

LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO LUJÁN (BUENOS AIRES) Y EL POTENCIAL APOORTE DEL BIOFILM PARA SU EVALUACIÓN

A. Sánchez Caro¹, A. Giorgi^{1; 2}, S. Doyle¹ y M. Piccinini¹

1. Departamento de Ciencias Básicas-INEDES, UNLu. CC 221 – 6700 Luján (B).

2. CONICET.

asnchezcaro@yahoo.com.ar

ABSTRACT. Luján River rises in the north-eastern part of Buenos Aires Province and flows through a lowland region where it joins the River Plate Estuary. The river's upper basin comprises a rural area which is mainly used for extensive agriculture and livestock with industrial areas of minor influence. As moving downstream, densely populated urban regions develop and industrial activity increases. Samples were collected seasonally from August 2004 to August 2005 in 12 sampling sites located along the river basin, from its headwater tributaries (Los Leones y El Durazno streams) to the crossing of the national route 9, located in the river's lower basin. In two out of the four sampling occasions, biofilm samples were taken with the aim of assessing to what extent the biofilm community fitted the degradation level indicated by the measured physical-chemical variables of the river water (particularly BOD; N; P and DO concentrations). The samples were taken with a 3 cm² brush and piston from submerged surfaces of natural ("tosca") or artificial substrates (piers; walls). Bacillariophyta generally dominates the biofilm, but there seems to be a relationship between the industrial and urban sewage discharges, the water quality and the relative abundance of the different biofilm groups. In the river reaches where a heavy load of effluents is discharged, an increment of Cyanophyceae is observed. In the reaches of intermediate degradation, associations of cyanophytes and euglenoids appear. Over the course of the river, the algae abundance diminishes along with the water quality degradation, but there are also reaches of recovery due to the river's own processing capacity where no urban nor industrial wastewaters are discharged.

KEY WORDS: Luján River- Biofilm- Water Quality

PALABRAS CLAVE: Río Luján- Biofilm- Calidad del agua

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua en un río puede ser evaluada por métodos fisicoquímicos, biológicos, microbiológicos. Los primeros tienen como ventaja que pueden obtenerse resultados rápidamente y como desventaja que pocas veces reflejan la historia de lo acontecido en ese cuerpo de agua, sino sólo de su condición momentánea. Tener referencias de calidad del agua y de sus comunidades biológicas permite

informarnos acerca del estado del ecosistema, y este conocimiento es esencial para poder gestionar su conservación o recuperación (Mc Cormick *et al.*, 1996). Si bien existen estudios previos acerca de la contaminación del río Luján (Club de Ciencias, 1974; del Giorgio *et al.*, 1991; Alberdi *et al.*, 1992; Ventura *et al.*, 1997; Giorgi *et al.*, 1999; O' Farrell, 2003; Di Marzio *et al.*, 2005; Sánchez Caro y Momo, 2009), la mayoría son de diez o veinte años atrás. La mayoría de ellos se

refiere únicamente a características físico-químicas; los organismos del biofilm o bien no han sido descriptos –por ejemplo el estudio de del Giorgio *et al.* (1991) releva la comunidad fitoplanctónica-, o bien están incluidos –como en el caso de Pizarro y Alemanni (2005)-, pero se trata de la subcuenca inferior del río.

Durante la primera década del presente siglo se instalaron en la cuenca nuevas industrias cuyos efluentes descargan en el curso principal, a la vez que se pusieron en funcionamiento –con diverso grado de eficacia y continuidad- tanto las plantas depuradoras de líquidos cloacales de las principales ciudades ribereñas como las plantas depuradoras de varias industrias preexistentes.

En numerosos estudios efectuados en otros países y a nivel nacional se asocian los cambios en la comunidad perifítica con los de calidad del cuerpo de agua. Como ejemplos podemos citar: Aizaki (1980); Economou-Amili (1980); Lindstrom (1991); Stewart (1995); Giorgi y Malacalza (2002); Pizarro y Alemanni (2005). Teniendo en cuenta estos antecedentes y su alcance, en este estudio interesaba en particular registrar: **a.** si en el río Luján existen cambios de calidad del agua o el grado de deterioro es semejante en la mayor parte de su recorrido; **b.** si los cambios se mantienen pese a la variación climática estacional; y, **c.** si el biofilm puede utilizarse para evaluar la variación de calidad del agua a nivel espacial.

La hipótesis de trabajo es que la calidad de agua del río no es la misma en el tramo superior y medio de su recorrido, y que esa calidad definida a través de

análisis físico-químicos de muestras de la columna de agua puede reflejarse en el análisis de muestras del biofilm.

ÁREA DE ESTUDIO

El río Luján se ubica en el NE de la provincia de Buenos Aires, drena una cuenca de aproximadamente 2600 km², fluye en dirección SO-NE por unos 135 km hasta confluir con cursos de la cuenca del Paraná, y posteriormente desaguar en el río de La Plata.

Según Andrade (1986) en el río Luján pueden distinguirse un curso superior, uno medio y uno inferior. El superior tiene 40 km de longitud y va desde las nacientes hasta la localidad de Jáuregui, recibiendo los afluentes más importantes en caudal (arroyos Moyano, Grande, Balta y Ranchos). Presenta un drenaje escaso y una pendiente media de 0,40 m/km. Según Sala (1972), esta parte de la cuenca correspondería a una llanura alta formada básicamente por sedimentos pampeanos. El curso medio mide 30 km y llega hasta la localidad de Pilar. Esta sección tiene una pendiente media de 0,83 m/km, y presenta un mayor drenaje y un desarrollo más notorio en la margen norte. Es la parte de la cuenca que tiene un relieve más acentuado, constituyendo lo que Sala (1972) denomina llanura intermedia. El curso inferior es el que muestra menor pendiente tanto en el cauce principal como en sus afluentes (0,05-0,16 m/km), atraviesa la zona del Delta en Tigre y desemboca en el Río de la Plata. Paisajísticamente constituye una llanura baja, formada principalmente por sedimentos postpampeanos. Es el que recibe mayor cantidad de conta-

minantes industriales y domiciliarios. Los arroyos de esta zona drenan grandes áreas aunque de manera incompleta, dando lugar a bañados y zonas frecuentemente inundables.

El régimen de alimentación del río es pluvial -vía capa freática- y su caudal medio es de $5,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Tradicionalmente la mayor parte de la superficie de la cuenca ha sido utilizada para explotación agrícola-ganadera extensiva; sin embargo, con el crecimiento de las ciudades se ha incrementado también la actividad industrial, especialmente en la subcuenca inferior que está constituida por los arroyos y tierras que drenan en el tramo del río más cercano a la desembocadura.

