

DIATOMEAS EMPLEADAS EN LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN 3 CUENCAS DE LA PROVINCIA DE SAN LUIS (ARGENTINA)

**GRISELDA JORGELINA DARUICH,
MARÍA ANGÉLICA GIL, LILIANA E. MORENO**

PROICO 2–3514. Área de Zoología, Departamento de Bioquímica y Ciencias Biológicas,
Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia. Universidad Nacional de San Luis, Chacabuco 917.

CP 5700. San Luis, Argentina. E-mail: j.jorgelina@gmail.com

Dirección Postal: Área de Zoología. Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia. UNSL.
Chacabuco 917 CP 5700. San Luis, Argentina.

RESUMEN

Es conocido el uso de algas como bioindicadores de contaminación orgánica en ecosistemas acuáticos. El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad del agua de tres cuencas de la provincia de San Luis aplicando el Índice de Diatomeas Pampeano (IDP). Se tomaron muestras de diatomeas epilíticas para el cálculo de dicho Índice. Los sitios de cabecera registraron los valores más bajos de IDP, indicaron calidad de agua entre buena y aceptable y evidenciaron una mejor estructuración de la taxocenosis de diatomeas. Los sitios de las secciones medias y finales albergan especies que prefieren ambientes enriquecidos con nutrientes (calidad del agua mala). Se observó una sustitución de especies sensibles por otras que toleran mayores concentraciones de materia orgánica. Los valores de IDP reflejaron un deterioro en la calidad del agua que pone de manifiesto la actividad antrópica.

Palabras clave:

diatomeas, bioindicadores, ríos serranos.

DIATOMS USED IN ASSESSING WATER QUALITY IN 3 BASIN OF THE PROVINCE OF SAN LUIS (ARGENTINA)

**GRISELDA JORGELINA DARUICH,
MARÍA ANGÉLICA GIL, LILIANA E. MORENO**

PROICO 2–3514. Área de Zoología, Departamento de Bioquímica y Ciencias Biológicas,
Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia. Universidad Nacional de San Luis, Chacabuco 917.

CP 5700. San Luis, Argentina. E-mail: j.jorgelina@gmail.com

Dirección Postal: Área de Zoología. Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia. UNSL.
Chacabuco 917 CP 5700. San Luis, Argentina.

ABSTRACT

It is known to use algae as bioindicators of organic contamination in aquatic ecosystems. The objective of this study was to assess the quality of water in three basins of San Luis province by applying the Pampean Diatoms Index (IDP). The 3 basins of the province were studied for one year. Epilithic diatoms samples were taken. Upstream sites recorded the lowest IDP levels, which indicates a good to acceptable quality and shows a better structuring of the diatom taxocenosis. The sites of the middle and final sections hold species that prefer environments rich in nutrients (bad quality). The replacement of less sensitive species by others more tolerant to higher organic concentrations was observed. IDP values showed deterioration of water quality downstream, which indicates anthropic activity.

Keywords:

diatoms, bioindicators, Mountain Rivers.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso valioso y limitado, esencial para todos los seres vivos, cuya disponibilidad y calidad se ven afectadas por distintas causas. El constante aumento de la demanda de agua, su uso irracional y la eliminación de efluentes cloacales e industriales insuficientemente tratados con diverso grado de contaminación a los cursos de agua causan la disminución de la calidad de este recurso (Somlyódy, 1994) puesto que dichos ecosistemas son el depósito de la mayoría de los desperdicios originados por desagües o por el vertido de cualquier compuesto orgánico. En la actualidad, para la evaluación de la calidad de agua se utilizan análisis físicos, químicos y microbiológicos (Rodrigues & Lobo, 2000).

Durante los últimos 50 años ha sido reconocida la importancia de diferentes grupos taxonómicos en la valoración de la calidad biológica de los ambientes dulceacuícolas frente al deterioro provocado por el incremento de la actividad antrópica. La evaluación de las condiciones ambientales se puede basar en una sola especie, un grupo de especies o en asociaciones de especies (López Fuerte & Siqueiros Beltrones, 2011).

Las diatomeas se han utilizado con gran éxito para supervisar el cambio ambiental. Tienen como ventaja adicional que la colecta de las mismas es fácil y rápida. La buena conservación de las muestras se debe al esqueleto de sílice —el frústulo— de elevada resistencia y cuyas características morfológicas son la base de la identificación de las especies. Sumado a la amplia distribución del grupo se dispone de una extensa información de las exigencias ecológicas de un considerable número de especies (López Fuerte & Siqueiros Beltrones, 2011). Las respuestas de estos organismos frente a los cambios de las condiciones del medio los convierten en finos sensores de la calidad del agua y en referentes del estado ecológico del ambiente (Martínez de Fabricius, 2000).

La taxocenosis de diatomeas que viven adheridas a un substrato fijo del río y en zonas de máxima corriente de agua representa un interés especial para el estudio de calidad de agua. A diferencia de organismos que se encuentran en los sedimentos fluviales, las diatomeas que se fijan a rocas aprovechan los nutrientes que quedan disponibles en el biofilm, y son bioindicadores representativos de la composición química del agua que circula. En Argentina, el empleo de las diatomeas como indicadores de la calidad del agua está en creciente aumento Gómez (1998, 1999); Tangorra *et al.* (1998), Gómez & Licursi (2001), Licursi & Gómez (2002, 2003), Graça *et al.* (2002), Mirande & Tracanna (2005). Entre ellos Licursi & Gómez (2002) establecieron espectros de tolerancia de las diatomeas a algunas variables ambientales, y Gómez & Licursi (2001) diseñaron el Índice de Diatomeas Pampeano (IDP) a fin de obtener una primera evaluación del estado de eutrofización y polución orgánica y monitorear los sistemas acuáticos pampeanos.

