



Comparación espacial de la ficoflora y el estado ecológico del agua en la cuenca baja del río Colorado (Tucumán, Argentina)

Spatial comparison of the phycoflora and ecological state of the water in the lower basin of the Colorado river (Tucumán, Argentina)

Contino, Luciana^{1,2}; María de los Ángeles Taboada³; María de L. Gultemirian^{1,2*}

¹ Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo (FCN e IML-UNT). Miguel Lillo 205, (T4000JFE) San Miguel de Tucumán, Argentina.

² Instituto de Biodiversidad Neotropical, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Cúpulas Horco Molle. (T4107JFE) Yerba Buena, Tucumán, Argentina.

³ Instituto de Ecosistemas de Aguas Continentales, Área Biología Integrativa. Fundación Miguel Lillo. Miguel Lillo 251, (T4000JFE) San Miguel de Tucumán, Argentina.

* Autor correspondiente: <lgultemirian@csnat.unt.edu.ar>

RESUMEN

Se evaluó el estado ecológico del río Colorado (Tucumán) durante la primavera del 2021. Se eligieron tres sitios: S1, previo a la unión del arroyo Calimayo; S2, en la confluencia; y S3, aguas abajo de la misma. Se colectaron muestras del epilíton y fitoplancton, para análisis cualitativos y cuantitativos, asimismo se midieron diferentes parámetros fisicoquímicos. La riqueza algal total fue de 83 especies, el fitoplancton tuvo 79 taxones (14 fueron exclusivos) y el epilíton 69 (4 fueron propias). El epilíton presentó mayor diversidad y equitatividad que el fitoplancton. En ambas comunidades se registraron especies sensibles a la polución en el S1 que fueron reemplazadas por taxones tolerantes en los siguientes sitios. Las aguas del S1 se clasificaron como sulfatadas cálcicas-sódicas, con pH alcalino, buena oxigenación, baja demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), conductividad

► Ref. bibliográfica: Contino, L.; Taboada, M. de los A.; Gultemirian, M. de L. 2024. Comparación espacial de la ficoflora y el estado ecológico del agua en la cuenca baja del río Colorado (Tucumán, Argentina). *Lilloa* 61 (2): 435-458. doi: <https://doi.org/10.30550/j.lil/1991>

► Recibido: 16 de octubre 2024 – Aceptado: 25 de noviembre 2024 – Publicado: 7 de diciembre 2024.

► URL de la revista: <http://lilloa.lillo.org.ar>



► Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

eléctrica (CE) media-alta y mayor diversidad en la ficoflora. En los S2 y S3, fueron bicarbonatadas cálcicas-sódica, registraron una disminución en el pH y CE, bajo oxígeno disuelto (OD), valores más elevados de DBO₅, de nutrientes y una menor diversidad. Este trabajo es el primer reporte taxonómico de la ficoflora del río Colorado y brinda información de la importancia del empleo en conjunto de variables bióticas y abióticas de los cursos fluviales, para un conocimiento holístico de la calidad del agua.

Palabras clave: Epilithon; estado ecológico; fitoplancton.

ABSTRACT

In spring 2021, an assessment was conducted on the ecological state of the Colorado River in Tucumán. Three sampling locations were selected: S1, located upstream of the confluence with the Calimayo stream; S2, at the confluence point; and S3, downstream of it. Phytoplankton and epilithon samples were obtained, and various physical and chemical parameters were measured for both quantitative and qualitative analyses. The total algal richness comprised 83 species. Phytoplankton was composed of 79 species (14 exclusively found in this community), while 69 taxa (4 exclusive) were found in the epilithon samples. The epilithon exhibited greater diversity and evenness compared to the phytoplankton. Both communities displayed pollutant sensitive species at S1, which were replaced by more tolerant taxa downstream. Water at S1 was classified as sulfatated calcium-sodium water, with an alkaline pH, good oxygenation, low biochemical oxygen demand (BOD₅), medium-high electric conductivity (EC), and higher phycoflora diversity. Conversely, samples from S2 and S3 were classified as bicarbonated calcium-sodic water, showing a decreased in pH and EC, low dissolved oxygen (DO), higher BOD₅ values, lower nutritional content and less diversity. This study represents the first taxonomic research on the phycoflora of the Colorado River, highlighting the importance of considering both, biotic and abiotic, variables in river courses to achieve a comprehensive understanding of water quality.

Keywords: Ecological state; epilithon; phytoplankton.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas lóticos presentan un continuo deterioro en su calidad dado el crecimiento en la contaminación por la descarga de efluentes residuales municipales e industriales, la intensificación de la agricultura y ganadería, y la reducción de la capacidad de dilución de los ríos debido a la disminución de la escorrentía y la extracción del agua (Zandaryaa y Mateo Sagasta, 2018). La degradación de los ambientes lóticos no sólo limita la disponibilidad

de agua para el consumo humano y la biota que habita y se desarrolla en estos sistemas, también afecta a los ciclos biogeoquímicos a nivel global, por lo que es conveniente evaluar integralmente la salud ecológica de estos sistemas (Bojorge García y Cantoral Uriza, 2016; Taboada *et al.*, 2018).

El análisis de parámetros fisicoquímicos permite un conocimiento instantáneo del estado del agua, pero no aporta información directa sobre el estado de la vida acuática que se desarrolla en este medio (Samboni Ruiz *et al.*, 2007); mientras que, los métodos biológicos brindan esta información, pero no señalan nada acerca de los contaminantes responsables (Orozco *et al.*, 2005). Por estas razones, el análisis conjunto de variables fisicoquímicas y biológicas constituye la base para un análisis integral de la calidad del agua (Sánchez Abarca, 2020).

Las variables más empleadas para la valoración fisicoquímica del agua corresponden al pH, conductividad eléctrica (CE), temperatura, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), nitratos o amonio, fósforo total y sólidos suspendidos totales (Samboni Ruiz *et al.*, 2007). Sin embargo, su uso no debería ser generalizado ya que se podría terminar realizando juicios subjetivos si no se consideran otras variables. En el caso de los análisis biológicos de organismos acuáticos, la literatura revela que los macroinvertebrados y el fitoplancton son los dos grupos que a menudo se recomienda usar en evaluaciones de la calidad del agua (Domínguez y Fernández, 1998; Taboada, 2009, 2017).

El fitoplancton reúne los atributos necesarios para el biomonitoreo, ya que puede ser ampliamente utilizado a través de diversos parámetros: abundancia, diversidad específica, riqueza e índices de saprobiedad, de este modo el fitoplancton provee una medida directa de los impactos sobre el ecosistema (Seeligmann, 2000; Taboada *et al.*, 2018). Con el tiempo, ha aumentado también la importancia del empleo del epilíton en estudios de conservación, evaluación de impactos ambientales, propuestas de recuperación y manejo (McCormick y Stevenson, 1998; Montoya Moreno y Aguirre, 2013), ya que su crecimiento sésil sobre el sustrato no les permite evitar los contaminantes, y por tanto se adaptan al ambiente o perecen (Hering *et al.*, 2006; Montoya Moreno y Aguirre, 2013).

Todo lo mencionado denota la importancia de la taxocenosis algal para determinar el estado ecológico de los sistemas de aguas continentales. Asimismo, los estudios taxonómicos amplían el listado florístico de la región en estudio y son útiles como soporte de estudios de diversidad (Taboada *et al.*, 2018).

En función de lo antes expuesto el objetivo del presente trabajo fue evaluar el estado ecológico del río Colorado mediante el análisis integral de las taxocenosis algales y las variables fisicoquímicas en sitios ubicados antes y después de la recepción de efluentes industriales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El río Colorado es afluente del río Salí, principal curso de agua de la provincia de Tucumán. Este sistema se ubica entre los departamentos de Leales y Famaillá y pertenece a la cuenca Colorado-Famaillá, particularmente, a la subcuenca del río Colorado ubicada al norte de la misma. Nace de la confluencia de los ríos Colorado y Las Piedras y va recibiendo, en el sector de llanura, el aporte de numerosos arroyos. Entre ellos, su mayor tributario es el arroyo Calimayo (Fig. 1). A diferencia de los otros tributarios, este arroyo tiene un régimen permanente, ya que recibe los efluentes provenientes de una planta papelera, lo que hace que su caudal se vea incrementado varias veces en el año. Posteriormente, el río Colorado se une, antes de su confluencia con el río Salí, con el río Famaillá (Fernández, 2013).

La geología de la zona baja está caracterizada por afloramientos de rocas sedimentarias cretácicas (Formación Cadillal) y paleógenas (Formación Río Loro) compuestas por conglomerados y areniscas. Sobre estas secuencias se depositaron sedimentos neógenos correspondientes a la Formación Río Salí cuya sección inferior formada por limolitas y pelitas verdes con bancos de yeso e intercalaciones de areniscas aflora en la subcuenca del río Colorado (Fernández, 2013). En cuanto al clima, según la clasificación de Köppen (1931) la cuenca en estudio se halla caracterizada por el tipo climático Cwa, que corresponde un clima templado-cálido húmedo (subtropical), con veranos cálidos y lluviosos e inviernos secos. Los suelos son principalmente pertenecientes al orden Molisol y en menor medida al orden Entisol. En la zona pedemontana, los principales cambios de uso del suelo fueron el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y limón (*Citrus limon* L. Osbeck) y la presencia de ciudades y poblaciones rurales.

Muestreo de variables fisicoquímicas y biológicas

Se realizó la colecta de muestras bióticas y abióticas en la época de primavera del 2021 correspondiente al período húmedo del NOA. Se seleccionaron 3 sitios de muestreo, ubicados en la cuenca baja del río Colorado, con el objetivo de tener representado un sitio con bajo grado de alteración (S1, previo a la unión con el arroyo Calimayo), un sitio con un impacto directo (S2, en la confluencia con el Calimayo) y un sitio posterior al mismo (S3, aguas debajo de la unión) (Figs. 1 y 2, Tabla 1).