Actualmente en la cuenca habita más de un millón de personas. Cerca del río se han establecido ciudades como Suipacha, Mercedes, Luján (en donde el curso ha sido endicado) y Pilar, áreas que lo utilizan para descargar efluentes líquidos urbanos e industriales, con disímil grado de tratamiento previo y potencial efecto sobre el ecosistema.

METODOLOGÍA

Se realizaron 4 muestreos estacionales para análisis de calidad de agua entre agosto de 2004 y agosto de 2005, que comprendieron doce sitios, desde la cuenca alta del río Luján (arroyos Los Leones y El Durazno) hasta el cruce de la ruta nacional N° 9, tramo anterior a la vinculación con la cuenca del Paraná (Tabla 1 y Fig. 1). Los parámetros físicos, químicos, y biológicos considerados, metodologías empleadas, y modalidad de muestreo se resumen en la Tabla 2.

En lo que concierne al biofilm, se realizaron en los mismos sitios dos campañas de muestreo durante el otoño de 2005, con el propósito de evaluar la potencialidad de esa comunidad como indicadora de la degradación evidenciada por el conjunto de variables fisicoquímicas analizadas – en particular la DBO, la concentración de fósforo reactivo soluble (PRS), la concentración de nitrógeno en distintas formas químicas y el oxígeno disuelto-. Las muestras se tomaron sobre sustratos sumergidos tanto naturales (tosca) como artificiales (pilares, paredones), con un conjunto de cepillo y émbolo de 3 cm^2 de superficie, con el que se raspaba la superficie y luego se aspiraba el material desprendido. El sitio 6 no pudo ser muestreado debido a la ausencia de sustrato para permitir el desarrollo de la comunidad. Una vez extraídas y fijadas, las muestras se observaron mediante un microscopio Nikon Optiphot con objetivos de inmersión y contraste de fase para realizar las identificaciones. Para realizar los conteos se utilizó el método de la micropipeta (Sournia, 1978) mediante el cual se extrajeron alícuotas de 50 microlitros de la muestra homogeneizada. Una vez montadas estas alícuotas, se contaron todos los campos del microscopio. Se continuó contando alícuotas hasta que dejaron de aparecer individuos pertenecientes a especies nuevas, lo que ocurrió tomando un total de entre 6 y 10 alícuotas. Los taxa algales identificados se utilizaron para estimar la riqueza, la diversidad y la abundancia de organismos del biofilm. (Round, 1993).

Los resultados obtenidos se presentan mediante tablas y gráficos, incluyendo los

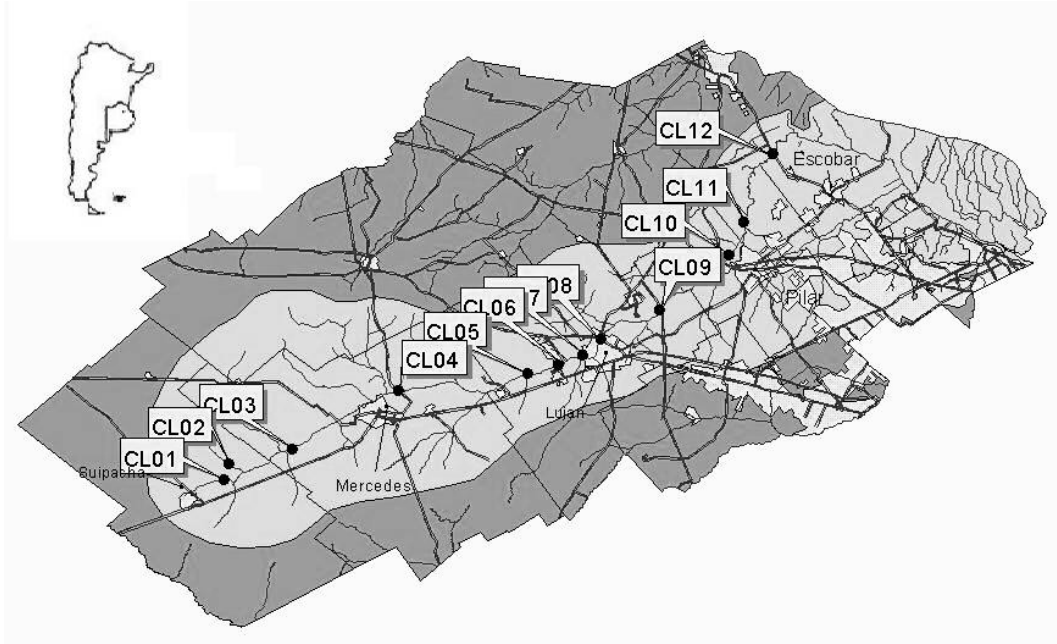


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca, y estaciones de muestreo sobre el curso del río Luján.

Tabla 1. Sitios de muestreo donde se indica la denominación de los mismos y las características principales de cada uno de ellos.

| Estación | Ubicación | Características de la zona cercana |
|----------|--------------------------------|--|
| CL01 | <i>A° El Durazno</i> | Bajo caudal. Aguas abajo del vertido de empresa láctea. |
| CL02 | <i>A° Los Leones</i> | Caudal intermedio. Área rural. Sin industrias ni vertidos domiciliarios próximos. |
| CL03 | <i>M.J. García</i> | Ídem anterior. (8 km aguas abajo de la confluencia de los arroyos anteriores; río Luján propiamente dicho) |
| CL04 | <i>Ruta 41</i> | Próximo a zona urbana con descargas cloacales. (17 km aguas abajo del anterior) |
| CL05 | <i>Puente Goldney</i> | Área rural. Proximidades del efluente cloacal de Mercedes. (8 km aguas abajo del anterior) |
| CL06 | <i>Puente Olivera</i> | Ídem anterior. (8 km aguas abajo) |
| CL07 | <i>Pasarela Linera</i> | Próximo a embalse de Jáuregui, recibe efluente de curtiembre. (8 km aguas abajo del anterior) |
| CL08 | <i>Puente Las Tropas</i> | Aguas abajo del arroyo Gutiérrez, -que recibe efluentes textiles-. (6 km aguas abajo del anterior) |
| CL09 | <i>Ruta Prov. N° 6</i> | Aguas abajo del efluente cloacal de Luján. (12 km aguas abajo del anterior) |
| CL10 | <i>Puente Petrel</i> | Aguas abajo primer salida parque industrial Pilar. |
| CL11 | <i>Reserva Ecológica Pilar</i> | Aguas abajo de Pilar, descargas parque industrial y estación depuradora cloacal. |
| CL12 | <i>Ruta Nac. N° 9</i> | Comienza influencia del Paraná. |

resultados de un análisis de componentes principales realizado entre las variables fisicoquímicas, y análisis de correlación múltiple efectuados entre las variables fisicoquímicas y las del biofilm, y entre las variables consideradas para el biofilm. Los análisis de correlación entre variables fisicoquímicas y del biofilm se realizaron utilizando los promedios de ambos. Todos estos análisis se llevaron adelante luego de verificar la normalidad de los datos mediante el test de Kolmogorov-Smirnov.