Las características áridas y semiáridas del territorio de la provincia de San Luis en el centro oeste de la República Argentina determinan que el recurso hídrico constituya

uno de los principales factores limitantes del desarrollo. Las aguas superficiales son relativamente escasas y restringidas a los sectores serranos. Ello obliga a planificar cuidadosamente la explotación y uso del recurso a los efectos de lograr un máximo beneficio en el marco de la conservación del mismo (Ceci & Cruz Coronado, 1981).

Los estudios realizados en San Luis, hasta el momento, se enfocaron en la taxocenosis de diatomeas y generaron información de base útil para abordar trabajos de evaluación ambiental (Darwich *et al.*, 2003, 2005; Darwich & Martínez de Fabricius, 2006; Darwich, 2007).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad del agua de tres cuencas de la provincia de San Luis mediante la aplicación del IDP.

MATERIALES Y MÉTODOS

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La región estudiada forma parte de las Sierras de San Luis que pertenecen al sistema de sierras pampásicas del centro-oeste de Argentina. La pendiente oriental favorece el desarrollo de una red hidrográfica de relativa importancia donde tienen sus nacientes las tres cuencas del centro de la provincia: del río Conlara, del río Quinto y del Bebedero (Ceci & Cruz Coronado, 1981).

La cuenca del río Conlara nace en las sierras de los Comechingones, recorre 180 km, con pendiente hacia el norte en el valle del Conlara, su superficie es de 8800 km², entre el territorio de la provincia de San Luis y la provincia de Córdoba. La principal actividad es la producción de ganadería de ciclo completo y agricultura de forraje, maíz, soja y papa (Iglesias *et al.*, 2015).

La cuenca del río Quinto con una superficie de 1500 km². Limita al norte con la cuenca del Conlara, entra a la provincia de Córdoba. Su extensión es de aproximadamente 300 km. El río Quinto nace en la confluencia de los ríos El Trapiche y Grande, que forman el embalse La Florida. Es el recurso hídrico superficial más importante de la provincia. En los últimos años hubo un desarrollo creciente de la agricultura junto a la ganadería. Esta región concentra el 66 % de la agricultura de la provincia (Iglesias *et al.*, 2015).

La cuenca del Bebedero está ubicada en la parte central de la provincia, recorre el territorio de la ciudad capital, ocupa un área de 5500 km², limitada al este por la divisoria de aguas que la separa de la cuenca superior del río Quinto. Presenta cursos de agua de corto recorrido que se infiltran en los terrenos permeables de piedemonte y escurren de manera subterránea hacia el nivel de base: la laguna del Bebedero (Ceci & Cruz Coronado, 1981). Está formada por dos subcuencas de los ríos Potrero y Volcán, ambas están reguladas y presentan distintos grados de actividad antrópica, ya que atraviesan pueblos turísticos en continua expansión. En esta región, los sistemas de producción son predo-

minantemente ganadería de cría extensiva en monte, además de cultivos agrícolas extensivos de riego y de producción de grano, en especial maíz y soja (Iglesias *et al.*, 2015).

Los sistemas fluviales presentan variaciones anuales, con sequías y crecientes directamente relacionadas con el régimen de precipitaciones. Las lluvias son de tipo estival y tienen lugar casi en su totalidad en el período octubre–marzo, con medias anuales entre 500 y 650 mm. El clima es templado seco; la zona en estudio posee características de semiaridez, por ello la conservación del recurso resulta de gran importancia tanto para la población como para su flora y fauna.

Para el estudio, se seleccionaron 14 sitios de muestreo en 3 cuencas de la provincia de San Luis (Figura 1). En la cuenca del río Conlara 7 sitios: C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , C_5 , C_6 , C_7 ; otros 3 sitios en la Cuenca del río Quinto: Q_1 , Q_2 y Q_3 y finalmente 4 sitios en la cuenca del Bebedero: 2 sobre el río Potrero, B_1 y B_2 , y 2 sobre el río Volcán, B_3 y B_4 (Tabla 1).

Se registraron los parámetros hidráulicos del cauce: ancho y velocidad de corriente y se calculó el caudal. Los parámetros físicoquímicos se midieron *in situ* con sensores portátiles: CONSORT modelo C532, el pH (exactitud $\pm 0,01$ pH), la conductividad (exactitud $\pm 1\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) y la temperatura (exactitud $\pm 0,5$ °C) y el oxígeno disuelto (OD) (exactitud $\pm 0,01\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) con CONSORT modelo Z921.

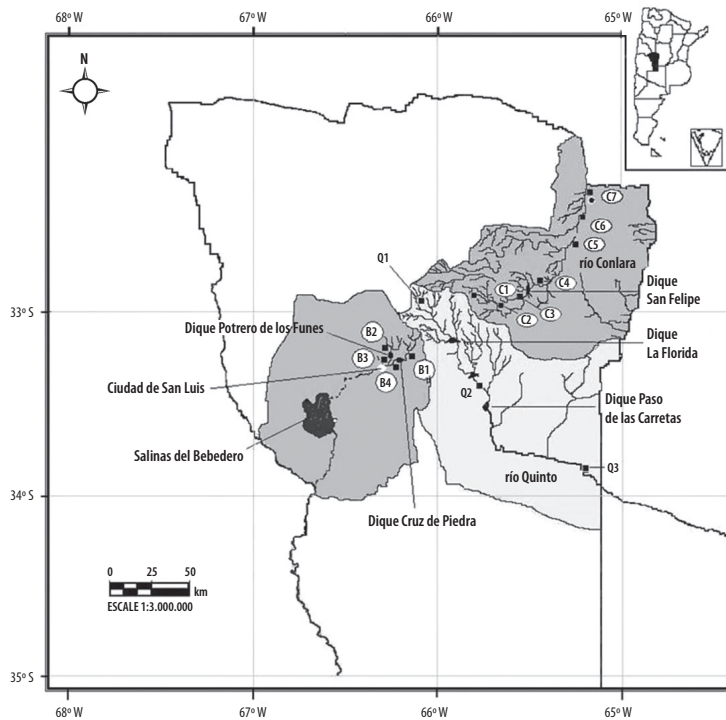


Figura 1. Área de estudio y localización de los sitios de muestreo.

