



Distribución espacial y temporal de las especies de diatomeas epilíticas del río Apatlaco, Morelos (México)

Spatial and temporal distribution of epilithic diatom species from the Apatlaco River, Morelos (Mexico)

Rojas-Romero, Adrián¹; Judith García-Rodríguez^{2*};
Migdalia Díaz-Vargas²; Elsay Arce²; Olivia de los Santos²;
Marco P. Franco²

¹ Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Avenida Universidad 1001, Colonia Chamilpa, C.P. 62209, Cuernavaca Morelos, México.

² Departamento de Hidrobiología, Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Río Pánuco 41, Colonia Vista Hermosa, C.P. 62290, Cuernavaca Morelos, México.

* Autor correspondiente: <garciaj@uaem.mx>

Resumen

Las diatomeas desempeñan un papel esencial en los ecosistemas acuáticos al contribuir significativamente a la producción primaria global. Su alta sensibilidad a las condiciones fisicoquímicas del agua las convierte en bioindicadores de cambios ambientales, tales como la eutrofización, la contaminación y las variaciones en el régimen de luz y temperatura. El presente estudio aporta al conocimiento de la comunidad de diatomeas epilíticas y su distribución en tres sitios del río Apatlaco, Morelos, México. Las muestras se recolectaron en la superficie de rocas mediante un cepillo de cerdas suaves y se analizaron en microscopio para la identificación taxonómica. Se registraron 84 taxones pertenecientes a tres clases y 35 géneros. La clase Bacillariophyceae presentó la mayor riqueza específica, destacando las diatomeas pennales como las más diversas. Los géneros con mayor número de especies fueron *Gomphonema* (14), *Navicula* (11) y *Nitzschia* (8). La comunidad epilítica mostró una marcada variación espacial y temporal, con especies de amplia distribución a lo largo del estudio. Los parámetros fisicoquímicos del agua evidenciaron fluctuaciones asociadas con la estacionalidad.

► Ref. bibliográfica: Rojas-Romero, A.; García-Rodríguez, J.; Díaz-Vargas, M.; Arce, E.; de los Santos, O.; Franco, M. P. 2026. Distribución espacial y temporal de las especies de diatomeas epilíticas del río Apatlaco, Morelos (México). *Lilloa* 63 (1): 49-68. doi: <https://doi.org/10.30550/j.lil/2296>

► Recibido: 27 de octubre 2025 – Aceptado: 25 de marzo 2026 – Publicado: 5 de mayo 2026.

► 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.



Este trabajo constituye el primer registro detallado de diatomeas en la cuenca del río Apatlaco y representa una contribución relevante para futuras investigaciones ecológicas y de monitoreo de la calidad del agua en la región.

Palabras clave: Bioindicador; diversidad; fisicoquímica.

Abstract

Diatoms play a crucial role in aquatic ecosystems by significantly contributing to global primary production. Their high sensitivity to the physicochemical conditions of water makes them bioindicators of environmental changes, such as eutrophication, pollution, and variations in light and temperature regimes. This study enhances our understanding of the epilithic diatom community and its distribution at three sites along the Apatlaco River in Morelos, Mexico. The samples were collected from rock surfaces using a soft-bristled brush and analyzed under a microscope for taxonomic identification. A total of 84 taxa belonging to three classes and 35 genera were recorded. The class Bacillariophyceae exhibited the highest species richness, with pennate diatoms being the most diverse. The genera with the greatest number of species were *Gomphonema* (14 species), *Navicula* (11 species), and *Nitzschia* (8 species). The epilithic diatom community displayed significant spatial and temporal variation, with species widely distributed throughout the study sites. The physicochemical parameters of the water exhibited seasonal fluctuations. This work represents the first detailed record of diatoms in the Apatlaco River basin and is a significant contribution to future ecological research and water quality monitoring in the region.

Keywords: Bioindicator; diversity; physicochemical parameters.

INTRODUCCIÓN

Los ambientes lóticos son componentes fundamentales de los ciclos biogeoquímicos regionales y globales, actúan como vías de transporte, sitios de transformaciones elementales y sistemas de eliminación de desechos (Chakraborty, 2021). Los ríos presentan una amplia heterogeneidad espacio-temporal determinada por cambios en los factores fisicoquímicos en las diferentes épocas del año que influyen sobre los microorganismos que viven en el agua (Ward, 1989; Park *et al.*, 2021). Por lo tanto, las fluctuaciones en las variables fisicoquímicas del agua influyen directamente en la composición, diversidad y/o incremento de la biomasa de los microorganismos (Liu *et al.*, 2013).