Variables abióticas

Se midieron *in situ*: temperatura del agua, pH y conductividad eléctrica (CE), utilizando un analizador multiparamétrico digital portátil para agua, Water Quality Metre 850081, Sper Scientific. En frascos tipo winkler se

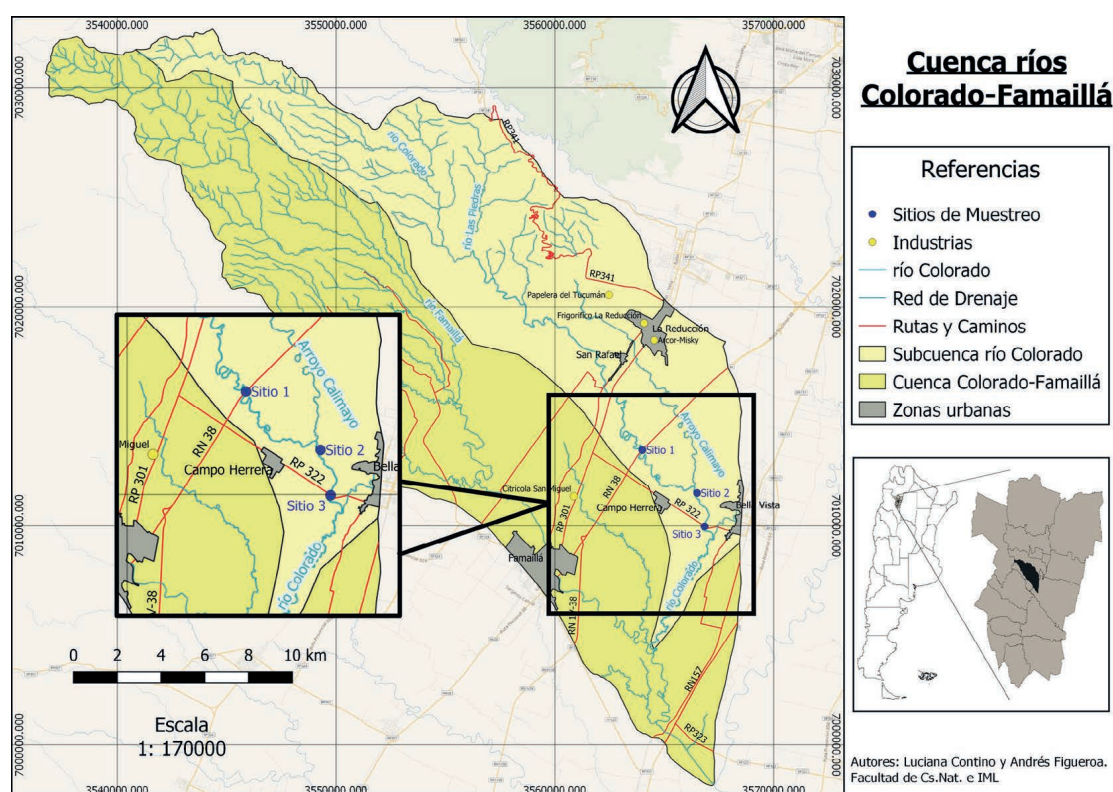


Fig. 1. Mapa de la Cuenca de los ríos Colorado-Famaillá, con la ubicación de los sitios de muestreo en la subcuenca del río Colorado.

Fig. 1. Map of the Colorado-Famaillá River Basin, with the location of the sampling sites in the Colorado River sub-basin.



Fig. 2. Fotografías de los sitios de muestreo, de izquierda a derecha: S1, S2 y S3.

Fig. 2. Photographs of the sampling sites, from left to right: S1, S2 and S3.

colectó una muestra de agua por sitio para la determinación del oxígeno disuelto (OD) las cuales se fijaron con dos reactivos: 1- Sulfato de Manganeso (MnSO_4) y el reactivo 2-Ioduro de Potasio (KI) más Hidróxido de Sodio (NaOH) en el campo. Asimismo, se extrajeron dos muestras por sitio en recipientes plásticos, uno de 500 mL y otro de 1500 mL, sumergiéndolos totalmente en el curso de agua para evitar el ingreso de aire y la formación de burbujas, los que fueron trasladados al laboratorio en frío para su posterior tratamiento para el análisis de iones mayoritarios (recipiente de

Tabla 1. Sitios y coordenadas geográficas del río Colorado.**Table 1.** Colorado River Sites and Geographic Coordinates.

Sitio	Ubicación	Coordenadas
Sitio 1	Intersección del río Colorado con la Ruta Nacional 38	27° 00' 23,58''S 65° 21' 17,20''O
Sitio 2	Ubicado en la cercanía de la confluencia del arroyo Calimayo próximo a la Ruta Provincial 322	27° 01' 25,57''S 65° 19' 47,28''O
Sitio 3	Aguas abajo sobre la RP 322	27° 02' 15,52'' S 65° 19' 34,53''O

500 mL), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), compuestos nitrogenados y fosfato (recipiente de 1500 mL). El control y aseguramiento de la calidad de los procedimientos de toma de muestras de agua se realizaron de acuerdo con normas IRAM 29012-14 (calidad ambiental - calidad del agua: muestreo: parte 14: directivas sobre aseguramiento de la calidad del muestreo y manipulación de agua). La metodología que se siguió para los análisis fisicoquímicos fue la recomendada en APHA (2005).

La concentración de los diferentes iones se determinó utilizando un cromatógrafo iónico marca Metrohm, modelo 881 Compact IC pro. La turbidez se midió utilizando un turbidímetro marca Hach.

Con los resultados de los iones mayoritarios se clasificaron las aguas estudiadas mediante la elaboración de diagramas de Piper-Hill-Langelier y Stiff, utilizando el Software Diagrammes (Simler, 2022).

Variables bióticas

Las muestras cualitativas del fitoplancton se obtuvieron con una red de plancton de 20 μm de malla expuesta a la corriente durante 20 minutos, fueron fijadas *in situ* con formaldehído al 4%. Para la identificación de las especies se utilizó un microscopio binocular marca Zeiss, los taxones fueron fotografiados con un software incorporado al microscopio y la bibliografía empleada fue mencionada en diversas publicaciones (Taboada, 2017; Taboada *et al.*, 2015, 2018 y 2021).

Por otro lado, para el estudio cuantitativo del fitoplancton se tomaron dos muestras de agua por sitio, sumergiendo envases plásticos de 250 ml fijándolas *in situ* con formaldehído al 4%. La cuantificación se realizó bajo microscopio invertido siguiendo la metodología de Utermöhl (1958) se contó un número fijo de campos elegidos al azar, aceptándose un error de conteo de hasta 20%.

En el caso del epilíton se siguió la metodología de Lobo *et al.* (1995). En cada sitio se recogieron al azar, cinco rocas expuestas a la corriente. Para cada roca, se utilizó una plantilla de acetato y se removió con cepillo una superficie conocida (5 x 4 cm). Los raspados fueron colocados en un envase con 100 mL de agua destilada y conservado con el fijador correspondiente, para llevar a cabo posteriormente los análisis cualitativos y cuantitativos.

Los estudios cualitativos de las muestras fueron llevados a cabo en el laboratorio utilizando un microscopio óptico Zeiss con cámara fotográfica incorporada. Para la clasificación taxonómica de divisiones se siguió a Lee (2018) con modificaciones tomadas de Algaebase (Guiry y Guiry, 2024), en el caso de cianobacterias se siguió a Hauer y Komárek (2018). Los géneros y especies se determinaron según bibliografía específica y se actualizaron con la base de datos AlgaeBase (Guiry y Guiry, 2023). Para el estudio de las diatomeas se realizó una limpieza previa y montaje en resina de los frústulos, de acuerdo con Battarbee (1986). Para el resto de los grupos algales se realizaron preparados mediante alícuotas de las muestras y se observaron en el microscopio. Para el estudio cuantitativo del fitoplancton, se siguió la metodología de Utermöhl (1958). Se realizó el recuento bajo un microscopio invertido Zeiss IDO2. Se aceptó un error no mayor al 20% (Mirande, 2001; Taboada, 2009). Para el análisis cuantitativo del epilíton, se utilizó la técnica propuesta por Villafañe y Reid (1995), reemplazando la cámara de Sedgwick-Rafter por un cubreobjetos de 24 x 36 mm (Luque, 1998).

Cabe mencionar que no se obtuvieron muestras epilíticas en el sitio 2 por ausencia del sustrato sobre el que se desarrollan.

Para analizar la diversidad y la uniformidad de las comunidades fitoplanctónicas y epilíticas se calculó el índice de diversidad de Shannon y Weaver (1963) y el índice de equidad de Pielou (1966), respectivamente. Además, se calcularon los números efectivos de especies, también conocidos como la diversidad real (D), para obtener el número de especies igualmente comunes de cada comunidad, que es una medida correcta de la diversidad, utilizando como orden $q=1$ (Moreno *et al.*, 2011; Jost y González Oreja, 2012). La diversidad se representó gráficamente con curvas de rango-abundancia, utilizando las 15 especies más abundantes de cada sitio, con el programa Microsoft Excel 2016.

RESULTADOS

Variables abióticas

En la tabla 2 se presentan los resultados de los parámetros fisicoquímicos. Con relación al oxígeno disuelto, el menor tenor se midió en S2 con 1,3 mg O₂/L y la mayor concentración se registró en S1 con 6,8 mg O₂/L, mientras que la DBO₅ tuvo su mínimo valor en el sitio 1 (0,69 mg O₂/L) y el máximo en S2 (10,73 mg O₂/L). En el sitio 3 se observó un incremento en el OD (2,8 mg O₂/L) y una disminución de la DBO₅ (5,76 mg O₂/L) con relación al S2.

Los nitratos disminuyen a lo largo del curso con valores de 1,19 mg/L para el sitio 1, 0,29 mg/L para el sitio 2 y 0,08 mg/L para el sitio 3. Los nitritos, en cambio, aumentan con valores de 0,009, 0,016 y 0,036 mg/L para los puntos 1, 2 y 3 respectivamente. Este incremento también se midió en el amonio, obteniéndose un valor mínimo de 0,052 mg/L en el sitio 1 y un

Tabla 2. Valores de parámetros fisicoquímicos obtenidos en cada uno de los sitios de muestreos.
Table 2. Values of physicochemical parameters obtained in each of the sampling sites.