Sitios	Localización	Elevación (m. s. m.)	Orden del río
C ₁ : río Luluara	32° 46' S 65° 50' W	1160	1°
C ₂ : Paso Grande	32° 53' S 65° 38' W	957	3°
C ₃ : Antes del dique San Felipe	32° 54' S 65° 31' W	863	4°
C ₄ : Después del dique San Felipe	32° 47' S 65° 25' W	798	4°
C ₅ : Antes de Concarán	32° 33' S 65° 15' W	662	4°
C ₆ : Ojo de río	32° 26' S 65° 14' W	613	4°
C ₇ : Santa Rosa del Conlara	32° 20' S 65° 13' W	575	4°
Q ₁ : La Carolina	32° 48' S 66° 58' W	1550	2°
Q ₂ : Saladillo	33° 14' S 65° 54' W	768	5°
Q ₃ : Villa Sales	33° 50' S 65° 14' W	429	6°
B ₁ : Los Molles	33° 12' S 66° 14' W	1000	2°
B ₂ : La Estrechura	33° 14' S 66° 12' W	992	2°
B ₃ : Cuchi Corral	33° 17' S 66° 15' W	799	3°
B ₄ : Las Chacras	33° 14' S 66° 14' W	903	3°

Tabla 1. Localización de los sitios estudiados.

MUESTREO DE DIATOMEAS

En cada sitio se recolectaron pequeñas rocas del fondo según un muestreo estratificado al azar, es decir que el que el sitio de muestreo se divide en estratos homogéneos y las muestras son colectadas al azar de cada estrato (Venrick, 1995). Para el análisis diatomológico, las muestras epilíticas fueron obtenidas por raspado de una superficie promedio de 100 cm² y luego fueron lavadas con agua estéril para la colecta. Unos 10 ml de las muestras así obtenidas fueron tratadas con agua oxigenada de 100 vol. a 80 °C durante dos horas y posteriormente lavadas con agua destilada (Battarbee, 1986). Tres pseudorréplicas de cada una de ellas fueron utilizadas para el análisis taxonómico mediante el uso de microscopio óptico Zeiss Standard 16. Se empleó Naphrax® como medio de montaje en los preparados diatomológicos permanentes según las técnicas recomendadas por Hasle (1978). Se contaron 200 valvas (Bate & Newall, 2002) que se identificaron siguiendo bibliografía específica para el grupo: Germain (1981), Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a, 1991b). El total de especies determinadas se ordenó según Simonsen (1979).

CÁLCULO DEL IDP

Para determinar la calidad del agua se utilizó el IDP, que fue diseñado para evaluar la eutrofización y contaminación orgánica de ríos y arroyos de la región pampeana. Este Índice asigna un código de color que identifica las distintas calidades de agua y sirve para su representación gráfica en mapas (Gómez & Licursi, 2001). Se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$IDP = \frac{\sum_{j=1}^n I_{idp.j} A_j}{\sum_{j=1}^n A_j}$$

I_{idp} : valor del IDP para la especie (fluctúa entre 0 y 4).

A_j : abundancia relativa de la especie.

El valor del IDP varía entre 0 y 4, rango que determina cinco clases de calidad de agua que se muestran en la Tabla 4 (Licursi & Gómez, 2003).

RESULTADOS

En la Tabla 2 se muestran los valores de las variables físicoquímicas e hidrológicas registradas.

Se identificaron 97 especies de diatomeas pertenecientes a 29 géneros, de los cuales los más representativos fueron *Navicula*, *Nitzschia* y *Pinnularia* y se les asignó, en los casos en que estuvo determinado, el valor de IDP (Tabla 3).

El valor más bajo de IDP, de 1,43, se obtuvo en el sitio B_2 , lo que indica calidad buena. En los sitios próximos a las nacientes, la presencia de *Diatoma vulgare*, *Cymbella affinis*, *Epithemia sorex* y *Rhopalodia gibba* determinó los valores de IDP más bajos. El valor más alto encontrado corresponde al sitio Q_3 , con un IDP= 2,59, lo que indica mala calidad del agua (Tabla 5), principalmente relacionada con la presencia de *Amphora veneta*.

Especies dominantes, como *Nitzschia sinuata* en Q_1 y *Diatoma anceps* en Q_2 , no fueron consideradas en los cálculos ya que el IDP no les asigna un valor.

En la Figura 2 se representan los sitios de muestreo y la calidad del agua estimada a partir del IDP.