RESULTADOS

En la Tabla 3 se presentan los valores medios y desvíos estándar de las distintas variables consideradas en cada una de las estaciones del río. Algunas de ellas se representan gráficamente para mostrar la evolución espacio-temporal de ciertos parámetros de las aguas. Allí puede observarse el alto grado de impacto presente en las nacientes -A° El Durazno, CL01- y la recuperación en el sitio

*Tabla 2. Variables consideradas en los sitios de muestreo. a) Variables medidas in situ
b) Variables medidas en laboratorio*

| <i>a) Determinaciones in situ.</i> | |
|---|--|
| Variab les | Metodología |
| T ° del curso (° C) | Termómetro de mercurio |
| pH (Unidades de pH) | Peachímetro Hanna HI 9023 |
| Conductividad (µS/cm) | Conductímetro Hanna HI 9033 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | Oxímetro Hanna HI 9142 |
| Turbidez (cm) | Disco Secchi y cinta métrica |
| <i>b) Determinaciones en laboratorio:</i> | |
| Variab les | Metodología |
| Nutrientes: Fosfatos, Amonio, Nitrito, Nitratos y Nitrógeno total Kjeldahl (mg ión/l) | Según APHA (1992), utilizando espectrofotómetro Shimadzu UV-visible |
| DBO ₅ (mg/l) | Método micromanométrico con equipo WTW con agitación y regulación de temperatura |
| DQO (mg/l) | Agregado de dicromato a 250 °C y lectura en espectrofotómetro |
| Cloruro (mg/l) | Método del nitrato de plata – titulación -, según APHA (1992) |
| Clorofila <i>a</i> (µg/l) planctónica | Según APHA (1992) |
| Material Particulado en Suspensión (fracción orgánica e inorgánica) (mg /l) | Según Wetzel y Likens (1991) |
| Biofilm (individuos /cm ²) | Microscopio óptico NIKON LABOPHOT con objetivo de inmersión y contraste de fase. |

posterior -estación CL03 M. J. García; (notar que el sitio CL02 está sobre otro tributario)-. Este patrón de degradación y recuperación se repite a lo largo del curso (Figs. 2 - 5), manifestándose picos de alteración del río en otras dos estaciones: Puente Goldney (CL05) y Reserva Ecológica (CL11). No obstante ello, son notables las tendencias al incremento en la concentración de amonio a partir de la estación Ruta 41 (CL04), y, a partir de la estación Puente Goldney (CL05), también al incremento de fósforo (como PRS) y del déficit de oxígeno disuelto. Es interesante destacar que la relación DQO/DBO es habitualmente mayor a 5 lo que según Branco, 1980 estaría indicando una alta proporción de sustancias no biodegradables. La DQO alcanza un valor 11 veces mayor a la DBO a la altura del Puente Las Tropas y Ruta 6. (CL08 y CL09). Sin embargo, el sitio de la Reserva ecológica (CL11) es el que más se acerca a dicha proporción teórica.

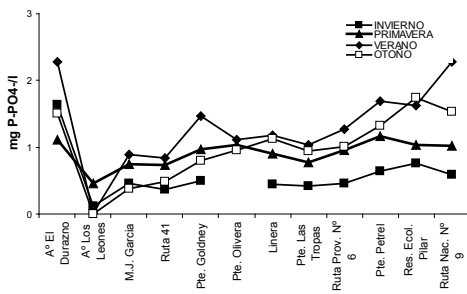


Figura 2. Variación temporal de la concentración de fosfatos (como fósforo reactivo soluble) en los sitios muestreados en el río Luján.

Al realizar un Análisis de Componentes Principales se encuentra que los dos primeros componentes explican el 47 % de la varianza. Ambos ejes se relacionan con la eutrofización. El primero -que ex-

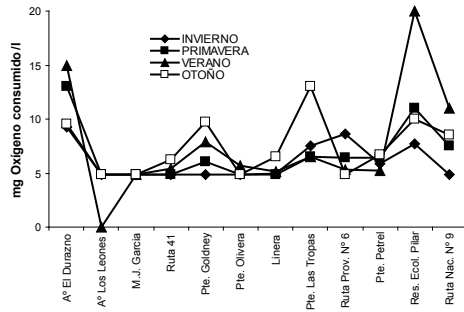


Figura 3. Variación temporal de la demanda biológica de oxígeno (DBO) en los sitios muestreados en el río Luján.

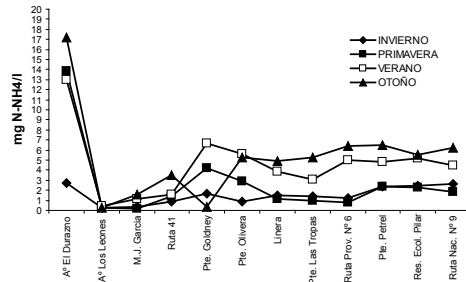


Figura 4. Variación temporal de la concentración de amonio en los sitios muestreados del río Luján.

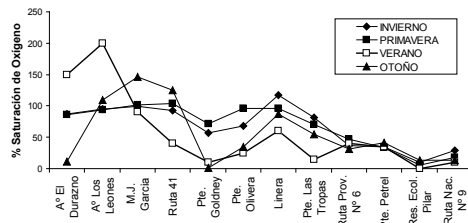


Figura 5. Variación temporal de la saturación de oxígeno disuelto en el agua en los sitios muestreados del río Luján.

plica el 25 % de la varianza- ordenaría hacia el lado positivo los sitios con aguas más oxigenadas y menores concentraciones de fosfatos y amonio y hacia el lado negativo sitios con menor concentración de oxígeno y mayores concentraciones de esos iones. En tanto que el segundo

agrupa sitios con mayor concentración de nitratos del lado positivo y sitios con mayor concentración de seston y clorofila del lado negativo (Fig. 6).

bajas. Los sitios Linera, Puente Las Trovas y Reserva Ecológica presentaron menor riqueza de organismos y los valores más bajos de diversidad en el biofilm.