Entre los microorganismos que viven en los ambientes lóticos se destacan las diatomeas que se caracterizan por ser dominantes y presentar una gran diversidad de especies (Lobo *et al.*, 2016). Las diatomeas constituyen entre el 80 y 90% de la comunidad del perifiton en los ríos, debido a la facilidad que tienen para formar colonias, adherirse al sustrato y adaptarse a diferentes condiciones del medio (Medeiros *et al.*, 2020). Desempeñan un papel fundamental en los ecosistemas acuáticos debido a que contribuyen a la producción primaria global (Benoiston *et al.*, 2017). Su alta sensibilidad a las condiciones fisicoquímicas del agua las convierte en excelentes bioindicadores de cambios ambientales como la eutrofización, la contaminación y las alteraciones en el régimen de luz y temperatura (B-Béres *et al.*, 2023). Dentro de las diatomeas, las de vida epilítica han sido ampliamente usadas como indicadores eficientes para la evaluación de la calidad del agua, ya que responden rápido a los cambios ambientales, principalmente en su diversidad y abundancia (Rimet, 2012).

En México se han realizado diversos estudios sobre la flora diatomológica en diversos ríos: Cantoral-Uriza (1997), Vázquez *et al.* (2011), Bojorge-García *et al.* (2014), Mora *et al.* (2015, 2017), Segura-García *et al.* (2016). Sin embargo, particularmente para el estado de Morelos en el centro de México, los trabajos relacionados al conocimiento de la ficoflora algal son escasos. Se han realizado estudios únicamente en ciertos puntos del río Amacuzac: Valadez-Cruz *et al.* (1996), García-Rodríguez *et al.* (2011), Landa (2012), Tavira (2010), Gómez (2017) y en el río Amatzinac (Vidales, 2010) y nada se conoce sobre las diatomeas del río Apatlaco.

La subcuenca del río Apatlaco presenta un gran deterioro ambiental, principalmente por impactos antropogénicos que han alterado su estado natural (Breton-Deval *et al.*, 2019). Además de la contaminación al cuerpo de agua, existe un riesgo inminente para la salud humana asociado a las poblaciones que viven en las proximidades. Por ello, este estudio pretende contribuir al conocimiento de las diatomeas epilíticas y su distribución en tres puntos del río Apatlaco, considerándolo como un primer acercamiento al conocimiento de las diatomeas de este sistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El río Apatlaco se ubica en la porción noroeste del estado de Morelos, México y cubre una longitud de 63 km². Se localiza dentro de la cuenca del río Balsas, cuenta con un área de 117,305 km², abarcando en su totalidad al estado de Morelos (Fig. 1).