	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Caudal (m^3/seg)	Velocidad (m/seg)	OD (mg/l)	Temperatura agua ($^{\circ}\text{C}$)
C ₁	8,07 ± 0,72	267,2 ± 21,5	0,82 ± 0,54	4,70 ± 9,88	10,98 ± 0,39	15,25 ± 6,40
C ₂	7,76 ± 0,52	308,5 ± 25,2	1,17 ± 0,88	7,44 ± 4,55	10,67 ± 0,41	17,12 ± 4,97
C ₃	7,48 ± 0,79	346,0 ± 41,9	1,21 ± 0,86	2,35 ± 4,18	9,27 ± 1,01	20,87 ± 6,86
C ₄	7,5 ± 0,62	421,0 ± 62,6	0,79 ± 0,34	2,59 ± 4,73	9,40 ± 1,64	15,90 ± 7,52
C ₅	7,23 ± 0,27	1984,7 ± 343,6	0,22 ± 0,05	3,59 ± 6,36	8,94 ± 1,15	16,95 ± 7,00
C ₆	6,94 ± 0,76	2372,5 ± 342,4	0,38 ± 0,32	1,61 ± 2,66	9,42 ± 1,83	19,70 ± 5,61
C ₇	6,63 ± 0,57	1864,2 ± 96,5	0,66 ± 0,59	1,70 ± 2,50	8,01 ± 1,66	14,80 ± 6,01
Q ₁	8,15 ± 0,37	188,5 ± 21,6	0,52 ± 0,18	0,06 ± 0,02	8,92 ± 0,30	12,75 ± 4,03
Q ₂	8,19 ± 0,49	196,0 ± 20,2	1,37 ± 0,63	0,33 ± 0,17	8,55 ± 0,50	13,00 ± 3,65
Q ₃	7,62 ± 0,43	3394,2 ± 380,8	0,45 ± 0,21	0,22 ± 0,11	5,75 ± 0,49	11,25 ± 2,22
B ₁	8,07 ± 0,05	131,7 ± 31,6	0,145 ± 0,054	0,447 ± 0,320	8,50 ± 2,26	16,3 ± 4,9
B ₂	7,62 ± 0,38	380,7 ± 88,9	0,195 ± 0,082	0,272 ± 0,127	6,88 ± 1,01	15,2 ± 4,1
B ₃	8,12 ± 0,36	447,2 ± 332,1	0,235 ± 0,052	0,302 ± 0,11	12,73 ± 2,43	17,4 ± 2,2
B ₄	7,32 ± 0,22	972,5 ± 219,9	0,177 ± 0,070	0,377 ± 0,133	7,30 ± 0,99	17,3 ± 2,12

Tabla 2. Valores (medios ± desviación estándar [SD])
de las variables hidrológicas y fisicoquímicas de los sitios de estudio.

Especies identificadas	Clase Calidad de agua	IDP
<i>Achnanthes clevei</i> Grunow	–	–
<i>Achnanthes coarctata</i> (Brébisson) Grunow	–	–
<i>Achnanthes exigua</i> Grunow in Cl. & Grunowvar. <i>Exigua</i>	I	1
<i>Achnanthes hungarica</i> Grunow in Cl. & Grunow	II–III	2,5
<i>Achnanthes inflata</i> (Kützing) Grunow	I–II	1,5
<i>Achnanthes lanceolata</i> (Brébisson) Grunow var. <i>Lanceolata</i> Grunow	I–II	1,5
<i>Achnanthes minutissima</i> Kützing var. <i>Minutissima</i> Kützing	0–I	1
<i>Amphipleura lindheimeri</i> Grunow	–	–
<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing	II–III	2,25
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow	I–II	1,75
<i>Amphora perpusilla</i> (Grunow) Grunow	I–II	1,75
<i>Amphora veneta</i> Kützing	III–IV	3,5

Tabla 3. (Continúa en la página siguiente.)

Tabla 3. (Viene de la página anterior.)

<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	I–II	1,75
<i>Caloneis amphisbaena</i> (Bory) Cleve	I–II	1,25
<i>Caloneis bacillum</i> (Grunow) Cleve	I–II	1,5
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg var. <i>euglypta</i> (Ehrenberg) Grunow	II–III	2,25
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg var. <i>lineata</i> (Ehrenberg) Van Heurck	I–III	2
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	II–IV	2,5
<i>Cyclotella striata</i> (Kützing) Grunow	II	2
<i>Cymatopleura solea</i> (Brébisson) W. M. Smith	–	–
<i>Cymbella ampacephala</i> Näegeli	–	–
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	I–II	1,75
<i>Cymbella affinis</i> for. <i>venter</i> Martínez	–	–
<i>Cymbella cistula</i> (Ehrenberg) Kirchner	I–II	1,25
<i>Cymbella cymbiformis</i> C. Agardh	–	–
<i>Cymbella minuta</i> Hilse ex Rabenhorst	0–I	0,5
<i>Cymbella muelleri</i> Hustedt	–	–
<i>Cymbella prostrata</i> (Berkeley) Cleve	–	–
<i>Cymbella tumida</i> (Brébisson) Van Heurck	–	–
<i>Denticula kuetzingii</i> Grunow var. Kützing	I–II	1,5
<i>Diatoma anceps</i> (Ehrenberg) Kirchner	–	–
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	I–II	1,5
<i>Diatoma tenue</i> C. Agardh	–	–
<i>Diploneis elliptica</i> (Kützing) Cleve	I	1
<i>Diploneis smithii</i> (Brébisson) Cleve	–	–
<i>Diploneis pseudoovalis</i> Hustedt	I	1
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	I–II	1,25
<i>Epithemia sorex</i> Kützing	I–II	1,75
<i>Epithemia túrgida</i> (Ehrenberg) Kützing	–	–
<i>Eunotia monodon</i> Ehrenberg	I	1
<i>Eunotia pectinalis</i> (Dyallwyn) Rabenhorst var. <i>pectinalis</i>	I	1
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	0–I	0,5
<i>Fragilaria vaucheriae</i> (Kützing) J. B. Petersen	–	–
<i>Frustulia vulgaris</i> (Thwaites) De Toni	I	1
<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg	–	–
<i>Gomphonema angustatum</i> Agardh	I	1
<i>Gomphonema clavatum</i> Ehrenberg	I–II	1,25
<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg	I	1

Tabla 3. (Continúa en la página siguiente.)