Variables fisicoquímicas	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
pH	8,25	7,72	7,25
Temperatura [°C]	30,1	24,5	22,5
C.E. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	1170	1054	952
Turbidez (NTU)	3,59	12,5	4,69
OD [$\text{mg O}_2/\text{L}$]	6,8	1,3	2,8
DBO ₅ [$\text{mg O}_2/\text{L}$]	0,69	10,73	5,76
Cl ⁻ [mg/L]	101,85	106,88	90,40
SO ₄ ²⁻ [mg/L]	289,66	108,22	109,10
Na ⁺ [mg/L]	115,06	95,51	88,28
K ⁺ [mg/L]	6,53	8,30	8,01
Ca ²⁺ [mg/L]	113,23	99,39	89,69
Mg ²⁺ [mg/L]	19,90	15,14	14,09
Alcalinidad [$\text{mg CaCO}_3/\text{L}$]	175,02	290,03	255,03
NO ₃ ⁻ [mg/L]	1,19	0,29	0,08
NO ₂ ⁻ [mg/L]	0,009	0,016	0,036
NH ₄ ⁺ [mg/L]	0,05	0,09	0,18
PO ₄ ³⁻ [mg/L]	0,77	2,82	2,27
Relación N/P	2,75	0,34	0,50

valor máximo de 0,179 mg/L en el sitio 3. Los fosfatos, presentaron registros de 0,77 mg/L en el sitio 1, con un aumento en el sitio 2 a un valor de 2,82 mg/L y disminuyen, pero no de forma significativa en el sitio 3 a 2,27 mg/L (Tabla 2). En cuanto a la relación de N/P el mayor valor se obtuvo en el sitio 1 y bajó luego de la unión con el Calimayo.

Con relación a los iones, las aguas del S1 según el diagrama de Piper-Hill-Langelier fueron sulfatadas cálcicas-sódicas, mientras que en S2 y S3 se clasificaron como bicarbonatadas cálcicas-sódicas (Fig. 3). En los cationes, se destacó el sodio y el calcio con 115 mg/L y 113 mg/L respectivamente en el S1. En cuanto a los aniones, la alcalinidad total ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$) sobresalió con 290 mg CaCO_3/L en el sitio 2, seguido por el ion sulfato (289,66 mg/L, S1) y, por último, por el cloruro con 106,88 mg/L en el S2. Estas concentraciones se pueden apreciar en los diagramas de Stiff (Fig. 4).

Variables bióticas

En la Tabla 3 se detalla la riqueza tanto en el fitoplancton como en el epilíton. En cuanto a la taxocenosis fitoplanctónica, en el sitio 1 se observó la menor riqueza con 33 especies, el sitio 2 presentó la máxima riqueza con 43 especies y en el sitio 3 se determinaron 39 organismos algales. En total se observaron 80 taxones algales correspondientes a las clases: Bacillariophyceae (40), Cyanobacteria (19), Chlorophyceae (10), Ulvophyceae (1), Zygnematophyceae (4), Euglenophyceae (3), Rhodophyceae (2) y Dinophyceae (1) (Fig. 5). En el caso del epilíton, en el sitio 1 se observó una riqueza de 46 especies y el sitio 3 de 49 especies. En total se observaron 68 taxones

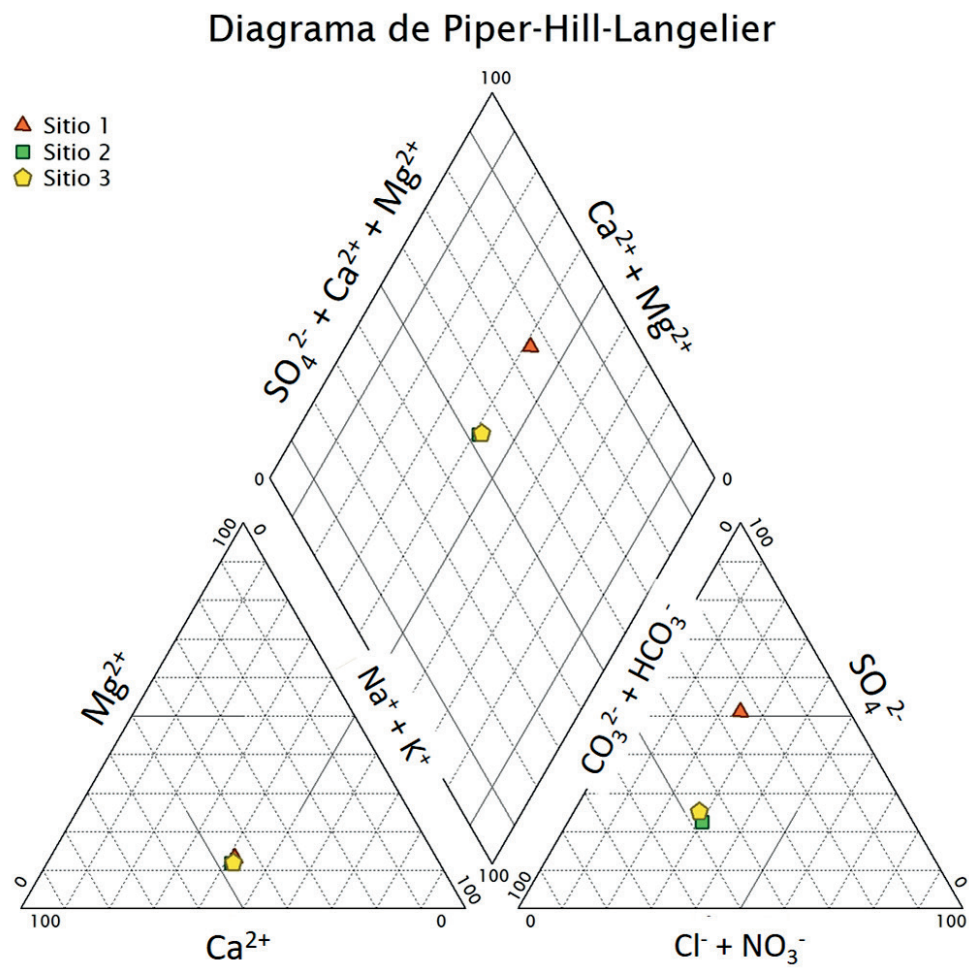


Fig. 3. Diagrama de Piper-Hill-Langelier para los sitios muestreados.

Fig. 3. Piper-Hill-Langelier diagram for the sampled sites.

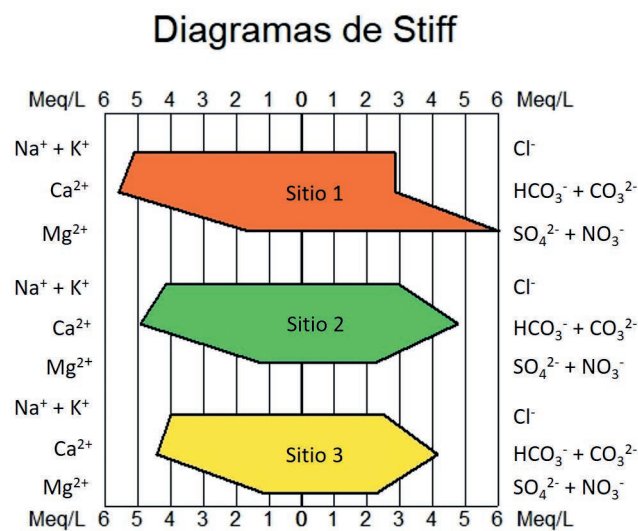


Fig. 4. Diagrama de Stiff de los sitios analizados.

Fig. 4. Stiff diagram of the analyzed sites.

Tabla 3. Riqueza Total (Fitoplancton y Epilíton) encontrada en los distintos sitios de muestreo.
Table 3. Total Richness (Phytoplankton and Epilíton) found in the different sampling sites.

Variables fisicoquímicas	Cód.	S1-Fit.	S1-Ep.	S2-Fit.	S3-Fit.	S3-Ep.
Clase BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Achnanthes inflata</i> (Kützinger) Grunow	AIN				x	x
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	AGR	x				
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	CPL	x	x	x	x	x
<i>Craticula ambigua</i> (Ehrenberg) D.G. Mann	CAM	x	x	x	x	x
<i>Craticula cuspidata</i> (Kützinger) D.G. Mann	CCU	x	x	x	x	x
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützinger	CME	x	x	x	x	x
<i>Cymbella affinis</i> Kützinger	CAF		x			
<i>Cymbella excisa</i> Kützinger	CEX	x		x	x	
<i>Cymbella turgidula</i> Grunow	CTU	x	x	x	x	x
<i>Diatoma vulgaris</i> Bory	DVU	x	x	x	x	x
<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg	GGR	x	x	x		x
<i>Gomphonema lagenula</i> Kützinger	GLA	x	x	x	x	x
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützinger) Kützinger	GPA		x		x	x
<i>Gomphonema subclavatum</i> (Grunow) Grunow	GSU		x		x	x
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg	STR	x				x
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow	HAM	x		x	x	x
<i>Iconella tenera</i> (W. Gregory) Ruck & Nakov	ITE	x		x		
<i>Luticola</i> sp.	LUT	x	x	x		x
<i>Melosira varians</i> Agardh	MVA	x	x	x		
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützinger	NCR			x	x	x
<i>Navicula radiosa</i> Kützinger	NRA	x	x	x	x	x
<i>Navicula tripunctata</i> (O. Müller) Bory	NTR		x	x		x
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützinger) W. Smith	NAC			x	x	
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow	NAM	x	x			x
<i>Nitzschia inscospicua</i> Grunow	NIS		x		x	x
<i>Nitzschia intermedia</i> Hantzsch ex Cleve & Grunow	NIN	x	x	x	x	x
<i>Nitzschia palea</i> (Kützinger) W. Smith	NPA	x	x	x	x	x
<i>Nitzschia</i> sp.	NIT		x		x	
<i>Orthoseira roeseana</i> (Rabenhorst) Pfitzer	ORO	x			x	x
<i>Pinnularia gibba</i> Ehrenberg	PGI	x	x	x	x	x
<i>Pinnularia interrupta</i> W. Smith	PIN			x	x	
<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehrenberg) Cleve	PMI	x				
<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg	PVI			x		
<i>Placoneis elginensis</i> (Gregory) Cox	PEL	x	x	x	x	x
<i>Planothidium frequentissimum</i> (Lange-Bertalot) Round & Bukhtiyarova	PFR	x	x	x	x	x
<i>Reimeria uniseriata</i> Sala, Guerrero & Ferrario	RUN	x	x	x		x
<i>Rhopalodia brebissonii</i> Krammer	RBR		x	x		
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller	RGI	x	x	x	x	x
<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehrenberg) O. Müller	RGB	x		x		
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	UUL	x	x	x	x	x
Div. CHLOROPHYTA						
Clase CHLOROPHYCEAE						
<i>Chaetophora draparnaldioides</i> Kützinger	CDR	x	x			x
<i>Hydrodictyon</i> sp.	HYD	x				
<i>Oedogonium</i> sp.	OED	x	x	x		
<i>Pandorina morum</i> (Müller) Bory	PMO				x	
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	PDU	x	x	x		
<i>Scenedesmus bijugus</i> (Turpin) Lagerheim	SBI			x		x
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson	SQU	x	x	x	x	x
<i>Tetradismus lagerheimii</i> M. J. Wynne & Guiry	TLA					x
<i>Tetradismus obliquus</i> (Turpin) M. J. Wynne	TOB	x	x	x	x	x
<i>Uva</i> sp.	UVA			x	x	

Tabla 3. Riqueza Total (Fitoplancton y Epilíton) encontrada en los distintos sitios de muestreo.
Table 3. Total Richness (Phytoplankton and Epilíton) found in the different sampling sites.