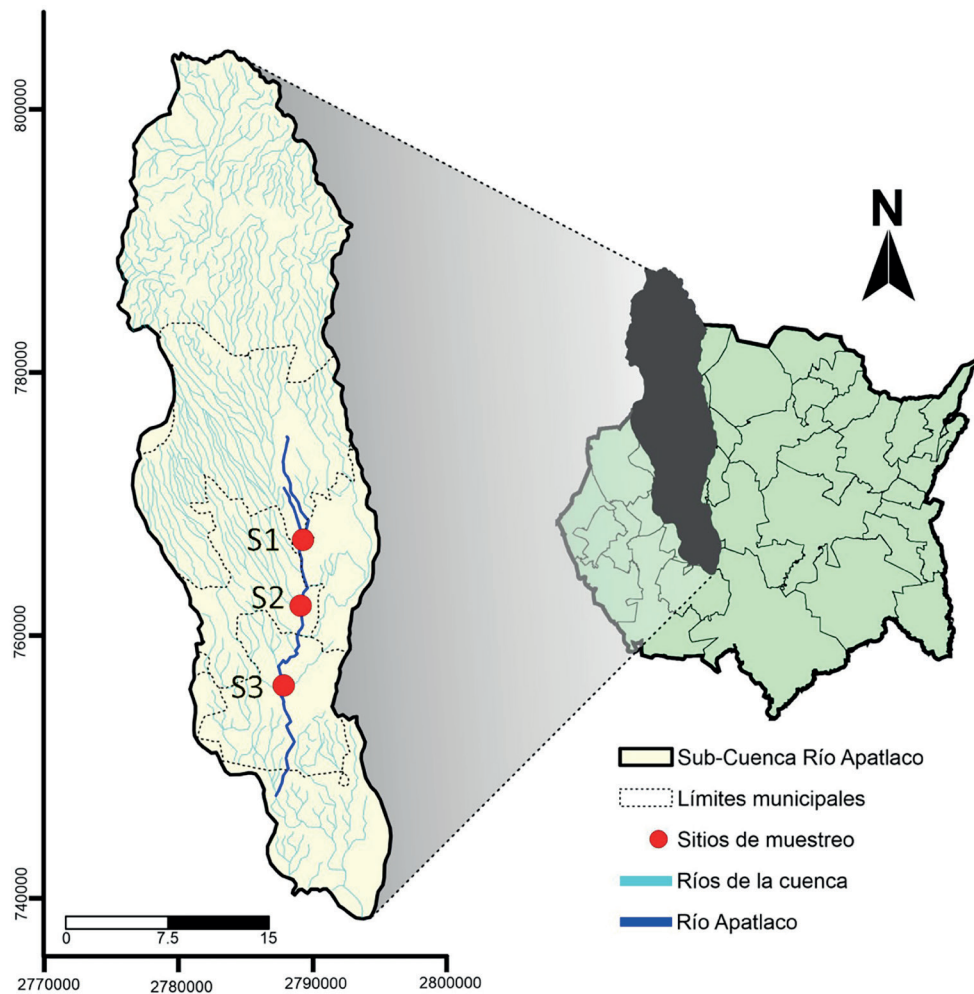


Fig. 1. Área de estudio: subcuenca del río Apatlaco, Morelos, México.

Fig. 1. Study area: The Apatlaco River sub-basin, Morelos, Mexico.

El río Apatlaco a lo largo de su trayecto atraviesa diez municipios, de los cuales tres se consideran grandes urbanizaciones y con el mayor ritmo de crecimiento: Cuernavaca, Jiutepec y Temixco; por lo que existe un corredor urbano e industrial importante a lo largo del cauce del río y diversas áreas de uso agrícola afectando gravemente a este sistema (CONAGUA, 2012).

El estudio se llevó a cabo de febrero a noviembre de 2018, abarcando las cuatro estaciones del año: invierno (febrero), primavera (mayo), verano (agosto) y otoño (noviembre). Se eligieron tres sitios de muestreo en el río: sitio 1 (S1): Cuernavaca ubicada en la zona de talud a 1335 m s. n. m. ($18^{\circ}52'30.4''$ N – $99^{\circ}13'09.6''$ O); sitio 2 (S2) Temixco ubicado en la zona de planicie a 1210 m s. n. m. ($18^{\circ}49'44.6''$ N – $99^{\circ}13'16.7''$ O) y sitio 3 (S3) Xochitepec ubicada en la zona de planicie a 1074 m s. n. m. ($18^{\circ}46'29.6''$ N – $99^{\circ}14'05.1''$ O) (Fig. 1).

Las muestras se recolectaron de la superficie de rocas utilizando un cepillo de cerdas suaves. El área de raspado se midió con un tubo PVC de 10 cm² según el método de Kelly *et al.* (1998). Las muestras obtenidas se colocaron en frascos de 200 mL y se fijaron con 10 mL de formaldehído al 4%.

Para el reconocimiento de las especies se realizaron laminillas permanentes, llevándose a cabo previamente la limpieza de frústulos a través de la técnica de digestión ácida (ácido nítrico y dicromato de potasio, de acuerdo con Johansen *et al.*, 1983). Para el análisis cuantitativo se realizó el conteo de valvas por especie hasta lograr contar toda la laminilla. Para determinar el número de diatomeas del epilíton por muestra primero se obtuvo el área total de muestreo, posteriormente se aplicó la fórmula propuesta por Gualtero (2007) expresada en células/cm².

Las muestras se analizaron en un microscopio compuesto marca Leica DM500 con cámara Leica ICC50 HD en campo claro (software Leica LAS V4.5) para tener registro fotográfico de los taxones. De algunas especies se tomaron fotografías con un microscopio electrónico de barrido por emisión de campo (FESEM) modelo SU5000 Hitachi, servicio brindado por el Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAp) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Para la identificación de las especies se consultaron trabajos especializados en el tema como Novelo *et al.* (2007), Blanco *et al.* (2010), Salinas-Camarillo (2015), Wehr *et al.* (2015), Necchi (2017) y Starmach (1985), así como, bases de datos electrónicas Algaebase, Diatoms of North America y Freshwater Diatom Flora of Britain and Ireland (Guiry y Guiry, 2025; Spaulding y Edlund, 2025; Jüttner *et al.*, 2025).