<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Brébisson	–	–
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing	II–IV	3,25
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg	I–II	1,25
<i>Gyrosigma accuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst	II	2
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow	I–III	2
<i>Melosira varians</i> Agardh	I–III	2
<i>Navicula capitata</i> Ehrenberg	I–III	2,75
<i>Navicula capitato radiata</i> Germain	I–II	1,25
<i>Navicula cuspidata</i> Kützing	II–IV	3
<i>Navicula decussis</i> Østrup	I	1
<i>Navicula exigua</i> (Gregory) Grunow	I	1
<i>Navicula mutica</i> Kützing	III	3
<i>Naviculamenisculus</i> Schumann	–	–
<i>Naviculapupula</i> Kützing	II–IV	3
<i>Navicula radiosa</i> Kützing	I–II	1,25
<i>Navicula tripunctata</i> (O. F. Müller) Bory	I–III	2
<i>Navicula rhyncocephala</i> Kützing	I–II	1,25
<i>Navicula salinarum</i> Grunow	I–II	1,25
<i>Neidum affine</i> (Ehrenberg) Pzifer	–	–
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) Smith	III–IV	3,75
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow	I–III	2,5
<i>Nitzschia constricta</i> (Kützing) Ralfs	I–IV	3
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Grunow	I–II	1,25
<i>Nitzschia hungarica</i> Grunow	II–III	2,75
<i>Nitzschia linearis</i> (Agardh) W. M. Smith	II–III	2,75
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. M. Smith	II–IV	3,75
<i>Nitzschia recta</i> Hantzsch ex Rabenhorst	I–II	1,75
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W. M. Smith	II–IV	3
<i>Nitzschia sinuate</i> (Twaites ex Smith) Grunow in Cleve & Grunow	–	–
<i>Pinnularia abaujensis</i> (Pantoscek) Ross	–	–
<i>Pinnularia acrosphaeria</i> Rabenhorst	I–II	1,25
<i>Pinnularia brevicostata</i> Cleve	–	–
<i>Pinnularia borealis</i> Ehrenberg	I–II	1,25
<i>Pinnularia divergens</i> W. M. Smith	–	–
<i>Pinnularia divergentissima</i> (Grunow) Cleve	–	–
<i>Pinnularia interrupta</i> W. M. Smith	I–II	1,25

Tabla 3. (Continúa en la página siguiente.)

Tabla 3. (Viene de la página anterior.)

<i>Pinnularia maior</i> (Kützing) Rabenhorst	I–II	1,25
<i>Pinnularia subcapitata</i> Gregory	I–II	1,75
<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg	I–II	1,75
<i>Pleurosira laevis</i> (Ehrenberg) Compere	I–II	1,75
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller	I–II	1,25
<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehrenberg) O. Müller	I–II	1,25
<i>Reimeria uniseriata</i> Sala	–	–
<i>Surirella angusta</i> Kützing	II–III	2,5
<i>Surirella ovalis</i> Brébisson	II–III	2,5
<i>Synedra acus</i> Kützing	–	–
<i>Synedra parasítica</i> (W. M. Smith) Hustedt	I–II	1,5
<i>Synedra rumpens</i> Kützing	–	–
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	I–III	2

Tabla 3. Especies de diatomeas encontradas en los sitios estudiados durante el período de muestreo.

IDP: valor indicador específico del Índice de Diatomeas Pampeano.

Valor del IDP	Código del agua	Código de color	Características del agua	Grado de disturbio
0–0,5	muy buena	●	Sin polución, estado natural, pocos nutrientes y poco enriquecimiento humano.	<i>Mínimo:</i> baja influencia humana.
>0,5–1,5	buena	●	Polución y eutrofización leve, bajos niveles de nutrientes y materia orgánica.	<i>Leve:</i> ganadería extensiva y agricultura.
>1,5–2	aceptable	●	Polución y eutrofización moderado, altas concentraciones de nutrientes y materia orgánica.	<i>Moderado:</i> actividad industrial y/o ganadería extensiva.
>2–3	mala	○	Polución y eutrofización fuerte, presencia de materia orgánica parcialmente degradada, nitritos, amonio y aminoácidos.	<i>Fuerte:</i> agricultura extensiva y ganadería y densidad poblacional.
>3–4	muy mala	○	Polución y eutrofización muy fuerte, altas concentraciones de nutrientes y materia orgánica.	<i>Muy fuerte:</i> actividad industrial intensiva y gran densidad poblacional.

Tabla 4. IDP y su relación con la calidad del agua y grado de disturbio antrópico.

El código de color identifica las distintas calidades de agua con relación a la eutrofización y polución orgánica y se utiliza para su representación gráfica en mapas (extraído de Licursi & Gómez 2003).

Sitios	IDP	Sitios	IDP
C ₁	1,6	Q ₁	1,6
C ₂	1,91	Q ₂	1,81
C ₃	1,93	Q ₃	2,59
C ₄	1,86	B ₁	1,51
C ₅	2,16	B ₂	1,43
C ₆	1,98	B ₃	2
C ₇	1,9	B ₄	2,02

Tabla 5. Valores de IDP en los sitios de estudio durante el período de muestreo.