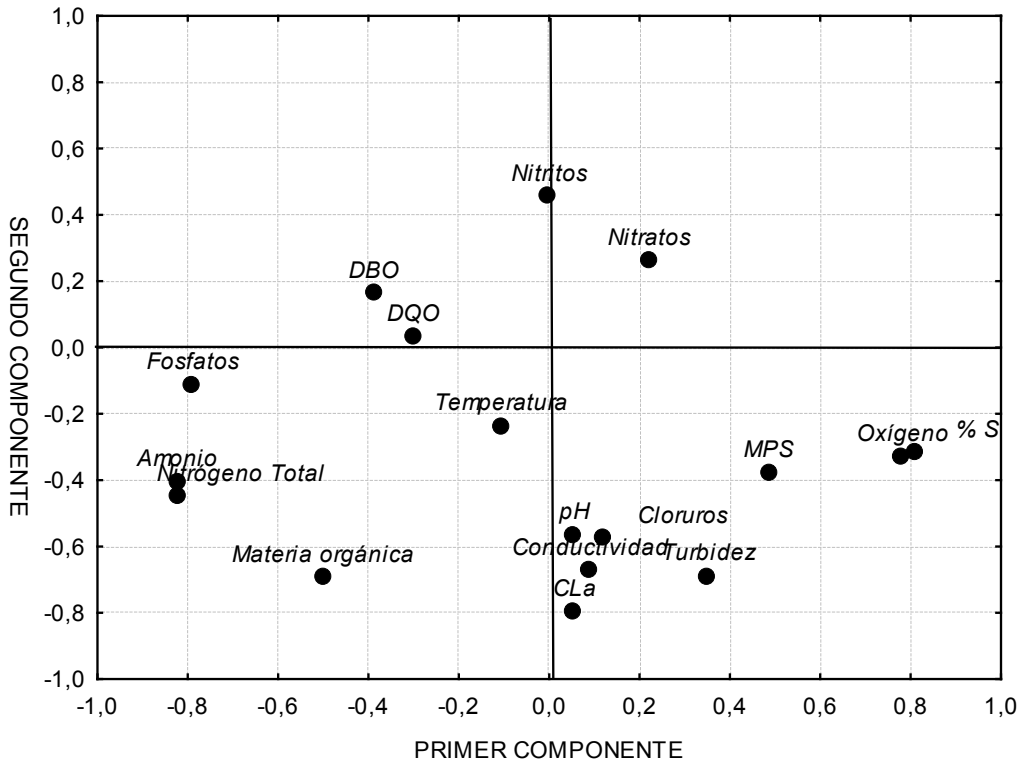


Figura 6. Análisis de componentes principales de las variables físico-químicas registradas en el río. (% S: Porcentaje de saturación de oxígeno).

En la Tabla 4 se presenta el listado de especies del biofilm halladas en el río. En la Tabla 5 se presenta la variación de riqueza específica, diversidad y abundancia de las algas presentes. En ella se indican también el número de géneros y especies considerados como tolerantes por Palmer (1969). Según puede verse las estaciones A° El Durazno y Ruta 41 fueron las que presentaron mayor abundancia de organismos. Los sitios A° Los Leones y M.J. García presentaron las abundancias más

El grupo más abundante en todos los sitios, excepto en la Reserva Ecológica donde hubo dominio de Cyanophyta, fue Bacillariophyta. Chlorophyta, Euglenophyta fueron grupos de escasa representación que se encontraron en algunas de las estaciones de muestreo (Fig. 7).

En la Tabla 6 se muestran los resultados de las correlaciones entre las características de la comunidad que integra el biofilm y las variables físico-químicas y en la Tabla 7 los resultados de las co-

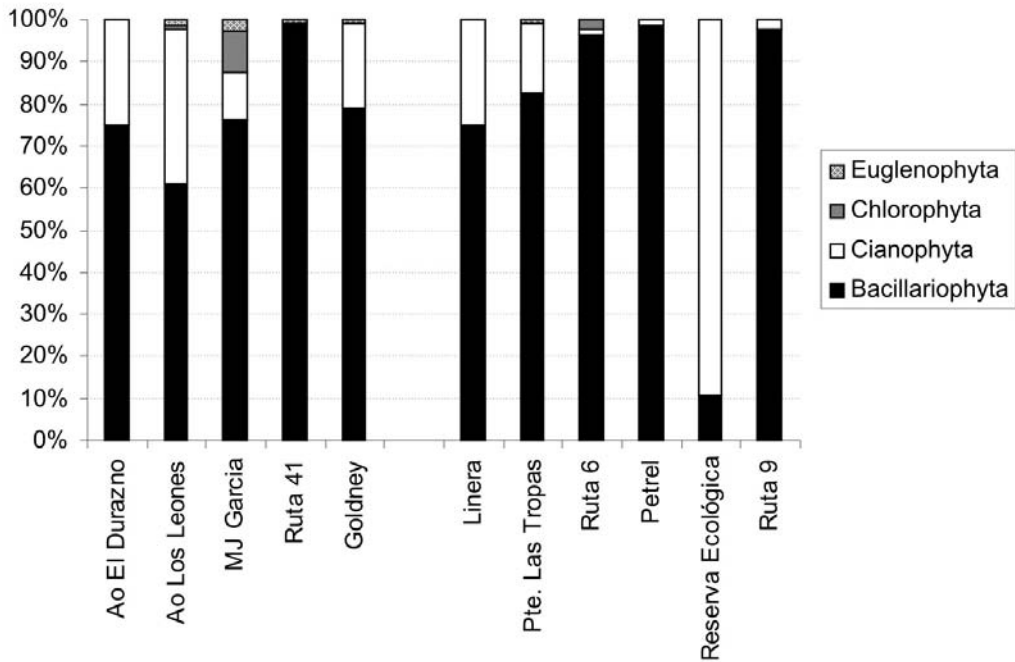


Figura 7. Abundancia relativa de distintos grupos de organismos del biofilm en cada sitio estudiado.

relaciones entre las variables de biofilm consideradas.