En cada sitio de muestreo y por temporada se registraron las siguientes variables fisicoquímicas del agua: conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) con ayuda de un conductímetro digital Conductronic PC18, oxígeno disuelto (mg/L) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$) con un Oxímetro YSI Modelo 58 y pH con un potenciómetro YSI Modelo 18. De igual forma, se tomaron muestras de agua por sitio y temporada de muestreo de un volumen de 1L para determinar nitratos (mg/L), nitritos (mg/L), ortofosfatos y sílice (mg/L) de acuerdo con APHA (1992).

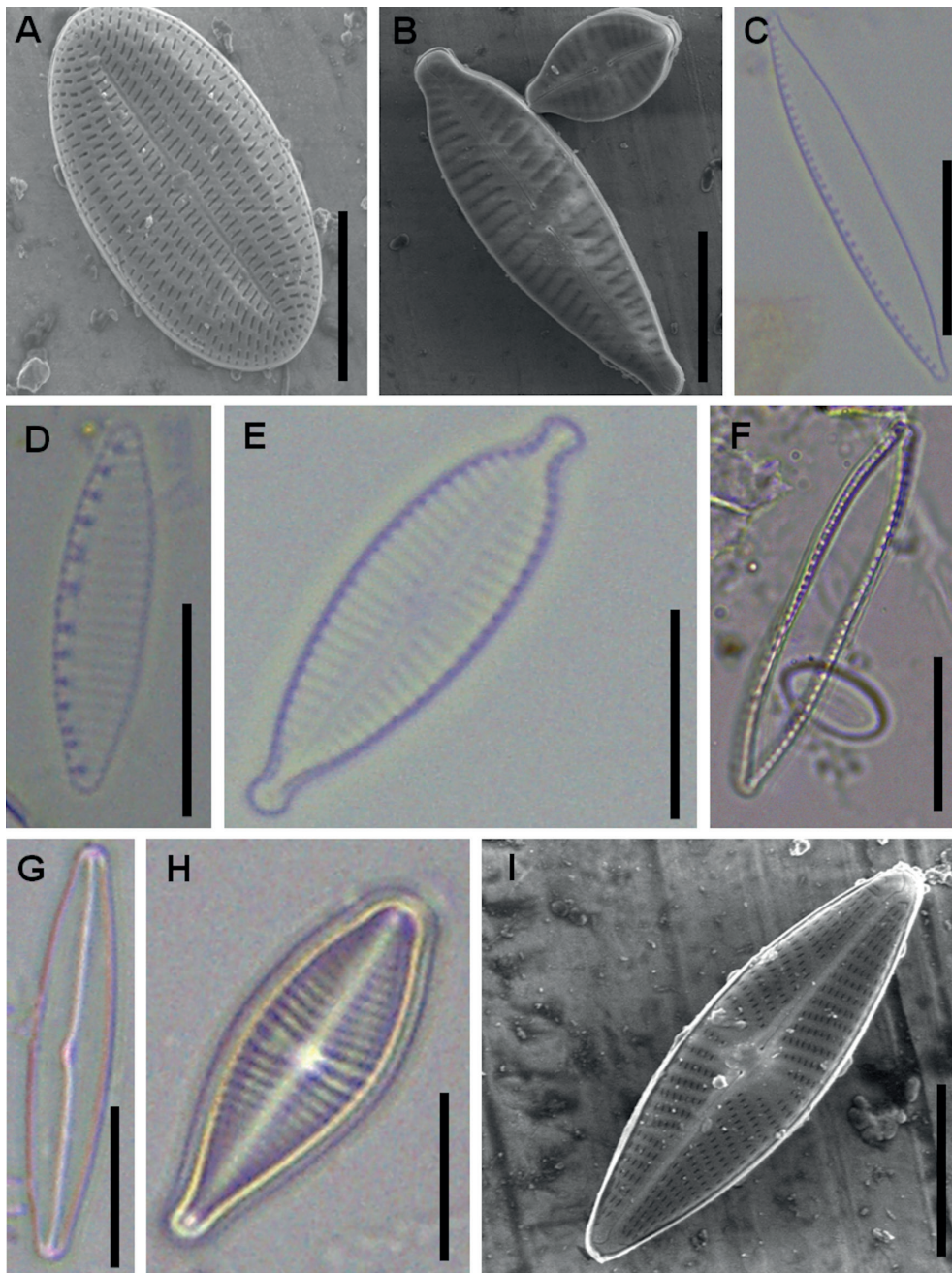


Fig. 2. Especies dominantes de diatomeas epilíticas del río Apatlaco, Morelos, México. A) *Cocconeis placentula*. B) *Gomphonema parvulum*. C) *Nitzschia palea*. D) *Nitzschia amphibia*. E) *Gomphonema lagenula*. F) *Nitzschia umbonata*. G) *Navicula simulata*. H) *Gomphonema mexicanum*. I) *Navicula antonii*.