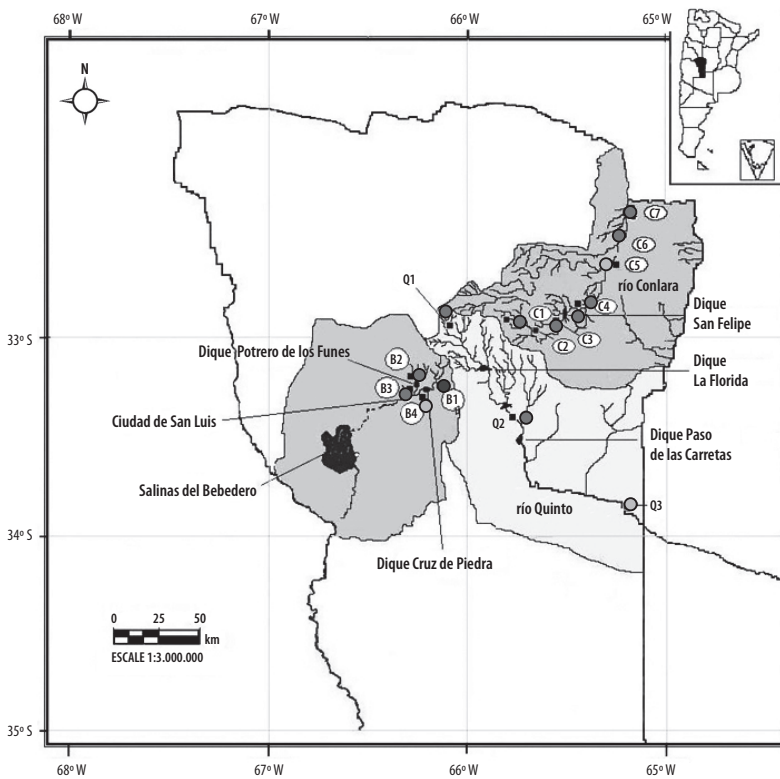


Figura 2. Ubicación de los sitios de muestreo y la calidad del agua estimada a partir del IDP.

Los códigos de colores representan la calidad del agua del sitio de muestreo: buena; aceptable y mala.



DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos, podemos reconocer que el empleo del IDP resulta apropiado para la evaluación de la calidad de agua de los ríos del centro de la provincia de San Luis. Sin embargo, en algunas estaciones de la cuenca del río Quinto se encontró dominancia de *Nitzschia sinuata* y *Diatoma anceps*, especies que no cuentan con un valor asignado de IDP, por lo tanto surgió la idea de introducir ajustes locales al Índice que permitan evaluar si estas especies responden al incremento de materia orgánica y nutrientes del modo en que lo predice dicho Índice.

La mayoría de los sitios muestreados en las tres cuencas fue asignada con la categoría de calidad de agua aceptable. En coincidencia con ello, el IDP señala con la categoría de calidad mala a los sitios C₅, Q₃ y B₄, que resultaron en el momento del estudio los de mayor alteración antrópica.

Conforme a los resultados obtenidos, ningún sitio presentó calidad del agua muy buena, lo cual indica que todos los sitios estudiados tuvieron al menos algún disturbio.

Siguiendo el gradiente longitudinal y altitudinal en las tres cuencas estudiadas, se observó un cambio en la composición específica de las diatomeas, con sustitución de especies, lo que determinó la variación de los valores del IDP y refleja distintas clases de calidad de agua.

Algunas especies fueron comunes en las tres cuencas analizadas, como *Ulnaria ulna*, y en otros casos se observaron especies circunscriptas a un solo sitio, como *Amphora veneta* en Q₃.

Ulnaria ulna, a pesar de ser una especie reófila, mostró también una gran distribución en sistemas de baja velocidad de corriente, por lo que su presencia responde a un amplio intervalo de condiciones ambientales (Sala, 1996; Salomoni *et al.*, 2006; Sosa *et al.*, 2011).

En la cuenca del río Conlara, *Ulnaria ulna*, acompañada por *Nitzschia palea* en C₅, determinó el mayor valor de IDP. En este sitio se observaron remoción de áridos, depósito de residuos domiciliarios en las márgenes y disminución de caudal. Cabe mencionar que es conocido el rol de *Nitzschia palea* como especie indicadora de ambientes polisapróbicos o hipereutrofizados (Sabater *et al.*, 1988; Lobo *et al.*, 1996, Salomoni *et al.*, 2006).

La disminución de *Ulnaria ulna* fue acompañada por el aumento de *Cyclotella meneghiniana* en los sitios C₆ y C₇. Esta es conocida como moderadamente tolerante a la contaminación y/o elevada carga de nutrientes (Drovandi *et al.*, 2005), lo que indica la existencia de un grado de perturbación antrópica en estos sitios evaluados.

La cuenca del río Quinto presentó el valor más alto del IDP en el sitio Q₃, debido a la abundancia relativa de *Amphora veneta*. La especie mencionada es indicadora de alto contenido de materia orgánica según Hassan *et al.* (2004). Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Vallania *et al.* (2000) quienes utilizando macroinvertebrados bentónicos evidenciaron un grave desmejoramiento de la calidad biológica

medida con el Índice Biótico del Carcarañá (I.B.C.) y con el ensamble de peces empleado por Garelis & Bistoni (2010), en ambos casos atribuido a la emisión de efluentes cloacales e industriales.

La cuenca del Bebedero presentó los menores valores del IDP en los sitios B_1 y B_2 correspondiente a sitios de altura, de difícil acceso y alejado de asentamientos urbanos, donde prevalecieron especies como *Navicula decussis* en B_1 y *Navicula radiosa* en B_2 . En B_4 , el aumento del índice fue causado por una alta abundancia relativa de *Melosira varians* y *Naviculatripunctata*. Este sitio ha sido descrito por Daruich et al. (2013) como el más afectado de la cuenca por la actividad antrópica y forma parte de la subcuenca del río Potrero regulada por el embalse Potrero de los Funes que presenta señales de eutrofización (Almeida et al. 2007). *Melosira varians* ha sido caracterizada como colonizadora primaria en ambientes donde existen condiciones de bajo flujo y acumulación de materia orgánica (Martínez et al., 2003, Seeligman et al., 2001).