DISCUSIÓN

Resulta relevante mencionar que el agua del río Luján en el extenso tramo estudiado tiene características de eutrofia y salinidad mayor que en su cuenca baja: a partir de la zona de la ruta 9 (CL12 en nuestro estudio), existe influencia cada vez mayor de las mareas y niveles de agua de la cuenca del Paraná-Plata, la que se hace muy determinante a partir de la desembocadura en el Luján de los canales Las Rosas y Gobernador Arias. Por ejemplo, Pizarro y Alemanni, 2005 reportan para el tramo inferior del río conductividades máximas que son alrededor de un tercio de las mínimas de la cuenca alta; niveles de amonio entre uno y 3 órdenes de

magnitud menores; máximas concentraciones de nitratos y fosfatos similares a las mínimas encontradas en la cuenca alta y media, en donde a su vez las máximas de fosfatos que encontramos son un orden de magnitud mayores. Estas condiciones de alta eutrofia y contenidos disueltos y en suspensión se reflejan también en los niveles de clorofila *a* planctónica -que son hasta 3,5 veces más altos que los registrados en el mencionado estudio en el tramo inferior del río-, y permiten considerar que el desarrollo del biofilm en estas secciones no estaría fuertemente condicionado por el tipo de sustrato debido al nivel de eutrofia (Cattaneo y Kalff, 1979). Consistentemente, los valores aquí registrados de cloruros, PRS, OD y otras variables son del mismo orden que los hallados por O'Farrell (2003) para su estación S1, coincidente con nuestra CL12.

Tabla 3. Valores medios y desvíos estándar (entre paréntesis; salvo para pH) de las variables físicas, químicas y biológicas consideradas en el río Luján por sitio muestreado. (Período 2004-2005). ¹Material particulado en suspensión. ²Material particulado orgánico.

| | Temperatura (°C) | Oxígeno disuelto (mg/l) | Porcentaje Saturación Oxígeno (%) | pH Máx (Mín) | Conductividad (µS/cm) | Turbidez (cm) | N-NH ₄ ⁺ (mg/l) | N-NO ₃ ⁻ (mg/l) | N-NO ₂ ⁻ (mg/l) | N Total Kjeldahl (mg/l) |
|-------------------|------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------|-----------------------|---------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| A° El Durazno | 20,84 (6,55) | 5,76 (3,84) | 61,17 (43,45) | 8,35 (6,45) | 2572,80 (522,53) | 74,57 (64,52) | 11,70 (6,27) | 0,32 (0,18) | 0,23 (0,23) | 14,98 (6,10) |
| A° Los Leones | 20,66 (7,43) | 9,58 (1,19) | 99,40 (8,97) | 9,10 (6,54) | 2029,40 (896,91) | 43,67 (10,53) | 0,29 (0,09) | 0,35 (0,26) | 0,02 (0,01) | 2,34 (0,98) |
| M. J. García | 20,35 (7,13) | 11,10 (2,42) | 115,50 (26,96) | 8,56 (6,51) | 2748,20 (727,52) | 34,38 (20,04) | 0,79 (0,65) | 1,14 (0,52) | 0,26 (0,19) | 2,73 (0,99) |
| Ruta 41 | 19,81 (4,68) | 10,03 (2,33) | 107,10 (16,76) | 8,57 (7,15) | 2642,60 (863,54) | 21,50 (11,54) | 1,85 (1,14) | 1,63 (0,31) | 0,45 (0,45) | 4,53 (1,55) |
| Puente Goldney | 20,44 (6,72) | 4,32 (2,20) | 43,21 (37,94) | 12,10 (6,52) | 2479,80 (657,17) | 28,35 (5,00) | 3,25 (2,79) | 0,63 (0,65) | 0,95 (1,05) | 9,43 (8,01) |
| Puente Olivera | 20,26 (5,83) | 6,24 (2,10) | 66,33 (30,48) | 8,37 (7,20) | 2306,80 (724,71) | 18,88 (14,01) | 3,68 (2,21) | 1,28 (1,42) | 0,25 (0,29) | 5,31 (2,37) |
| Linera | 19,98 (6,26) | 9,41 (3,51) | 100,33 (15,42) | 8,34 (6,80) | 1739,40 (975,44) | 26,70 (13,70) | 2,85 (1,84) | 1,71 (1,55) | 0,17 (0,20) | 4,73 (2,38) |
| Puente Las Tropas | 20,03 (6,55) | 6,40 (2,31) | 68,53 (13,56) | 8,90 (7,30) | 1685,60 (932,33) | 31,01 (13,61) | 2,68 (1,98) | 1,88 (1,26) | 0,23 (0,06) | 4,80 (2,35) |
| Ruta Prov. N° 6 | 20,39 (5,29) | 3,54 (0,40) | 38,47 (7,909) | 9,64 (6,90) | 1578,40 (657,73) | 17,55 (16,52) | 3,35 (2,78) | 1,51 (1,35) | 0,46 (0,36) | 4,60 (2,34) |
| Puente Petrel | 20,70 (5,65) | 3,41 (0,97) | 36,47 (4,52) | 8,20 (6,90) | 1409,80 (531,23) | 14,88 (2,29) | 4,03 (2,00) | 1,70 (0,65) | 0,55 (0,189) | 5,90 (1,71) |
| Reserva Ecológica | 20,70 (5,32) | 0,92 (0,45) | 9,63 (3,98) | 9,14 (7,20) | 1446,00 (456,36) | 20,10 (4,11) | 3,88 (1,71) | 1,23 (1,20) | 0,31 (0,41) | 7,08 (2,28) |
| Ruta Nac. N° 9 | 20,59 (5,94) | 1,86 (0,75) | 20,0 (7,89) | 8,11 (6,90) | 1528,80 (549,34) | 15,78 (2,21) | 3,78 (1,979) | 0,66 (0,39) | 0,39 (0,55) | 6,19 (2,50) |

Tabla 3. Valores medios y desvíos estándar (entre paréntesis; salvo para pH) de las variables físicas, químicas y biológicas consideradas en el río Luján por sitio muestreado. (Periodo 2004-2005). ¹Material particulado en suspensión. ²Material particulado orgánico. (Cont.)