Fig. 2. Dominant species of the epilithic diatoms from the Apatlaco River, Morelos, Mexico. A) *Cocconeis placentula*. B) *Gomphonema parvulum*. C) *Nitzschia palea*. D) *Nitzschia amphibia*. E) *Gomphonema lagenula*. F) *Nitzschia umbonata*. G) *Navicula simulata*. H) *Gomphonema mexicanum*. I) *Navicula antonii*.

Análisis estadístico

La frecuencia y abundancia se graficó con un diagrama de Olmstead-Tukey. En este diagrama la frecuencia en la que las especies de diatomeas se encontraron se graficaron *versus* la abundancia (número total de especies, transformadas $\log(n+1)$) (Olmstead y Tukey, 1947; Arce y Alcaraz, 2011). Los parámetros fisicoquímicos del agua se compararon entre sitios y entre temporalidad con un Modelo Lineal Generalizado (MLG) bifactorial en donde un factor fue el sitio de muestreo y el otro factor la temporada del año. En todos los casos la variable de respuesta fue el parámetro del agua. Cuando existieron diferencias ($P < 0.05$) se contrastaron con una prueba *pos hoc* con corrección de Bonferroni. Todos los análisis se realizaron en el programa estadístico Statistical10.0® y se consideró una significancia de ($P < 0.05$).

RESULTADOS

Se identificaron un total de 84 taxones incluidos en 3 clases y 35 géneros en los tres sitios de muestreo y durante las cuatro temporadas. De acuerdo con el número de taxones, las diatomeas pennadas correspondieron a las de mayor riqueza. Los géneros más significativos por presentar el mayor número de especies fueron *Gomphonema* (14), *Navicula* (11) y *Nitzschia* (8) (Tabla 1).

En cuanto al número total de taxones registrados por sitio se obtuvo para el S1: 66, S2: 38 y S3: 40 especies, respectivamente. En relación al número de especies por estación del año, en invierno se contabilizaron 47, durante la primavera 42, verano 36 y otoño 54. El mayor número de especies se presentó en otoño en el S1 y el menor en primavera en el S2 (Tabla 1).

Respecto a la distribución espacial y temporal, durante invierno sólo seis especies estuvieron presentes en los tres sitios de muestreo: *Cocconeis placentula*, *Gomphonema clavatum*, *Gomphonema lagenula*, *Gomphonema parvulum*, *Sellaphora pupula* y *Stephanocyclus meneghinianus*. En primavera se reconocieron cuatro especies con distribución en los tres sitios de muestreo: *C. placentula*, *Gomphonema exilissimum*, *G. parvulum*, *Nitzschia palea* y *S. meneghinianus*. Durante verano se observaron seis taxones distribuidos en los tres sitios, estas fueron: *C. placentula*, *G. parvulum*, *Nitzschia amphibia*, *N. palea*, *S. pupula* y *S. meneghinianus*. Finalmente, en otoño siete especies estuvieron presentes en los tres sitios: *C. placentula*, *G. parvulum*, *Navicula simulata*, *N. amphibia*, *N. palea*, *Nitzschia rostellata* y *S. pupula*.

Tabla 1 (parte 2 de 3). Abundancia y frecuencia total de las especies de diatomeas epilíticas de río Apatlaco, Morelos, México.**Table 1 (parte 2 of 3).** Abundance and total frequency of epilithic diatom species from the Apatlaco River, Morelos, Mexico.