Variables fisicoquímicas	Cód.	S1-Fit.	S1-Ep.	S2-Fit.	S3-Fit.	S3-Ep.
Clase ULVOPHYCEAE						
<i>Cladophora</i> sp.	CLA	x	x			x
Div. CHAROPHYTA						
Clase ZYGNEMATOPHYCEAE						
<i>Closterium diana</i> Ehrenberg ex Ralfs	CDI	x	x	x	x	x
<i>Closterium pseudolunula</i> O. Borge	CPS	x	x	x	x	x
<i>Spirogyra</i> sp.	SPI	x			x	x
<i>Staurostrum</i> sp.	STA		x	x	x	
Clase EUGLENOPHYCEAE						
<i>Euglena</i> sp.1	EUU	x	x		x	x
<i>Euglena</i> sp. 2	EUD	x	x	x	x	
<i>Euglena</i> sp. 3	EUT	x		x	x	
<i>Trachelomonas</i> sp.	TRA		x			
Clase CYANOBACTERIA						
<i>Chroococcus minutus</i> (Kützinger) Nägeli	CMI		x		x	x
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kützinger) Nägeli	CTR	x	x	x	x	
<i>Cyanosarcina spectabilis</i> (Geitler) Kováčik	CSC	x	x	x	x	x
<i>Dolichospermum</i> sp. 1	DOU	x	x	x	x	x
<i>Dolichospermum</i> sp. 2	DOD	x				
<i>Limnographis birgei</i> (G.M.Smith) J.Komárek et al.	LBI		x	x	x	x
<i>Lyngbya</i> sp. 1	LYN		x	x		
<i>Merismopedia glauca</i> (Ehrenberg) Nägeli	MGL	x	x	x	x	x
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann	MTE	x		x		x
<i>Nostoc commune</i> Vaucher ex Bornet & Flahault	NCO	x		x	x	x
<i>Oscillatoria</i> sp. 1	OSU	x				x
<i>Oscillatoria</i> sp. 2	OSD		x	x	x	x
<i>Oscillatoria</i> sp. 3	OST			x	x	x
<i>Oscillatoria</i> sp. 4	OSC	x	x	x	x	x
<i>Oscillatoria tenuis</i> Agardh ex Gomont	OTE	x	x			x
<i>Phormidium chalybeum</i> (Mertens ex Gomont) Anagnostidis & Komárek	PCH	x	x	x	x	x
<i>Planktothrix geitleri</i> (Kisselev) Anagnostidis & Komárek	PGE				x	x
<i>Pseudanabaena</i> sp.	PSE		x	x	x	
<i>Spirulina major</i> Kützinger ex Gomont	SMA	x	x	x	x	
Clase RHODOPHYCEAE						
<i>Batrachospermum</i> sp. (estado Chantransia)	CHA	x	x	x	x	x
Clase DINOPHYCEAE						
<i>Ceratium hirundinella</i> (O. F. Müller) Dujardin	CHI	x				

algales correspondientes a las clases Bacillariophyceae (33), Cyanophyceae (18), Chlorophyceae (12), Euglenophyceae (3) y Rhodophyceae (2) (Fig. 6). En las figuras 7 y 8 se presentan microfotografías de algunos de los taxones registrados para el río Colorado.

Los resultados de la densidad del fitoplancton (ind/mL) se presentan en la Tabla 4. Los taxones con mayor densidad fueron: *Nitzschia palea* (302 ind/mL), *Cyclotella meneghiniana* (119 ind/mL), *Cocconeis placentula* (54 ind/mL), *Placoneis elginensis* (36 ind/mL) pertenecientes al grupo de

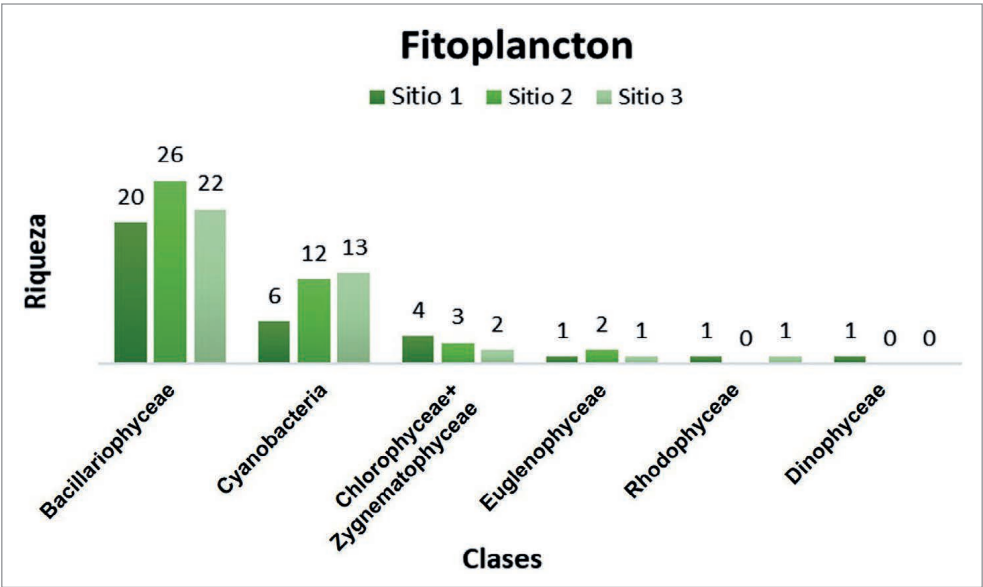


Fig. 5. Número de especies de cada clase encontradas en los sitios de muestreo de fitoplancton.

Fig. 5. Number of species of each class found in the phytoplankton sampling sites.

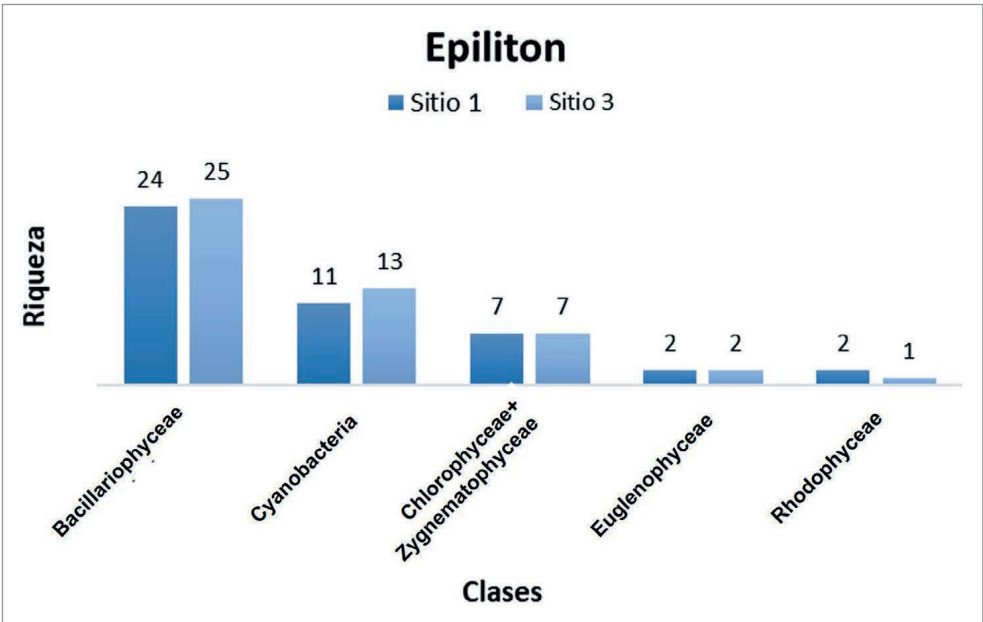


Fig. 6. Número de especies de cada clase encontradas en los sitios de muestreo de epilíton.

Fig. 6. Number of species of each class found in the epilithon sampling sites.

Tabla 4. Densidad Fitoplanctónica registrada en los tres sitios de muestreo.**Table 4.** Phytoplankton density recorded at the three sampling sites.