CONCLUSIONES

Los sitios de los tramos medios y finales de las cuencas estudiadas albergan especies que prefieren ambientes enriquecidos con nutrientes y materia orgánica (calidad mala). Los valores de IDP reflejaron un deterioro en la calidad del agua que pone de manifiesto la actividad antrópica.

La taxocenosis de diatomeas responde al deterioro de la calidad del agua, observándose una sustitución de las especies más sensibles por otras que toleran mayores concentraciones de materia orgánica.

Los resultados obtenidos a partir del empleo de diatomeas epilíticas como indicadoras de la calidad del agua en los sitios analizados concuerda con los resultados reportados a partir de otros organismos bioindicadores tales como macroinvertebrados bentónicos y peces en estos sistemas lóticos.

En nuestro trabajo, los valores del IDP, si bien son bajos en las nacientes de los ríos serranos, estudiados no reflejan claramente las características locales ya que estos son considerados como prístinos porque no se desarrollan en ellos actividades antrópicas, como agropecuarias, industriales y mineras, entre otras, por lo tanto sería adecuado generar un índice que se ajuste más a las particularidades fisiográficas de las cuencas de la provincia de San Luis, dado que se hallaron especies a las cuales el IDP no les asigna valor y sin embargo fueron muy abundantes en algunos de los sitios muestreados.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado por el Proyecto 2–3514 “Biota Asociada a los Humedales del centro oeste de Argentina” de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia de la Universidad Nacional de San Luis. Los autores de este trabajo agradecen a los revisores editoriales por sus oportunas sugerencias.

Recibido | Received: 01 de marzo de 2017

Aceptado | Accepted: 15 de junio de 2017

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, C.; S. Quintar; P. González & M. Mallea.** 2007. Influence of urbanization and tourist activities on the water quality of the Potrero de los Funes River (San Luis – Argentina). *Env. Monit. and Ass.* DOI 10.1007/s10661–006–9600–3.
- Battarbee, R.W.** 1986. Diatom analysis. Handbook of Holocene Palaeoecology and palaeohydrology. Ed. Wiley: 527–570.
- Bate, N. & P. Newall** 2002. Techniques for the use of diatoms in water quality assessment: how many valves? J. John (ed.), Proceedings of the 15th International Diatom Symposium, Perth, Australia 28 September–2 October 1998. A.R.G. Gantner Verlag K.G. Ruggell/Liechtenstein: 153–160.
- Ceci, J.H. & M.D. Cruz Coronado.** 1981. Recursos Hídricos Subterráneos. In: Geología de la Provincia de San Luis, VIII Congreso Geológico Argentino Rel.: 301– 322.
- Daruich, J.; C.M. Nievas & A.L. Martínez de Fabricius.** 2003. Variación en la composición de Diatomeas de la Cuenca del río Nogolí (San Luis, Argentina). *Bol. Soc. Argen. Bot.* 38 (Supl.): 150.
- Daruich, J.; A.L. Martínez de Fabricius & J.H. Ulac-**
co. 2005. Epilithic algae from Nogoli River (San Luis, Province). *BIOCELL*, 29(3): 360.
- Daruich, J. & A.L. Martínez de Fabricius.** 2006. Diatomeas de la Cuenca del río Nogolí. Su distribución en un ciclo anual (San Luis, Argentina). *II Congreso Peruano de Ficología.*
- Daruich, J.** 2007. Composición y Distribución de las Bacillariophyceae de la cuenca del río Nogolí, San Luis, Argentina. San Luis: Universidad Nacional de San Luis. [Tesis Doctoral].
- Daruich, J.; S. Tripole; A. Gil & A. Vallania.** 2013. Algal and Cyanobacterial communities in two rivers of the province of San Luis (Argentina) subjected to anthropogenic influence. *Acta Limn. Bras.*, 25(1): 79–90.
- Drovandi, A.; Y. Zuluaga; M. Filipini; P. Bermejillo; M. Peralta; M. Bustamante; M. Ruiz; A. Granero; M. Velgas; A. Valdez & N. Nacif.** 2005. Diagnóstico preliminar del estado trófico del Embalse El Carrizal, provincia de Mendoza. Universidad Nacional de Cuyo. Centro Regional Andino. Facultad de Ciencias Agrarias. IV Taller Internacional sobre Enfoques Regionales para el desarrollo y gestión de embalses en la cuenca del Plata. Salto Grande, Argentina–Uruguay.