Especies	Invierno			Primavera			Verano			Otoño			At (cél/cm ²)	Fr (%)			
	D	F	R	O	A	D	F	R	O	A	D	F			R	O	A
<i>Gomphonema subclavatum</i> (Grunow) Grunow			X		X					X					X	4	8,33
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg				X						X				X		7	8,33
<i>Gomphonema</i> sp.				X			X			X				X		33	16,67
<i>Grunowia solgensis</i> (A.Cleve) Aboal				X			X			X				X		4	8,33
<i>Grunowia tabellaria</i> (Grunow) Rabenhorst			X		X					X				X		4	8,33
<i>Grunowia</i> sp.			X		X					X				X		4	8,33
<i>Gyrosigma scalproides</i> (Rabenhorst) Cleve			X		X				X					X		4	8,33
<i>Gyrosigma</i> sp.			X		X					X				X		4	8,33
<i>Halamphora</i> sp.				X			X			X				X		54	33,33
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow			X		X				X					X		23	33,33
<i>Luticola goeppertiana</i> (Bleisch) D.G.Mann ex Rarrick, S.Wu, S.S.Lee & Edlund			X			X			X				X			358	58,33
<i>Navicula angusta</i> Grunow			X				X			X				X		241	33,33
<i>Navicula antonii</i> Lange-Bertalot				X			X			X				X		463	33,33
<i>Navicula notha</i> J.H.Wallace			X		X					X				X		104	16,67
<i>Navicula rostellata</i> Kützing			X		X		X			X				X		115	50,00
<i>Navicula simulata</i> Mangin			X				X			X				X		645	50,00
<i>Navicula symmetrica</i> R.M.Patrick			X				X			X				X		7	8,33
<i>Navicula tripunctata</i> (O.F.Müller) Bory			X		X		X			X				X		296	33,33
<i>Navicula trivialis</i> Lange-Bertalot			X				X			X				X		300	41,67
<i>Navicula</i> sp. 1				X			X			X				X		7	8,33
<i>Navicula</i> sp. 2				X			X			X				X		4	8,33
<i>Navicula</i> sp. 3				X			X			X				X		4	8,33
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow			X		X		X			X				X		2.204	75,00
<i>Nitzschia clausii</i> Hantzsch			X				X			X				X		294	50,00
<i>Nitzschia filiformis</i> (W.Smith) Van Heurck			X				X			X				X		90	16,67
<i>Nitzschia inconspicua</i> Grunow				X			X			X				X		18	16,67
<i>Nitzschia microcephala</i> Grunow				X			X			X				X		4	8,33
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith		X			X		X			X				X		2.849	91,67
<i>Nitzschia umbonata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot		X			X		X			X				X		472	58,33
<i>Nitzschia</i> sp.				X			X			X				X		14	16,67
<i>Pinnularia aff. gibba</i> (Ehrenberg) Ehrenberg			X				X			X				X		73	41,67
<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg			X				X			X				X		14	8,33

Table 1 (parte 3 de 3). Abundancia y frecuencia total de las especies de diatomeas epilíticas de río Apatlaco, Morelos, México.**Table 1 (parte 3 of 3).** Abundance and total frequency of epilithic diatom species from the Apatlaco River, Morelos, Mexico.

Especies	Invierno			Primavera			Verano			Otoño			At (cél/cm ²)	Fr (%)			
	D	F	R	O	A	D	F	R	O	A	D	F			R	O	A
<i>Pinnularia</i> sp.			X							X			X			32	16,67
<i>Planothidium frequentissimum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot										X					X	4	8,33
<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot					X										X	11	8,33
<i>Planothidium</i> sp.			X							X						271	50,00
<i>Pseudostaurisira polonica</i> (M.Witak & Lange-Bertalot) E.A.Morales & M.B.Edlund			X		X										X	143	8,33
<i>Pseudostaurisira</i> sp.					X					X						14	8,33
<i>Punctastriata</i> sp.					X	X										269	25,00
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agarth) Lange-Bertalot			X							X					X	50	8,33
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O.Müller					X					X					X	11	8,33
<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehrenberg) O.Müller			X							X					X	79	25,00
<i>Rhossithidium</i> sp.					X					X					X	179	16,67
<i>Sellaphora pupula</i> (Kützing) Mereschkovsky			X							X					X	358	91,67
<i>Sellaphora saugerresii</i> (Desmazières) C.E.Wetzel & D.G.Mann					X					X					X	1.134	25,00
<i>Stauroneis</i> sp.					X					X					X	136	16,67
<i>Staurisirella pinnata</i> (Ehrenberg) D.M.Williams & Round			X							X					X	43	16,67
<i>Staurisirella</i> sp.			X							X					X	215	33,33
<i>Stenopterobia</i> sp.			X							X					X	12	25,00
<i>Stephanocyclus meneghinianus</i> (Kützing) Kulikovskiy, Genkal & Kociolek										X					X	564	83,33
<i>Surirella angusta</i> Kützing			X												X	57	41,67
<i>Surirella tenera</i> (W.Gregory) Ruck & Nakov			X							X					X	11	16,67
<i>Tryblionella calida</i> (Grunow) D.G.Mann					X					X					X	11	8,33
<i>Ulnaria contracta</i> (Østrup) E.A.Morales & M.L.Vis					X					X					X	21	16,67
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère			X							X					X	14	16,67

Referencias: D: Dominante, F: Frecuente, R: Rara, O: Ocasionales, A: Ausente. At: Abundancia total, Fr: Frecuencia.