Taxones	Cód.	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Den. Tot. [ind/ml]
Clase BACILLARIOPHYCEAE					
<i>Cocconeis placentula</i>	CPL	30	15	9	54
<i>Craticula ambigua</i>	CAM	6	11	4	22
<i>Craticula cuspidata</i>	CCU	2	5	11	19
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	CME	16	57	47	119
<i>Cymbella excisa</i>	CEX	2	1	0	4
<i>Diatoma vulgaris</i>	DVU	0	1	0	1
<i>Gomphonema lagenula</i>	GLA	2	5	22	29
<i>Luticola</i> sp.	LUT	1	1	0	2
<i>Melosira varians</i>	MVA	1	1	0	2
<i>Navicula cryptocephala</i>	NCR	0	1	5	6
<i>Navicula radiosa</i>	NRA	9	21	4	34
<i>Navicula tripunctata</i>	NTR	0	3	0	3
<i>Nitzschia acicularis</i>	NAC	0	0	1	1
<i>Nitzschia intermedia</i>	NIN	1	9	13	23
<i>Nitzschia palea</i>	NPA	10	101	191	302
<i>Pinnularia gibba</i>	PGI	0	1	8	10
<i>Placoneis elginensis</i>	PEL	23	8	5	36
<i>Planothidium frequentissimum</i>	PFR	1	1	3	5
<i>Reimeria uniseriata</i>	RUN	3	0	0	3
<i>Rhopalodia gibba</i>	RGI	0	1	1	1
<i>Rhopalodia gibberula</i>	RGB	0	1	0	1
<i>Surirella librile</i>	SLI	0	1	0	1
<i>Surirella ovalis</i>	SOV	12	2	0	14
<i>Ulnaria ulna</i>	UUL	18	8	6	32
Clase CYANOBACTERIA					
<i>Chroococcus minutus</i>	CMI	0	0	1	1
<i>Chroococcus turgidus</i>	CTR	0	2	2	4
<i>Cyanosarcina spectabilis</i>	CSC	3	0	4	7
<i>Dolichospermum</i> sp. 1	DOU	2	2	1	6
<i>Kamptenema jasorvense</i>	KJA	0	7	12	19
<i>Limnoraphis birgei</i>	LBI	0	69	43	112
<i>Lyngbya</i> sp.	LYN	0	90	0	90
<i>Merismopedia glauca</i>	MGL	2	2	2	7
<i>Nostoc commune</i>	NCO	1	8	13	22
<i>Oscillatoria</i> sp. 2	OSD	0	15	46	61
<i>Oscillatoria</i> sp. 3	OST	0	1	0	1
<i>Oscillatoria tenuis</i>	OTE	0	0	2	2
<i>Phormidium chalybeum</i>	PCH	13	12	9	34
<i>Pseudanabaena</i> sp.	PSE	0	7	2	9
<i>Spirulina major</i>	SMA	1	0	1	2
Clase CHLOROPHYCEAE					
<i>Oedogonium</i> sp.	OED	3	0	0	3
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	SQU	1	0	0	1
<i>Tetradasmus obliquus</i>	TOB	1	0	0	1
<i>Uva</i> sp.	UVA	0	1	0	1
Clase EUGLENOPHYCEAE					
<i>Euglena</i> sp. 1	EUU	0	6	6	11
<i>Euglena</i> sp. 2	EUD	1	2	0	3
<i>Euglena</i> sp. 3	EUT	0	3	1	4
Clase RHODOPHYCEAE					
<i>Batrachospermum</i> sp.	BAR	0	0	2	2

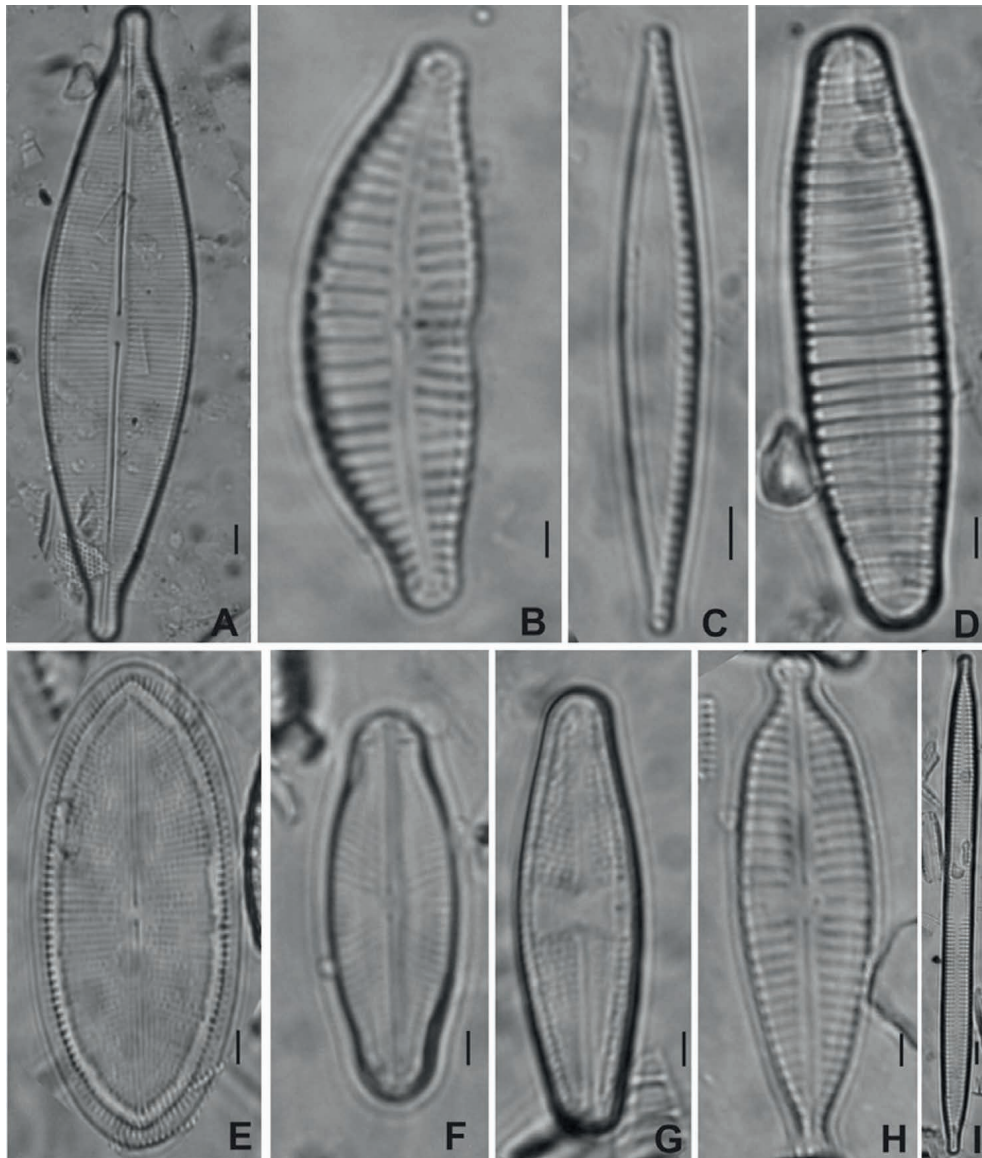


Fig. 7. Bacillariophyceae (Diatomeas): A) *Craticula cuspidata*. B) *Cymbella excisa*. C) *Nitzschia palea*. D) *Diatoma vulgaris*. E) *Cocconeis placentula*. F) *Sellaphora pupula*. G) *Luticola* sp. H) *Gomphonema parvulum*. I) *Ulnaria ulna*. Escala: 10 µm.

Fig. 7. Bacillariophyceae (Diatoms): A) *Craticula cuspidata*. B) *Cymbella excisa*. C) *Nitzschia palea*. D) *Diatoma vulgaris*. E) *Cocconeis placentula*. F) *Sellaphora pupula*. G) *Luticola* sp. H) *Gomphonema parvulum*. I) *Ulnaria ulna*. Scale: 10 µm.

las diatomeas y *Limnorphis birgei* (112 ind/mL), *Oscillatoria* sp. 2 (61 ind/mL) y *Phormidium chalybeum* (34 ind/mL) del grupo de las cianobacterias. El resto de las clases presentaron taxones con densidades menores a 5 ind/ml con la excepción de *Euglena* sp.1 (11 ind/mL).

En la Tabla 5 se representan las densidades (org/cm²) del epilíton de los distintos sitios de muestreos. La densidad fluctuó entre 28 y 76.833 org/cm². Los taxones con mayores densidades fueron: *Gomphonema lagenula* (76.833 org/cm²), *Craticula cuspidata* (19.028 org/cm²), *Cyclotella meneghiniana* (10.583 org/cm²), *Limnorphis birgei* (10.556 org/cm²) y *Oscillatoria* sp. 2

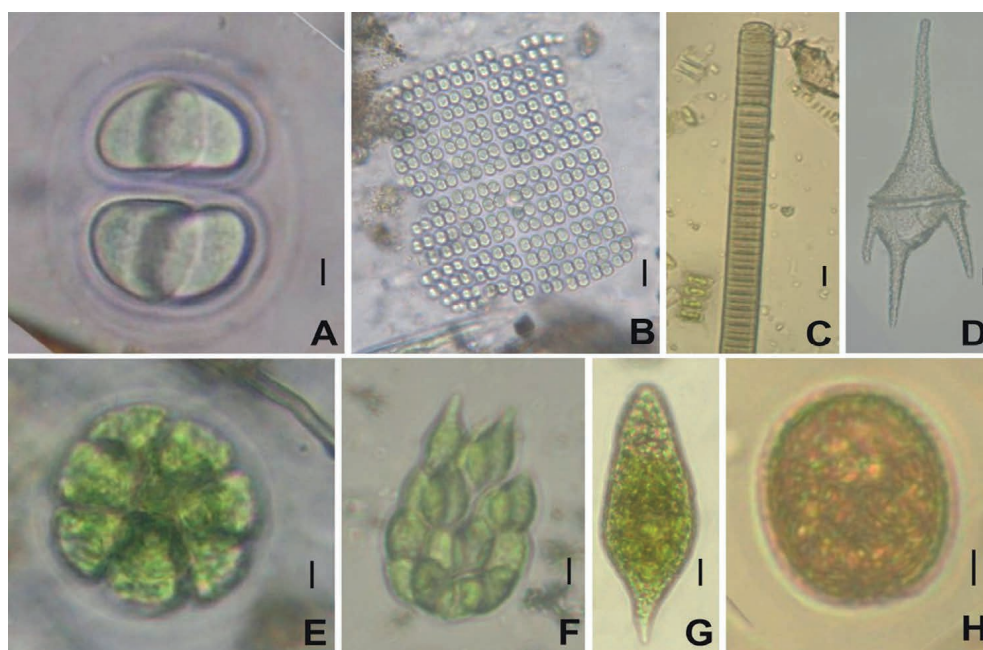


Fig. 8. Cyanobacteria (Cianobacterias): A) *Chroococcus turgidus*. B) *Merismopedia glauca* y C) *Oscillatoria* sp. 1. Dinophyceae (Dinoflagelados) D) *Ceratium hirundinella*. Chlorophyceae (Algas verdes): E) *Pandorina morum*. F) *Uva* sp. Euglenophyceae (Euglenoides): G) *Euglena* sp. 2. H) *Trachelomonas* sp. Escala: 10 μm .

Fig. 8. Cyanobacteria (Cianobacterias): A) *Chroococcus turgidus*. B) *Merismopedia glauca* y C) *Oscillatoria* sp. 1. Dinophyceae (Dinoflagelados) D) *Ceratium hirundinella*. Chlorophyceae (Algas verdes): E) *Pandorina morum*. F) *Uva* sp. Euglenophyceae (Euglenoides): G) *Euglena* sp. 2. H) *Trachelomonas* sp. Scale: 10 μm .

(9.972 org/cm²). El resto de los taxones obtuvieron valores de densidades entre 28 y 5.556 org/cm².