| | Cloruros (mg/l) | Clorofila <i>a</i> (µg/l) | DBO ₅ (mg Oxígeno/l) | DQO (mg Oxígeno/l) | M.P.S. ¹ (mg/l) | M.O. ² (mg/l) | Fosfatos (PRs) (mg P-PO ₄ /l) |
|-------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------|--|
| A° El Durazno | 295,0 (28,79) | 71,80 (39,91) | 11,70 (2,78) | 82,55 (42,26) | 32,87 (21,85) | 23,90 (14,34) | 1,63 (0,48) |
| A° Los Leones | 172,83 (112,36) | 71,29 (41,55) | 4,90 (0,00) | 47,97 (31,16) | 51,12 (6,29) | 10,66 (4,62) | 0,20 (0,23) |
| M. J. García | 285,67 (62,58) | 37,44 (22,23) | 4,90 (0,00) | 51,63 (29,65) | 25,17 (16,79) | 6,02 (3,66) | 0,62 (0,24) |
| Ruta 41 | 176,33 (88,36) | 18,55 (12,52) | 5,35 (0,61) | 44,90 (21,95) | 14,17 (9,19) | 4,25 (1,56) | 0,61 (0,21) |
| Puente | 257,33 (56,32) | 24,0 (29,53) | 7,15 (2,10) | 51,25 (21,24) | 15,21 (6,71) | 7,44 (3,59) | 0,93 (0,40) |
| Goldhey | 230,17 (61,31) | 23,95 (20,63) | 5,10 (0,40) | 42,63 (23,71) | 13,28 (5,60) | 5,04 (4,15) | 1,03 (0,08) |
| Olivera | 118,87 (59,70) | 43,72 (63,34) | 5,38 (0,75) | 58,38 (29,52) | 14,61 (8,35) | 5,40 (2,05) | 0,92 (0,33) |
| Linera | 108,77 (48,22) | 34,04 (45,04) | 8,38 (3,12) | 58,88 (20,80) | 28,73 (14,40) | 10,44 (3,12) | 0,80 (0,27) |
| Puente Las Tropas | 113,50 (76,68) | 14,67 (10,01) | 6,30 (1,66) | 64,23 (30,87) | 19,58 (15,64) | 4,82 (2,60) | 0,92 (0,34) |
| Ruta Prov. N° 6 | 91,27 (61,26) | 40,28 (44,67) | 16,70 (21,54) | 45,25 (6,48) | 24,51 (7,76) | 8,80 (2,58) | 1,20 (0,44) |
| Puente Petrel | 141,80 (56,32) | 16,03 (10,59) | 12,18 (5,40) | 64,35 (11,57) | 31,32 (14,16) | 16,10 (4,41) | 1,29 (0,47) |
| Reserva Ecológica | 161,67 (59,289) | 42,44 (22,72) | 7,98 (2,52) | 53,95 (30,56) | 20,43 (1,67) | 11,48 (2,04) | 1,36 (0,73) |
| Ruta Nac. N° 9 | | | | | | | |

Tabla 4. Listado de especies halladas en las muestras de biofilm.

ESPECIES

Bacillariophyta

Achnanthes minutissima Kütz.
Achnanthes sp.
Amphipleura pellucida (Kütz.) Kütz.
Amphora ovalis (Kütz.) Kütz.
Cocconeis placentula Ehr.
Cyclotella meneghiniana Kütz.
Cymbella minuta Hilse
Denticula elegans Kütz.
Gomphonema angustatum (Kütz) Rabh.
Gomphonema parvulum Kütz.
Melosira varians C.A. Ag.
Navicula cryptocephala Kütz.
Navicula cuspidata (Kütz.) Kütz.
Navicula pygmaea Kütz.
Navicula sp.
Neidium sp.
Nitzschia acicularis (Kütz.) W. Sm.
Nitzschia amphibia Grun.
Nitzschia dissipata (Kütz) Grun.
Nitzschia lacunarum Hust.
Nitzschia linearis (Ag.) W.Sm.
Nitzschia palea (Kütz) W. Sm.
Nitzschia paleaceae Grun.
Nitzschia sigma (Kütz) W. Sm.
Pinnularia braunii (Grun.) Cl.
Pinnularia divergens W. Sm.
Pinnularia gibba Ehr.
Surirella linearis W. Sm.
Surirella ovata Kütz.
Surirella robusta Ehr.
Synedra ulna (Nitz.) Ehr.

Cyanophyta

Anabaena sp
Lyngbya limnetica Lemm.
Lyngbya martesiana Menegh.
Lyngbya nordgardbii Will.
Lyngbya sp.
Merismopedia sp.
Oscillatoria chlorina Kutz.
Oscillatoria limosa Agardh.
Phormidium fragile (Menegh.) Gom.
Rivularia

Chlorophyta

Ankistrodesmus sp.
Chaetophora
Chlorella sp.
Cladophora glomerata (L.) Kütz.
Closterium sp.
Coleochaete sp.
Oedogonium sp.
Scenedesmus
Ulothrix sp.

Euglenophyta

Euglena sp.
Euglena viridis
Phacus sp.

*Tabla 5. Modificación de las asociaciones de algas del biofilm en los sitios muestreados. * Corresponde a géneros tolerantes incluidos entre los 10 más tolerantes a la polución orgánica, y especies tolerantes incluidas entre las 10 más tolerantes (Palmer, 1969).*

| | Riqueza de Especies | Diversidad (Índice de Shannon) | Abundancia (N° de individuos/cm ²) | Número de Géneros Tolerantes* | Número de Especies Tolerantes* |
|-------------------|---------------------|--------------------------------|--|-------------------------------|--------------------------------|
| A° El Durazno | 18 | 1,23 | 2.766.264 | 4 | 1 |
| A° Los Leones | 21 | 2,84 | 194.609 | 6 | 3 |
| M. J. García | 17 | 3,38 | 79.575 | 6 | 4 |
| Ruta 41 | 21 | 2,29 | 3.184.742 | 4 | 1 |
| Puente Goldney | 17 | 2,93 | 1.327.183 | 4 | 2 |
| Puente Olivera | | | | | |
| Linera | 12 | 2,09 | 444.568 | 4 | 1 |
| Puente Las Tropas | 13 | 1,85 | 850.273 | 4 | 1 |
| Ruta Prov. N° 6 | 31 | 3,12 | 537.835 | 5 | 5 |
| Puente Petrel | 27 | 3,48 | 837.811 | 5 | 4 |
| Reserva Ecológica | 5 | 1,35 | 1.083.707 | 2 | 1 |
| Ruta Nac. N° 9 | 20 | 3,71 | 274.549 | 4 | 3 |

Tabla 6. Correlaciones significativas ($p < 0,05$) entre variables físicas, químicas y biológicas del agua, y variables del biofilm. Se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman.

| | Bacillariophyta | Cyanophyta | Chlorophyta | Euglenophyta | Diversidad | Abundancia | Riqueza |
|-----------------------------|-----------------|------------|-------------|--------------|------------|------------|---------|
| Oxígeno | | | | 0,70 | | | |
| % Saturación O ₂ | | | | 0,68 | | | |
| Conductividad | | | | 0,61 | | | |
| Nitrógeno total | | | | | | 0,58 | |
| DBO | | | | | -0,63 | | |
| DQO | | | | | -0,60 | | |
| Materia Orgánica | | | | | -0,56 | | |
| Fosfatos | | | | -0,67 | | | |