Referencias: D: Dominant, F: Frequent, R: Rare, O: Occasional, A: Absent. At: Total abundance, Fr: Frequency.

Durante este estudio se destacaron: *C. placentula* y *G. parvulum*, *G. mexicanum*, *N. palea*, *N. amphibia*, *N. filiformis*, *N. umbonata*, *N. simulata*, *N. antonii* como las especies dominantes, debido a su presencia y abundancia en los tres sitios y durante las cuatro épocas del año (Fig. 2 y 3.) Las especies que se consideraron frecuentes, raras y ocasionales se muestran en la Tabla 1.

La abundancia total registrada en los tres sitios fue de 33.705 cél/cm². Con respecto a la abundancia total en las diferentes épocas, se observó que los valores en primavera fueron mayores con respecto a las demás estaciones del año, presentándose la abundancia más baja en verano (Tabla 1). Las especies más abundantes fueron *C. placentula* con 9.105 cél/cm² y *G. parvulum* con 8.260 cél/cm², las que aportaron de manera importante a la abundancia total obtenida (Tabla 1).

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos, la temperatura no difirió entre los sitios de estudio ($F=0.08$, $P=0.92$). La temperatura tuvo una marcada estacionalidad ($F=38.82$, $P<0.001$), similar entre la temporada de invierno ($16.76 \pm 0.40^{\circ}\text{C}$), primavera ($19.0 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$) y otoño ($18.19 \pm 0.56^{\circ}\text{C}$) (Bonferroni, $P>0.05$) y mayor durante el verano (Bonferroni, $P<0.05$) ($24.23 \pm 1.59^{\circ}\text{C}$).

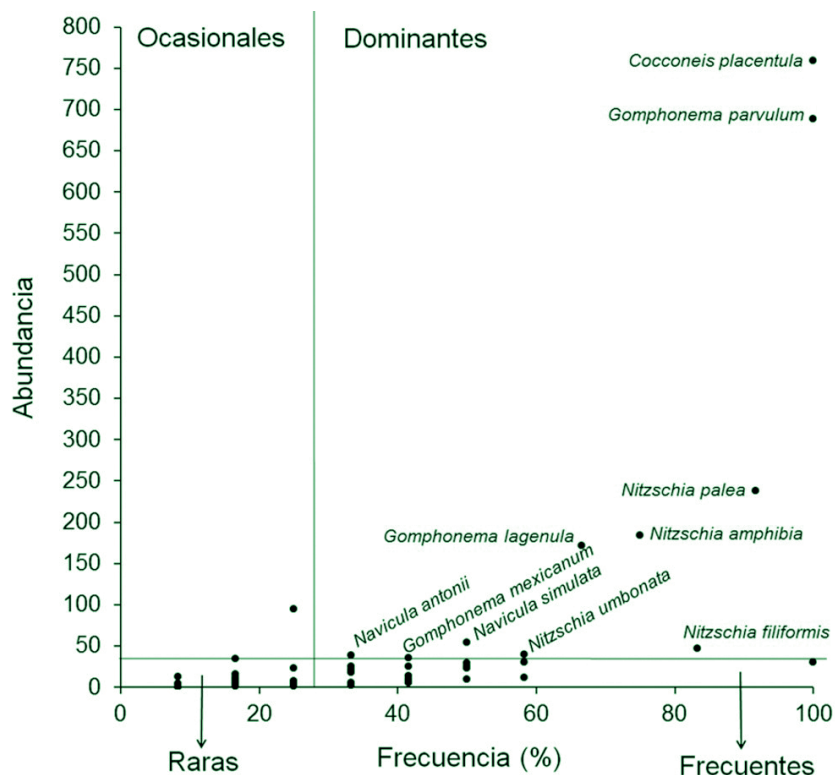


Fig. 3. Diagrama de Olmstead Tukey que muestra las frecuencias y abundancias de las especies de diatomeas epilíticas del río Apatlaco, Morelos, México.

Fig. 3. Olmstead Tukey diagram showing the frequency and abundance of the epilithic diatoms from the Apatlaco River in Morelos, Mexico.