- Garelis, P.A. & M. de los A. Bistoni.** 2010. Ictiofauna de la cuenca endorreica del río Quinto (San Luis, Argentina). *Nat. Neotrop.*, 41(1–2): 19–30.
- Graça, M.; A. Rodrigues Capítulo; C. Ocón & N. Gómez.** 2002. In situ test for water quality assessment: a case study in Pampean River. *Water Reserch*, 36: 4033–4040.
- Germain, H.** 1981. Flore des diatomées. Société Nouvelle des éditions Boubée. Paris. 444 pp.
- Gomez, N.** 1998. Use of epipellic diatoms for evaluation of water quality in the Matanza–Riachuelo (Argentina), a pampean plain river. *Water Reserch*, 32: 2029–2034.
- Gómez, N.** 1999. Epipellic diatoms from Matanza–Riachuelo river (Argentina), a highly polluted basin from the pampean plain: biotic indices and multivariate analysis. *Aquat. Ecosyst. Health Manage*, 2: 301–309.
- Gómez, N. & M. Licursi.** 2001. The Pampean Diatom Index (IDP) for assessment of rivers and streams in Argentina. *Aqua. Ecol.*, 35: 173–181.
- Hasle, G.R. & A. Fryxel.** 1970. Diatoms; Cleaning and mounting for light and electron microscopy. *Trans. Micr. Soc.*, 89: 469–474.
- Hassan, G.S.; M.A. Espinosa & F.I. Isla.** 2004. Distribución de diatomeas en el estuario del río Quequén Grande (Buenos Aires, Argentina). Congreso. II Reunión Binacional de Ecología (Argentina Chile) Ecología en tiempos de cambio 31 de octubre al 5 de noviembre 2004. Mendoza, Argentina: 422.
- Iglesias, D.; F. Manazza; A. Belgrano Rawson & E. Guerri.** 2015. Márgenes brutos de los principales productos agropecuarios de la provincia de San Luis. *Boletín Económico Redes de Economía Agropecuaria de La Pampa y San Luis*. INTA.
- Krammer, K. & H. Lange–Bertalot.** 1986. Bacillariophyceae. 2. Naviculaceae. 2/1. G. F. Verlag, Jena.
- Krammer, K. & H. Lange–Bertalot.** 1988. Bacillariophyceae. 2. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. in 2/2. G. Fischer, Stuttgart NY.
- Krammer, K. & H. Lange–Bertalot.** 1991a. Bacillariophyceae. 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In Ettl, 2/3. G. Fischer, Stuttgart. NY.
- Krammer, K. & H. Lange–Bertalot.** 1991b. Bacillariophyceae. 4. Achnanthaceae. 2/4. G. Fischer, Stuttgart. NY.
- Licursi, M. & N. Gómez.** 2002. Benthic diatoms and some environmental conditions in three lowland streams. *Annales de Limnologie*, 38(2): 109–118.
- Licursi, M. & N. Gómez.** 2003. Aplicación de índices bióticos en la evaluación de la calidad del agua en sistemas lóticos de la llanura pampeana argentina a partir del empleo de diatomeas. *Biología Acuática*, (21): 31–49.
- Lobo, E.A.; V.L.M. Callegaro; M.A. Oliveira; S.E. Salomoni; S. Schuler & K. Asai.** 1996. Pollution Tolerant Diatoms from Lotic Systems in the Jacui Basin, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia, Sér. Bot. Porto Alegre*, 47: 45–72.
- López Fuerte, F.O. & D.A. Siqueiros Beltrones.** 2011. Diatomeas como indicadores de la calidad ecológica de los oasis de Baja California Sur. México. CONABIO. *Biodiversitas*, 99: 8–1.
- Martínez, L.F.** 2003. Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). *Caldasia*, 25(2): 337–354.
- Martínez de Fabricius, A.L.** 2000. Las algas, indicadores de la calidad del agua. *Interciencia, UNRC, Río Cuarto*, 4(4): 1–4.
- Mirande, V. & Tracanna, B.C.** 2005. Fitoplancton de un río del noroeste argentino contaminado por efluentes azucareros y cloacales. *Bol. de la Soc. Arg. De Bot.*, 40(3–4): 169–182.
- Rodrigues, L.M. & E.A. Lobo.** 2000. Análise da estrutura de comunidades de diatomáceas epilíticas no arroio Sampaio, município de Mato Leitao, RS. Brasil.

- Cuaderno de Pesquisa Série Botanica*, Santa Cruz do Sul, 12(2): 5–27.
- Sabater S.; F. Sabater & J. Armengol.** 1988. Comunidades de diatomeas en localidades altamente contaminadas del río Ter (Cataluña, NE España). *Limnética*, 3:103–109.
- Sala, S.E.** 1996. Flora diatomológica del embalse Paso de las Piedras (Argentina) I: Fam. Diatomaceae, Fam. Achnantaceae y Fam. Eunotiaceae (O. Pennales). *Darwiniana*, 34(1–4): 251–266.
- Salomoni, S.E.; O. Rocha; V.L. Callegaro & E.A. Lobo.** 2006. Epilithic diatoms as indicators of water quality in the Gravatíriver, Rio Grande do Sul, Brazil. *Hydrobiologia*, 559: 233–246 (<http://dx.doi.org/10.1007/s10750-005-9012-3>).
- Seeligman, C.; B.C. Tracanna; S. Martínez de Marco & S. Isasmendi.** 2001. Algas fitoplanctónicas en la evaluación de la calidad del agua de sistemas lóticos en el noroeste argentino. *Limnética*, 20(1): 123–133.
- Simonsen, R.** 1979. The diatom system. Ideas on phylogeny. *Bacillaria*, 2: 9–71.
- Sómylyody, L.** 1994. Water Quality Management: Can We Improve Integration to Face Future Problems? Workig Paper 94–34. Inter. Inst. for App. Syst. Analysis. Austria: 1–17.
- Sosa, M.; M. Novoa & A.L. Martínez de Fabricius.** 2011. Ficoflora de la cuenca endorreica fluviolacustre Chucul (Córdoba, Argentina). *Revista de la DES Cs. Biol. Agrop. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, 13(1):14–23.
- Tangorra, M.; L. Mercado; A. Rodrigues Capítulo & N. Gómez.** 1998. Evaluación de la calidad ecológica del A° El Gato a partir del estudio del bentos, fitoplancton y variables físico-químicas. *Anales del Congreso del Agua*. Tomo 5: 212–220.
- Vallania, E.A.; P.A. Garelis; E.S. Trípole & M.A. Gil.** 1996. Un índice biótico para las Sierras de San Luis. *Rev. UNRC*, 16(2): 129–136.
- Vallania, E.A.; P.A. Garelis & M.A. Gil.** 2000. Valoración de la calidad del agua por métodos biológicos en zonas semiáridas (San Luis). Congreso Nacional del Agua. Junio de 2000. Santiago del Estero. Argentina: 243–244.