Tabla 7. Correlaciones significativas (* $p < 0,05$) y altamente significativas ($p < 0,01$) entre variables del biofilm. Se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman.**

| | Cyanophyta | Chlorophyta | Euglenophyta | Diversidad | Abundancia | Riqueza |
|-----------------|------------|-------------|--------------|------------|------------|---------|
| Bacillariophyta | -0,99** | | | | | 0,75** |
| Cyanophyta | | | | -0,61* | | -0,75** |
| Chlorophyta | | | 0,83** | | | |
| Euglenophyta | | | | | | |
| Diversidad | | | | | | 0,64* |
| Abundancia | | | | | | |

En este estudio la comunidad de biofilm tuvo dominancia de Bacillariophyta dentro de un amplio rango de condiciones químicas del agua y de dimensiones del curso. La estación CL11, que resultó diferente por la dominancia de Cyanophyta, está ubicada a la altura de la Reserva Ecológica en Pilar, en el límite entre los sectores medio y bajo de la cuenca. Este lugar, si bien es superado en algunos parámetros de contaminación por el arroyo El Durazno, aparece como uno de los más contaminados, ya que presentó un déficit de oxígeno mayor, conjuntamente con altas concentraciones de materia orgánica en suspensión, altas DBO y DQO. Estas características registradas a la altura de la Reserva Ecológica podrían explicarse por la influencia del importante caudal de efluentes industriales de la zona, ya sean provenientes del Parque Industrial como de otras industrias, los que generan una acumulación de sedimentos con alto contenido orgánico. Por otro lado, las condiciones en el arroyo El Durazno en la cabecera de cuenca son de muy fuerte alteración, pero se debe considerar que se trata de un arroyo muy pequeño, en el que el vuelco de efluentes puede por momentos constituir una parte importante del caudal total. Esta situación se revierte aguas abajo en cuanto confluyen tributarios y el caudal del curso va aumentando, o sea que hay una importante dilución, como se nota en la estación CL03 (M. J. García), posterior a la confluencia de los arroyos El Durazno y Los Leones. Debido a esta circunstancia son las estaciones CL02 y CL03 las que mejor describen una situación de baja alteración antrópica del curso de agua. A

su vez, a partir de la estación Ruta provincial 6 (CL09), el río parece no tener capacidad de asimilar ni procesar los materiales que transporta y recibe, a diferencia de lo que ocurre en tramos anteriores –por ejemplo la concentración de fosfatos (PRS) desciende levemente entre las estaciones CL07 y CL08, y la de oxígeno aumenta entre CL05 y CL07-. Por otro lado, la DBO tiene claros incrementos a la altura de la Reserva Ecológica y se incrementa –aunque en menor medida– en los sitios Puente Goldney, Puente Las Tropas y Ruta 6.

En cuanto a la respuesta del biofilm, en la cabecera de cuenca, en el arroyo El Durazno luego del desagüe de la industria láctea, se incrementa la proporción de Cyanophyta y aunque hay alta densidad de organismos la diversidad es baja. En el arroyo Los Leones la diversidad es mayor que en El Durazno, y están representados otros grupos, como Euglenophyta y Chlorophyta. En la estación 3 la diversidad sigue alta aunque el número de organismos es bajo. Aparentemente la unión de ambos arroyos produce el incremento de diversidad aunque no se mantienen las condiciones para sustentar un alto número de Cyanophyta. También debe considerarse que esta estación reúne varios géneros y especies catalogados como tolerantes (Palmer, 1969). En las siguientes estaciones (CL04 Ruta 41, y CL05 Puente Goldney) reaparecen especies de diatomeas que se hallaron en el arroyo Los Leones, y se reducen levemente la riqueza y la diversidad. Recién en las estaciones Linera y Puente Las Tropas (CL07 y CL08) disminuyen claramente la riqueza, la diversidad y la abundan-

cia de organismos. En cambio a la altura de la ruta provincial N° 6 y del puente Petrel, pese a que la abundancia de organismos no se incrementa, sí lo hacen la riqueza específica y la diversidad. Esta recuperación observable en la comunidad de biofilm se revierte a la altura de la Reserva Ecológica donde la riqueza específica y la diversidad caen abruptamente en tanto que la abundancia de organismos vuelve a incrementarse con un gran predominio de Cyanophyta. En la última estación muestreada vuelve a observarse una recuperación de la riqueza y diversidad aunque no de la abundancia de organismos, lo que puede relacionarse con la influencia incipiente de las aguas del Paraná-Plata.

Respecto de las asociaciones entre las variables fisicoquímicas y las biológicas, en los sitios con mayor contenido de materia orgánica la diversidad en el biofilm fue menor.

A su vez, las abundancias de Cyanophyta y Bacillariophyta se comportaron de manera opuesta, en tanto que Euglenophyta y Chlorophyta variaron conjuntamente; y mientras Bacillariophyta fue determinante de la riqueza, la presencia de Cyanophyta resultó en la dominancia de pocas especies.

Las características analizadas en el biofilm indican claramente casos evidentes de deterioro de la calidad del agua en el arroyo El Durazno y en la Reserva Ecológica de Pilar. Hay situaciones de disminución de diversidad producidas a la altura de Linera y puente Las Tropas que podrían atribuirse a desagües industriales ya que es donde la relación DQO/DBO presenta valores más altos por lo

que sería necesario realizar un estudio más específico en la zona. Diversos autores han citado cambios en la comunidad perifítica expuesta a fuentes puntuales como las que se mencionan (Economou-Amili, 1980; Stewart, 1995). Sin embargo, cuando la contaminación es de tipo difusa, como el incremento de nutrientes o materia orgánica, los cambios pueden confundirse con modificaciones en otras variables como la luz, la corriente y el tipo de sustrato (Smith *et al.*, 1999).