Para el fitoplancton los valores del índice de Shannon fueron decrecientes a lo largo del curso de agua, al igual que la diversidad, donde el S1 y el S2 tuvieron una diferencia del 15%, el S2 y el S3 del 25% y el S1 y el S3 del 45% (Fig. 9). En el caso del epilíton, el índice fue mayor en el sitio 1 y menor en el sitio 3 y la diferencia de diversidad real entre ambos fue del 72% (Fig. 10). El mismo comportamiento se evidenció con los valores del índice de equidad, lo que también se vio representado en las curvas de rango-abundancia generadas (Fig. 9 y 10).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Al analizar espacialmente los cambios en las variables físicas, químicas y biológicas, se evidenció un impacto negativo en la calidad de agua del río Colorado generado por el aporte del arroyo Calimayo.

Las mediciones de temperatura del agua, pH y alcalinidad presentan un patrón que concuerda con lo descrito por Fernández (2013) en este mismo sistema lótico. La disminución del OD y el aumento del DBO₅ coinciden con la confluencia del arroyo Calimayo, lo que estaría relacio-

Tabla 5. Densidad Epilitica registrada en los dos sitios de muestreo.

Table 5. Epilithic density recorded in the two sampling sites.

Taxones	Cód.	Sitio 1	Sitio 3	Den. Tot. [org/cm ²]
Clase BACILLARIOPHYCEAE				
<i>Cocconeis placentula</i>	CPL	4083	1472	5556
<i>Craticula ambigua</i>	CAM	806	500	1306
<i>Craticula cuspidata</i>	CCU	556	18472	19028
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	CME	1056	9528	10583
<i>Cymbella turgidula</i>	CTU	278	111	389
<i>Diatoma vulgare</i>	DVU	56	56	111
<i>Gomphonema gracile</i>	GGR	167	1139	1306
<i>Gomphonema lagenula</i>	GLA	917	75917	76833
<i>Gomphonema parvulum</i>	GPA	28	111	139
<i>Gomphonema subclavatum</i>	GSU	28	3583	3611
<i>Hantzschia amphioxys</i>	HAM	0	111	111
<i>Luticola</i> sp.	LUT	111	28	139
<i>Melosira varians</i>	MVA	2333	0	2333
<i>Navicula radiosa</i>	NRA	1583	2389	3972
<i>Navicula tripunctata</i>	NTR	417	28	444
<i>Nitzschia amphibia</i>	NAM	444	1000	1444
<i>Nitzschia inconspicua</i>	NIS	167	889	1056
<i>Nitzschia intermedia</i>	NIN	389	1861	2250
<i>Nitzschia palea</i>	NPA	639	5472	6111
<i>Orthoseira roseana</i>	ORO	0	28	28
<i>Pinnularia gibba</i>	PGI	0	2222	2222
<i>Placoneis elginensis</i>	PEL	611	250	861
<i>Planothidium frequentissimum</i>	PFR	361	28	389
<i>Reimeria uniseriata</i>	RUN	250	56	306
<i>Rhopalodia gibba</i>	RGI	56	83	139
<i>Surirella ovalis</i>	SOV	500	83	583
<i>Ulnaria ulna</i>	UUL	1917	889	2806
Clase CYANOBACTERIA				
<i>Chroococcus minutus</i>	CMI	0	333	333
<i>Chroococcus turgidus</i>	CTR	139	0	139
<i>Cyanosarcina spectabilis</i>	CSC	833	1639	2472
<i>Dolichospermum</i> sp. 1	DOU	0	111	111
<i>Limnorphis birgei</i>	LBI	667	9889	10556
<i>Lyngbya</i> sp.	LYN	222	0	222
<i>Merismopedia glauca</i>	MGL	28	861	889
<i>Merismopedia tenuissima</i>	MTE	0	83	83
<i>Nostoc commune</i>	NCO	0	28	28
<i>Oscillatoria</i> sp. 1	OSU	0	56	56
<i>Oscillatoria</i> sp. 2	OSD	28	9944	9972
<i>Oscillatoria</i> sp. 3	OST	0	1194	1194
<i>Oscillatoria</i> sp. 4	OSC	56	583	639
<i>Oscillatoria tenuis</i>	OTE	83	250	333
<i>Phormidium chalybeum</i>	PCH	389	778	1167
<i>Planktothrix geitleri</i>	PGE	0	28	28
<i>Pseudanabaena</i> sp.	PSE	194	0	194
<i>Spirulina major</i>	SMA	83	0	83
Clase CHLOROPHYCEAE				
<i>Chaetophora draparnaldioides</i>	CDR	28	611	639
<i>Cladophora</i> sp.	CLA	1694	28	1722
<i>Oedogonium</i> sp.	OED	2333	0	2333
<i>Scenedesmus bijugus</i>	SBI	0	417	417
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	SQU	83	56	139
Clase ZYGNEMATOPHYCEAE				
<i>Closterium pseudolunula</i>	CPS	56	361	417
<i>Spirogyra</i> sp.	SPI	0	56	56
<i>Staurostrum</i> sp.	STA	56	0	56
<i>Tetrademus obliquus</i>	TOB	111	194	306
Clase EUGLENOPHYCEAE				
<i>Euglena</i> sp. 2	EUD	28	0	28
<i>Trachelomonas</i> sp.	TRA	28	0	28
Clase RHODOPHYCEAE				
<i>Batrachospermum</i> sp.	BAR	139	1944	2083

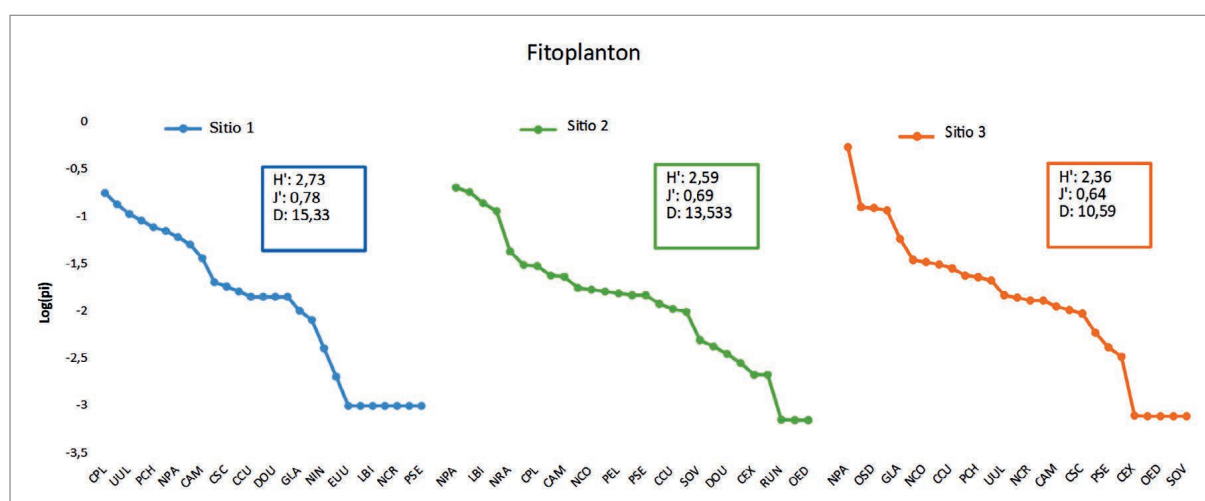


Fig. 9. Curvas Rango-Abundancia del Fitoplancton. S': Índice de Shannon. J': Índice de Pielou. D: Diversidad Real. Códigos de especies: CAM: *Craticula ambigua*; CCU: *Craticula cuspidata*; CEX: *Cymbella excisa*; CME: *Cyclotella meneghiniana*; CPL: *Cocconeis placentula*; CSC: *Cyanosarcina spectabilis*; DOU: *Dolichospermum* sp. 1; EUU: *Euglena* sp. 1; GLA: *Gomphonema lagenula*; LBI: *Limnoraphis birgei*; LYN: *Lyngbya* sp.; MGL: *Merismopedia glauca*; NCO: *Nostoc commune*; NCR: *Navicula cryptocephala*; NIN: *Nitzschia intermedia*; NPA: *Nitzschia palea*; NRA: *Navicula radiosa*; OED: *Oedogonium* sp.; OSC: *Oscillatoria* sp. 4; OSD: *Oscillatoria* sp. 2; PCH: *Phormidium chalybeum*; PEL: *Placoneis elginensis*; PGI: *Pinnularia gibba*; PSE: *Pseudanabaena* sp.; RUN: *Reimeria uniseriata*; SOV: *Surirella ovalis*; UUL: *Ulnaria ulna*.

Fig. 9. Phytoplankton Range-Abundance Curves. S': Shannon Index. J': Pielou Index. D: Real Diversity. Species codes: CAM: *Craticula ambigua*; CCU: *Craticula cuspidata*; CEX: *Cymbella excisa*; CME: *Cyclotella meneghiniana*; CPL: *Cocconeis placentula*; CSC: *Cyanosarcina spectabilis*; DOU: *Dolichospermum* sp. 1; EUU: *Euglena* sp. 1; GLA: *Gomphonema lagenula*; LBI: *Limnoraphis birgei*; LYN: *Lyngbya* sp.; MGL: *Merismopedia glauca*; NCO: *Nostoc commune*; NCR: *Navicula cryptocephala*; NIN: *Nitzschia intermedia*; NPA: *Nitzschia palea*; NRA: *Navicula radiosa*; OED: *Oedogonium* sp.; OSC: *Oscillatoria* sp. 4; OSD: *Oscillatoria* sp. 2; PCH: *Phormidium chalybeum*; PEL: *Placoneis elginensis*; PGI: *Pinnularia gibba*; PSE: *Pseudanabaena* sp.; RUN: *Reimeria uniseriata*; SOV: *Surirella ovalis*; UUL: *Ulnaria ulna*.

nado con la recepción de materia orgánica y el consecuente aumento en la degradación de la misma por parte de los organismos. También se observa cómo aguas abajo, los valores de ambos parámetros comienzan a mejorar nuevamente, lo que nos estaría indicando una posible recuperación del sistema. Estos resultados se relacionan con lo descrito para el río Colorado y para el río Famaillá (Fernández, 2013) y para el Arroyo Calimayo (Taboada, 2017; Taboada *et al.*, 2018). Es importante mencionar que Weiner (2008), afirma que una DBO₅ de 5 mg O₂/L en una corriente de movimiento lento, como es el caso de nuestros sitios de muestreo ubicados en zonas de llanura, podría ser suficiente para producir condiciones anaeróbicas.

