habría que estudiarlos especialmente. Entre los posibles factores pueden encontrarse las propias condiciones físicas como disponibilidad de luz, turbulencia o bajo tiempo de residencia en el agua; pero también pueden haber otros factores químicos, como la presencia de herbicidas o agroquímicos que limitan este crecimiento.

SÍNTESIS

Los resultados más relevantes de la evolución del estado trófico del sistema del Río Santa Lucía a partir de la información relevada por DINAMA en sus diferentes programas de monitoreo de calidad de agua, muestran que en un período de casi 6 años de estudios, se registra un proceso de eutrofización en diferentes grados de avance. Es más leve o lenta en las regiones aguas arriba de los principales ríos y en el Río Santa Lucía respecto a los demás.

En la tabla 12 se presenta la síntesis de la información para los diferentes períodos de datos disponibles según la variable analizada. De acuerdo con este valor de la media geométrica, todo el sistema se encuentra en estado MESOTRÓFICO, según los niveles de concentración de los tres parámetros utilizados. No obstante, hay variaciones dentro de cada nivel trófico y en tal sentido, el Río San José registra los valores más altos y por lo tanto de mayor nivel trófico, dentro del estado mesotrófico. Especialmente la concentración de PT está en el límite superior, próximo al nivel eutrófico. Por otra parte, si se consideran los niveles de clorofila a, están más próximos al límite inferior o sea, apenas mesotrófico (tabla 1). Sin embargo, este parámetro es sensible a factores no considerados en este estudio como productos químicos (herbicidas, agroquímicos) o efectos físicos (régimen hídrico, transparencia). La información que brinda podría estar indicando alguna limitación que debería considerarse en los siguientes estudios de la cuenca.

Tabla 12. Estado trófico de los ríos Santa Lucía, Santa Lucía Chico y San José de acuerdo con los niveles de concentración utilizados para sistemas lóticos del Estado de Sao Paulo para los parámetros indicadores (ANA, 2009, 2011; Lamparelli, 2004). Se indican la cantidad de datos disponibles para cada parámetro. Ver rangos de concentración en tabla 1.

		PT (mg/l)	NT (mg/l)	Clo.a (ug/l)
Santa Lucía	MG	0,132	0,885	1,146
	cantidad datos	167	37	44
S.Lucía Chico	MG	0,164	1,250	1,145
	cantidad datos	98	20	26
San José	MG	0,180*	1,345	1,148
	cantidad datos	94	18	22

* límite entre el estado Mesotrófico y Eutrófico

Relación entre los colores y el estado trófico utilizados en este informe.

Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Supereutrófico	Hipertrófico
---------------------	--------------------	------------------	-----------------------	---------------------

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA (Agência Nacional de Águas). 2011. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2011. Brasília, Brasil. Versión en CD.
- ANA. 2009. Agencia Nacional de Agua. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2009 / Agência Nacional de Águas. -- Brasília, Brasil. Versión en CD.
- 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.
- Carlson, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22(2): 361-369.
- 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. 2010b. 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.
- Lamparelli, MC. 2004. Graus de trofia em corpos d'agua do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento. Tese Doutorado- USP, Brasil. 235 pg.
- Toledo, AP., Talarico, M., Chinez, SJ., Agudo, EG. 1983. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: Anais do 12 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitaria. Camboriu Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. Camboriú (SC) 34 p.
- Vollenweider R A. 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development. 1968. Technical Report DAS/CS 1/68.27. 250 p. [Organisation for Economic Co-operation and Development. Paris, France].