En este caso, el estudio del biofilm permite complementar el de la calidad del agua, y brinda una perspectiva acerca de la capacidad de recuperación o grado de deterioro en los distintos sitios estudiados. No obstante, para indagar acerca de los potenciales efectos de la agricultura o ganadería practicadas en la cuenca habría que tener en cuenta otras variables como la clorofila *a* (Heinonen, 1984; Mattilla y Räsänen, 1998) conjuntamente con el peso seco libre cenizas (Pizarro y Alemanni, 2005) y algunos parámetros del funcionamiento del biofilm, como las actividades de exoenzimas o capacidad de biodegradación (Montuelle *et al.*, 2010) que permitirían realizar interpretaciones más ajustadas entre las variaciones registradas en el biofilm y en la calidad del agua, incrementando el uso potencial de esta comunidad en estudios de monitoreo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido resultado de un subsidio del Instituto Nacional del Agua (INA) como parte de un estudio diagnóstico sobre la calidad del agua del río

Luján efectuado por el LECA-CETUA de dicho organismo, por convenio con la presidencia del Comité Regional A de la Cuenca del río Luján en el año 2004. Agradecemos el apoyo de la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Luján para el trabajo de campo y de laboratorio y las correcciones de los evaluadores que mejoraron sustancialmente la calidad del manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

- Aizaki, M.** 1980. Removal and excretion of dissolved organic matter by periphyton community grown in eutrophic river water. *The Japanese Journal of Limnology*, 46 (3): 159-168.
- Alberdi, J. L., M. E. Sáenz, W. D. Di Marzio y M. del C. Tortorelli.** 1992. Estudio de la calidad de agua del río Luján. Parte 1. Resúmenes II Congreso Latinoamericano de Ecología. 67-68. Caxambú.
- Andrade, M. I.** 1986. Factores de deterioro ambiental en la cuenca del Río Luján. Contribución del Instituto de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras (UBA), 224 pp. Buenos Aires.
- APHA (American Public Health Association).** 1992. Standard methods for the examination of water and waste water. APHA, Washington DC, 1268 pp.
- Branco, S. M.** 1984. Limnología Sanitaria, Estudio de la Polución de Aguas Continentales. Monografía N° 28. OEA.
- Cattaneo, A. y J. Kalff.** 1979. Primary production of algae growing on natural and artificial aquatic plants: A study of interactions between epiphytes and their substrate. *Limnology and Oceanography*. 14: 1031-1037.
- Club de Ciencias.** 1974. Saneamiento del Río Luján. Concejo Deliberante, Ciudad de Luján. 1-31, Luján.
- Del Giorgio, P. A., A. L. Vinocur, R. L. Lombardo y H. G. Tell.** 1991. Progressive changes on the structure and dynamics of the phytoplankton community along a pollution gradient in a lowland river- a multivariate approach. *Hydrobiologia*, 224: 129-154. Ghent.
- Di Marzio, W., M. E. Sáenz, J. L. Alberdi, M. del C. Tortorelli y S. Galassi.** 2005. Risk assessment of domestic and industrial effluents unloaded into a freshwater environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 61: 380-391.
- Economou-Amili, A.** 1980. Periphyton analysis for the evaluation of water quality in running Waters of Greece, *Hydrobiologia* 74: 39-48.
- Giorgi, A., M. Banchemo, S. Rivelli, O. Clarenso y W. Cuevas.** 1999. Algunas variables indicativas de la calidad del agua del río Luján en su tramo medio. Actas VII Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales. 155-162. 1999.
- Giorgi, A. y L. Malacalza.** 2002. Effect of an industrial discharge on water quality and periphyton structure in a pampean stream. *Environmental Monitoring and Assessment* 75: 107-119.

- Heinonen, P.** 1984. Early warning of eutrophication in rivers by analysis of periphyton chlorophyll *a*. *En:* D. Pascoe y R. W. Edwards (Eds.) *Freshwater Biological Monitoring*, Pergamon Press, Oxford: 45-52.
- Lindstrom, Eli-Anne.** 1991. Use of periphyton for monitoring rivers in Norway. *En:* B. A. Whitton, E. Rott y G. Friedrich (Eds.) *Use of algae for monitoring rivers*, Institut for Botanik, Universitat Innsbruck: 139-150.
- McCormick, P.V., P.S. Rawlik, K. Lurding, E.P. Smith y F. H. Sklar.** 1996. Periphyton-water quality relationships along a nutrient gradient in the northern Florida Everglades. *Journal of North American Benthological Society*. 15(4):433-449
- Mattila, J. y R. Räisänen.** 1998. Periphyton growth as an indicator of eutrophication; an experimental approach. *Hydrobiologia* 377: 15-23.
- Montuelle, B., U. Dorigo, A. Bérard, B. Volat, A. Bouchez, A. Tiili y V. Godoy.** 2010. The periphyton as a multimetric bioindicator for assessing the impact of land use on rivers: an overview of the Ardieres-Morcille experimental watershed (France). *Hydrobiologia*. 657: 123-141.
- O' Farrell, I.** 2003. Utilización de índices biológicos en la evaluación de la calidad de agua del tramo inferior del río Luján (Provincia de Buenos Aires, Argentina). *En:* G. Alsina (Ed.) *Las aguas bajan turbias en la región metropolitana del Gran Buenos Aires*, Universidad Nacional de General Sarmiento y Ediciones Al Margen: 157 pp.
- Palmer, C. M.** 1969. A composite rating of algae tolerating organic pollution, *Journal of Phycology*, 5: 78-82.
- Pizarro, H. y M. E. Alemanni.** 2005. Variables físico-químicas del agua y su influencia en la biomasa del perifiton en un tramo inferior del Río Luján (Provincia de Buenos Aires). *Ecología Austral*, 15: 73-88.
- Round, F.** 1993. A review and methods for the use of epilithic diatoms for detecting and monitoring changes in river water quality. *Methods for the examination of waters and associated materials*. Her Majesty's Stationery Office. Londres, Reino Unido. 65pp
- Sala, J. M.** 1972. Contribución al conocimiento geohidrológico de la porción oriental de la cuenca del río Luján y las correspondientes a los arroyos Escobar, Garín, Claro y de Las Tunas. Consejo Federal de Inversiones, 1- 49, EASNE, Buenos Aires.
- Sánchez Caro, A. y F. Momo.** 2009. Contaminación y estado ecológico de la cuenca del río Luján. pp.: 357-371. *En:* Amancay Herrera (Coord.); *Ambiente Sustentable; Compilación de Jornadas Ambientales Interdisciplinarias*. Colegio de Abogados del Distrito Judicial Mercedes (B). Orientación Gráfica Editora; 549 pp.
- Smith, V., G. Tilman y J. Nekola.** 1999. Eutrophication: Impact of excess nutrient inputs on freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, 100: 170-196.
- Sournia, A. (Ed.)** 1978. *Phytoplankton manual*. UNESCO. París. 337 pp.

- Stewart, P.** 1995. Use of algae in aquatic pollution assessment. *Natural Areas Journal*, 15 (3): 234-239.
- Ventura, A. S., T. A. Maccor y F. R. Momo.** 1997. Contaminación del río Luján (Buenos Aires, Argentina). Caracterización física y química de la calidad del agua. Resúmenes II Congreso Argentino de Limnología. 157. Buenos Aires.
- Wetzel, R. G., y G. E. Likens.** 1991. *Limnological analyses*. 2nd edition. Springer-Verlag, New York, 391pp.