La turbidez también presentó un aumento en el S2 donde se percibió el agua con un color marrón y presencia de espuma blanca en superficie, característico de la presencia de efluentes de la papelería (Taboada, 2017). Mientras que la disminución de este parámetro entre el S2 y el S3 coincide con la mejora en los valores de OD y DBO₅ indicando una posible recuperación del sistema aguas abajo del vuelco del arroyo.

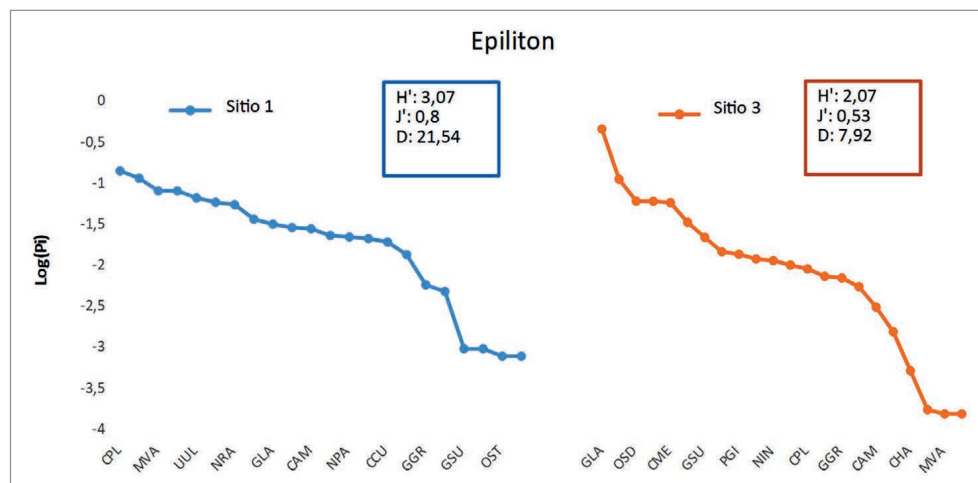


Fig. 10. Curva Rango-Abundancia del Epilimon. S': Índice de Shannon. J': Índice de Pielou. D: Diversidad Real. Códigos de especies: BAR: *Batrachospermum* sp.; CAM: *Craticula ambigua*; CCU: *Craticula cuspidata*; CHA: estado Chantransia (probablemente de *Batrachospermum* sp.); CLA: *Cladophora* sp.; CME: *Cyclotella meneghiniana*; CPL: *Cocconeis placentula*; CSC: *Cyanosarcina spectabilis*; GGR: *Gomphonema gracile*; GLA: *Gomphonema lagenula*; GSU: *Gomphonema subclavatum*; LBI: *Limnorphis birgei*; MVA: *Melosira varians*; NIN: *Nitzschia intermedia*; NPA: *Nitzschia palea*; NRA: *Navicula radiosa*; OED: *Oedogonium* sp.; OSD: *Oscillatoria* sp. 2; OST: *Oscillatoria* sp. 3; PEL: *Placoneis elginensis*; PGI: *Pinnularia gibba*; UUL: *Ulnaria ulna*.

Fig. 10. Epilimon Range-Abundance Curve. S': Shannon Index. J': Pielou Index. D: Real Diversity. Species codes: BAR: *Batrachospermum* sp.; CAM: *Craticula ambigua*; CCU: *Craticula cuspidata*; CHA: Chantransia stage (of *Batrachospermum* sp.); CLA: *Cladophora* sp.; CME: *Cyclotella meneghiniana*; CPL: *Cocconeis placentula*; CSC: *Cyanosarcina spectabilis*; GGR: *Gomphonema gracile*; GLA: *Gomphonema lagenula*; GSU: *Gomphonema subclavatum*; LBI: *Limnorphis birgei*; MVA: *Melosira varians*; NIN: *Nitzschia intermedia*; NPA: *Nitzschia palea*; NRA: *Navicula radiosa*; OED: *Oedogonium* sp.; OSD: *Oscillatoria* sp. 2; OST: *Oscillatoria* sp. 3; PEL: *Placoneis elginensis*; PGI: *Pinnularia gibba*; UUL: *Ulnaria ulna*.

La disminución de la CE y las concentraciones de los cationes Mg^{2+} , Na^+ y Ca^{2+} y del anión SO_4^{2-} aguas abajo, podría deberse a un efecto de dilución por aumento de caudal o por precipitaciones registradas días antes del muestreo. Además, hay que mencionar que la composición iónica de las aguas de los ríos está influenciada principalmente por la litología de la cuenca y no por aportes externos. Sin embargo, el caso del Cl⁻, presenta un leve incremento, Ganin *et al.* (2007) comprobaron que las concentraciones del mismo se encuentran relacionadas a los efluentes de la papelería.

En íntima relación con el análisis de iones mayoritarios, el tipo de agua también estaría directamente relacionado a la geología, ya que, en las cabeceras del río Colorado, encontramos la Formación Río Salí, que se encuentra bandeada por yeso y, por lo tanto, tiene una importante presencia de sulfato de calcio. Por otro lado, la Formación Cadillal y Río Loro presentes en las cabeceras del Calimayo, se caracterizan por estar cementadas por $CaCO_3$ lo que generaría que las aguas del río Colorado pasen a bicarbonatadas cálcicas-sódicas luego del ingreso del mismo. Además, el proceso de reducción de sulfatos (debido a los bajos niveles de oxígeno disuelto)

también sería responsable del descenso en la concentración de sulfatos y un aumento de bicarbonatos (Fernández, 2013).

En cuanto a los nutrientes, la concentración del ion NO_3^- en las aguas del río Colorado disminuye luego de la confluencia con el Calimayo. Esto podría ser consecuencia del ambiente anóxico presente en los sitios 2 y 3 que, ante la falta de oxígeno, el NO_3^- actúa como aceptor de electrones en la descomposición de la materia orgánica, reduciéndose a NO_2^- y NH_4^+ , lo que también explicaría el aumento de las concentraciones de NO_2^- y de NH_4^+ aguas abajo. En el caso del ortofosfato (PO_4^{3-}), los valores más altos están relacionados con la recepción de aguas con contaminación orgánica.

También se debe mencionar que la relación N/P decrece en el sitio de impacto, sin embargo, podemos afirmar que el nutriente limitante en el río Colorado es el nitrógeno. Es importante señalar que cuando en el agua se presenta una baja relación nitrógeno: fósforo (por exceso de fósforo y limitación por nitrógeno) se favorece la aparición de cianofíceas y en especial de aquellas especies capaces de fijar nitrógeno, éstas pueden, entonces, competir e incluso excluir a los otros microorganismos que allí se desarrollen (Plinski y Jozwiak, 1999). Lo que podría explicar la mayor presencia de especies como *Dolichospermum* sp. y de *Nostoc commune* en los sitios posteriores al impacto.

La riqueza del fitoplancton estuvo dominada por las diatomeas pennadas como lo reportado para otros sistemas lóticos de la provincia de Tucumán, como el río Gastona (Mirande y Tracanna, 2004), el arroyo Mista (Taboada, 2009; Taboada 2017), el arroyo Calimayo (Taboada, 2017; Taboada *et al.*, 2018), los ríos Chavarría, Las Moras, Singuil (Martínez de Marco *et al.*, 2018), Salí, Vipos y Tapia (Martínez de Marco *et al.*, 2011). Esto también se observó en la taxocenosis epilítica coincidiendo con lo encontrado para el arroyo Mista (Taboada, 2009; Taboada, 2017) y el arroyo Calimayo (Taboada, 2017; Taboada *et al.*, 2018).

La dominancia por parte de la clase Bacillariophyceae también se representó en las densidades medidas, tanto en el fitoplancton como en el epilíton. Siendo los valores de densidad de este último grupo mucho más importantes, similar a lo descrito para el arroyo Mista (Taboada, 2009). Probablemente esto se debe a que los rasgos funcionales de este grupo (alta eficiencia fotosintética, gran contenido de clorofila a, valvas de sílice, presencia de mucílagos, formas pedunculadas, entre otros), les permite persistir y predominar bajo el efecto de factores estresantes (Lizarazo *et al.*, 2021).

La mayor abundancia de cianobacterias en los sitios más impactados estaría asociada con la abundante materia orgánica que genera el aumento del NH_4^+ y la disminución del OD (Taboada, 2017) y esto también podría explicar el aumento de euglenoides en el fitoplancton del S2 (Padulles *et al.*, 2017).

En la taxocenosis fitoplanctónica se midió un aumento importante de *Nitzschia palea*, *Gomphonema lagenula*, *Limnorphis birgei*, *Oscillatoria* sp. 2, *Cyclotella meneghiniana* y *Lyngbya* sp. entre el S1 y los sitios más impactados.

Estos registros, son datos biológicos muy importantes, ya que todos son taxones que fueron clasificados como tolerantes a la polución (Lobo et al., 2004; Licursi y Gomez, 2013; Martínez de Fabricius et al., 2014; Segura García et al., 2016; Hurtado y Morales, 2016; Taboada, 2017). Por otro lado, también se registró una baja de las especies *Ulnaria ulna*, *Cocconeis placentula*, *Reimeria uniseriata* que fueron clasificadas como taxones sensibles a la contaminación (Taboada, 2018).

En el caso del epilíton, se observaron aumentos importantes de taxones como *Gomphonema lagenula*, *Craticula cuspidata*, *Cyclotella meneghiniana*, *Pinnularia gibba*, *Limnoraphis birgei*, *Oscillatoria* sp. 2 y sp. 3 entre el sitio 1 y sitio 3. Todos estos taxones fueron reportados como muy tolerantes a la contaminación, salvo por *C. meneghiniana* con una tolerancia media (Lobo et al., 2004; Segura García et al., 2016; Hurtado y Morales, 2016; Taboada, 2018). Por el contrario, taxones clasificados como sensibles a la polución mostraron descensos en su abundancia aguas abajo de la desembocadura del arroyo Calimayo como *Melosira varians*, *Planothidium frequentissimum*, *Ulnaria ulna* (Lobo et al., 2004; Segura García et al., 2016; Taboada, 2017).

Coincidiendo con Moschini Carlos (1999), quien reportó que en ambientes eutrofizados es común encontrar especies de *Scenedesmus* sp. y *Oedogonium* sp., registramos un aumento de *Scenedesmus bijugus* entre el S1 y el S3, aunque este incremento no ocurrió con *S. quadricauda* y *Oedogonium* sp.

En conclusión, tanto en el fitoplancton como en el epilíton, se evidenció un recambio de especies sensibles a la polución a otras tolerantes a la misma luego de la recepción del Calimayo.

Este estudio es el primer reporte taxonómico de la ficoflora del río Colorado. Asimismo, la asociación de los parámetros fisicoquímicos con la estructura de las comunidades algales demostró la necesidad de trabajar conjuntamente las variables bióticas y abióticas en el relevamiento de los cursos fluviales en estudios futuros que involucren mediciones en diferentes épocas del año, ya que los resultados y las conclusiones aquí descriptos son puntuales para el muestreo realizado.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Las autoras declaran que no existen conflictos de intereses acerca de los contenidos del presente trabajo.

AGRADECIMIENTOS

A los revisores y editores de Lilloa que con sus aportes y sugerencias permitieron que el trabajo mejore sustancialmente.

BIBLIOGRAFÍA

- APHA, AWWA, WEF. (2005). Standard Methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, 21st. ed. Washington D. C.
- Battarbee, E. W. (1986). Diatom Analysis. In: Berglund B. E. (Ed.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology* (pp. 527-570). New York: J. Wiley y Sons Ltd.
- Bojorge García, M. G. y Cantoral Uriza, E. A. (2016). La importancia ecológica de las algas en los ríos. *Hidrobiológica* 26 (1): 1-8.
- Domínguez, E. y Fernández, H. R. (1998). Calidad de los ríos de la cuenca del Salí (Tucumán, Argentina) medida por un índice biótico. *Serie Conservación de la Naturaleza* 12, Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina.
- Fernández, D. S. (2013). Estudio Geoquímico ambiental de la cuenca del río Colorado, Provincia de Tucumán, Argentina. (Tesis Doctoral), Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.
- Ganín, A., Navarro, G., Galindo, M. C. y Hidalgo, M. del V. (2007). Cloruro como indicador de calidad de agua. Actas del XXI Congreso Nacional del Agua (CONAGUA), San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina.
- Guiry, M. D. y Guiry, G. M. (2023, 2024). AlgaeBase (Data Base). Galway, UK: National University of Ireland. <https://www.algaebase.org>
- Hauer, T. y Komárek, J. (2018): CyanoDB.cz 2.0 - On-line database of cyanobacterial taxa. - Word-wide electronic publication, Univ. of South Bohemia & Inst. of Botany AS CR, <http://www.cyanodb.cz>
- Hering, D., Johnson, R., Kramm, S., Schmutz, S., Szoszkiewicz, K. y Verdonschot, P. F. (2006). Assessment of european streams with diatoms, macrophytes, macroinvertebrates and fish: a comparative metric-based analysis of organism response to stress. *Freshwater biology* 51 (9): 1757-1785.
- Hurtado, M. y Morales, L. (2016). Influencia de las variables físico-químicas sobre la estructura de la comunidad de algas perifíticas en las cuencas altas de los ríos Ishcayrumi-Yanuncay y Matadero del Parque Nacional Cajas. (Tesina de grado), Universidad del Azuay, Ecuador.

- Jost, L. y González-Oreja, J. (2012). Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta zoológica lilloana* 56 (1-2): 3-14.
- Köppen, W. (1931). Grundriss der Klimakunde. Walter der Gruyter.
- Lee, R. E. (2018). Phycology. (5° Ed). Cambridge University Press.
- Licursi, M. y Gómez, N. (2013). Short-term toxicity of hexavalent-chromium to epipsammic diatoms of a microtidal estuary (Río de la Plata): Responses from the individual cell to the community structure. *Aquatic Toxicology* 134: 82- 91.
- Lizarazo, M. C. G., Pinilla Agudelo, G. y Galindo, I. J. E. (2021). Ecología funcional de las algas perifíticas en el Chocó colombiano: limitación de recursos, competencia y variables ambientales. *Revista de Biología Tropical* 69 (1): 331-351.
- Lobo, E. A., Katoh K. y Aruga Y. (1995). Response of epilithic diatom assemblages to water pollution in rivers in the Tokyo Metropolitan area, Japan. *Freshwater Biology* 34: 191-204.
- Lobo, E. A., Callegaro, V. L. M., Hermany, G. C., Gómez, N. y Ector, L. (2004). Review of the use of microalgae in South America for monitoring rivers, with special reference to diatoms. *Vie et Milieu / Life & Environment* 54 (2-3): 105-114.
- Luque, M. (1998). Comunidad fitoplanctónica y epilítica del río Piedra Blanca (Córdoba, Argentina). (Tesis de Magister), Universidad Nacional del Litoral, Argentina.
- Martínez de Fabricius, A. L.; Novoa, M. D., Huber, M. P. y Sosa, M. L. (2014). Phytoplankton from the Peri-Pampean hills: Córdoba system. *Advances in Limnology* 65: 185-198.
- Martínez de Marco, S. N., Tracanna, B. C. y Maidana N. I. (2011). Fitoplancton de ambientes lóticos de la cuenca superior del río Salí, Tucumán, Argentina. *Lilloa* 48 (1): 100-123.
- Martínez de Marco, S. N., Tracanna, B. C., Isasmendi, S. C., Alderete, M. C., Taboada, M. Á. y Mirande, V. (2018). Evaluación del fitoplancton en el embalse Escaba (Tucumán - Argentina) para caracterizar la calidad de sus aguas. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 53 (4): 1-10.
- McCormick, P. V. y Stevenson, R. J. (1998). Periphyton as a tool for ecological assessment and management in the Florida Everglades. *Journal of Phycology* 34 (5): 726-733.
- Mirande, V. (2001). Dinámica del fitoplancton del río Gastona (Tucumán, Argentina) en relación a la calidad de sus aguas. (Tesis Doctoral), Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.
- Mirande, V. y Tracanna, B. C. (2004). Riqueza del fitoplancton en el río Gastona (Tucumán, Argentina): Diatomeas. *Lilloa* 41: 93-146.
- Montoya Moreno, Y. y Aguirre, R. (2013). Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia. *Gestión y Ambiente* 16 (3): 91-117.
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E. y Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información

- sobre comunidades ecológicas. *Revista mexicana de biodiversidad* 82(4): 1249-1261.
- Moschini Carlos, V. (1999). Importância, estrutura e dinâmica da comunidade periférica nos ecossistemas aquáticos continentais. En: M.L.M. Pompêo (Ed.), *Perspectivas na Limnologia no Brasil* (pp. 1-11). São Luís: Gráfica e Editora União.
- Orozco, C., Pérez, A., Gonzáles, M. N., Rodríguez, F. y Alfayate, J. (2005). Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química (3° Ed). Editorial Thomson Paraninfo, S.A.
- Padulles, M. L., Conforti, V. T. y Nannavecchia, P. (2017). Impacto de la contaminación orgánica sobre el fitoplancton de un arroyo de la llanura pampeana. *Ecología austral* 27 (3): 437-448.
- Pielou, E. C. (1966). The measurements of diversity in different types of biological collections. *Journal of theoretical biology* 13: 131-144.
- Plinski M. y Joswiak T. (1999). Temperature and N: P ratio as factors causing blooms of algal green algae in the Gulf of Gdansk. *Oceanología* 41(1): 73-80.
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y. y Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e investigación* 27 (3): 172-181.
- Sánchez Abarca, N. C. (2020). Evaluación de la calidad de agua de las fuentes hídricas de la Reserva Biológica Limoncocha usando diatomeas como bioindicadores. (Tesis de grado), Universidad Internacional SEK, Ecuador.
- Seeligmann, C. T. (2000). Nuevas citas de Bacillariophyceae para el Noroeste Argentino. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 34: 165-169.
- Segura García, V., Almanza Álvarez, J. S. y Ponce Saavedra, J. (2016). Diversidad en comunidades de diatomeas epilíticas con relación a los parámetros fisicoquímicos en la cabecera del río Zinapécuaro, México. *Hidrobiológica* 26 (2): 187-202.
- Shannon, C. E. y Weaver, W. (1963). The mathematical theory of communication. University of Illinois Press.
- Simler, R. (2022). Software Diagrammes (V6. 77). Laboratoire d'Hydrologie d'Avignon, Université d'Avignon et pays du Vaucluse, Avignon.
- Taboada, M. de los Á. (2009). Estudio del fitoplancton y del epilíton del Arroyo Mista (Tucumán, Argentina) en relación a la calidad del agua. (Tesina de grado), Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.
- Taboada, M. de los Á., Gultemirian M. de L., Martínez De Marco S. N. y Tracanna B. C. (2015). Ficoflora epilítica y variables ambientales del Arroyo Calimayo (Tucumán-Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 50 (4): 467-480.
- Taboada, M. de los Á. (2017). Evaluación de la ficoflora como bioindicadora del estado ecológico en sistemas lóticos de Tucumán. Evaluación del impacto antrópico. (Tesis Doctoral), Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

- Taboada, M. de los Á., Martínez De Marco, S. N. M., Bustos, M. S. y Tracanna, B. (2018). Nuevos registros de Bacillariophyceae en ecosistemas lóticos del Noroeste de Argentina II. *Lilloa* 55 (1): 81-97.
- Taboada, M. de los Á., Miranda, M. J. y Gavriloff, I. J. (2021). Primer relevamiento de la riqueza algal de una laguna de montaña del Noroeste Argentino. *Bonplandia* 30 (1): 37-60.
- Utermöhl, H. (1958) On the perfecting of quantitative phytoplankton method. *International Association of Theory and Applications of Limnological Proceedings* 9: 1-38.
- Villafañe, V. y Reid, F. (1995). Métodos de microscopía para la cuantificación del fitoplancton. En: K. Alveal, M. Ferrario, E. Oliveira y E. Sar (Eds.). *Manual de métodos ficológicos* (pp. 169-185). Concepción, Chile: Universidad de Concepción.
- Weiner, E. R. (2008). Applications of environmental aquatic chemistry: a practical guide (2° Ed). CRC press.
- Zandaryaa, S. y Mateo Sagasta, J. (2018). Organic matter, pathogens and emerging pollutants. En: J. Mateo Sagasta, S. Marjani Zadeh y H. Turrall (Eds.), *More People, More Food, Worse Water? A Global Review of Water Pollution from Agriculture* (pp. 125-138). Roma: Organización de las Naciones Unidas (ONU) para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y para el Instituto Internacional de Gestión del Agua (IWMI). Recuperado de www.fao.org/3/ca0146en/CA0146EN.pdf