En cuanto al pH, no hubo diferencias entre sitios de estudio ($F=0.03$, $P= 0.96$). El pH fue variable según la época ($F=28.33$, $P<0.001$), con registros similares en invierno (8.40 ± 0.08), verano (8.0 ± 0.17) y otoño (8.62 ± 0.23) (Bonferroni, $P> 0.05$) y fue menor en primavera (Bonferroni, $P< 0.05$) (7.4 ± 0.17). La conductividad fue similar entre los sitios ($F=0.67$, $P= 0.16$) y entre estaciones ($F=1.09$, $P= 0.40$). La conductividad promedio durante el muestreo fue de $360 \pm 137.27 \mu\text{S/cm}$. Con respecto al nitrato, fue diferente entre los sitios de muestreo ($F= 15.58$, $P= 0.004$) siendo menor en el sitio 1 ($2.07 \pm 0.89 \text{ mg/L}$) (Bonferroni, $P< 0.05$) respecto al 2 ($4.67 \pm 0.45 \text{ mg/L}$) y 3 ($3.85 \pm 0.67 \text{ mg/L}$) y fue similar por temporadas ($F= 1.24$, $P= 0.37$). Los nitritos fueron diferentes entre los sitios de muestreo ($F= 6.98$, $P= 0.02$) y entre temporadas ($F= 5.52$, $P= 0.03$) siendo menores en el sitio 1 ($0.32 \pm 0.36 \text{ mg/L}$) (Bonferroni, $P< 0.05$) respecto al 2 ($1.19 \pm 0.75 \text{ mg/L}$) y 3 ($1.45 \pm 0.91 \text{ mg/L}$) y menor en otoño respecto a invierno primavera y verano (Bonferroni, $P< 0.05$). El amonio fue diferente entre los sitios de muestreo ($F= 10.05$, $P= 0.01$) y entre temporadas ($F= 7.43$, $P= 0.01$) siendo menor en el sitio 1 ($0.59 \pm 0.30 \text{ mg/L}$) (Bonferroni, $P< 0.05$) respecto al 2 ($1.39 \pm 0.51 \text{ mg/L}$) y 3 ($1.78 \pm 1.0 \text{ mg/L}$) y menor en invierno respecto a otoño primavera y verano (Bonferroni, $P< 0.05$). En cuanto al fósforo, no difirió entre los sitios de estudio ($F= 0.17$, $P= 0.84$) y fue diferente por temporadas ($F= 11.33$, $P= 0.002$), similar entre otoño ($0.43 \pm 0.25 \text{ mg/L}$), verano ($0.64 \pm 0.26 \text{ mg/L}$) (Bonferroni, $P> 0.05$) y mayor en primavera ($1.41 \pm 0.12 \text{ mg/L}$) e invierno ($2.07 \pm 0.66 \text{ mg/L}$) respecto a las otras dos temporadas (Bonferroni, $P< 0.05$). Para la sílice, no difirió entre los sitios de estudio ($F= 0.22$, $P= 0.80$). La sílice fue diferente por temporada ($F= 14.79$, $P= 0.001$) siendo similar entre la temporada de primavera ($3.49 \pm 1.04 \text{ mg/L}$), verano ($3.26 \pm 0.59 \text{ mg/L}$) y otoño ($2.47 \pm 0.09 \text{ mg/L}$) (Bonferroni, $P> 0.05$) y mayor en la temporada de invierno (Bonferroni, $P< 0.05$) ($7.67 \pm 1.72 \text{ mg/L}$).

DISCUSIÓN

En un río existen diversos factores que influyen en la variación de la abundancia y dominancia de los organismos, principalmente es influenciada por las interacciones espaciales y temporales de los factores fisicoquímicos (Potapova y Charles, 2002; Soininen *et al.*, 2004). En el tramo estudiado del río Apatlaco, la composición específica estuvo representada por 84 especies; estudios sobre diatomeas epilíticas en diversos ríos del país y del estado de Morelos presentan una riqueza específica similar a la obtenida en el presente estudio y mencionan que las diatomeas pennadas son las más representadas (Tavira, 2010; Landa, 2012; Segura-García *et al.*, 2016; Gómez, 2017).

Al respecto se señala que las diatomeas pennadas comprenden a la mayoría de especies de aguas continentales y de sistemas riparios y además se considera que la presencia de estructuras que permiten su desplazamiento (rafe) o la formación de un talo que les otorga adherencia al sustrato, son adaptaciones que les permiten desafiar el cauce de estos sistemas (Tapia, 2002). Del total de la diatomoflora, los géneros dominantes y con el mayor número de especies fueron *Gomphonema*, *Nitzschia* y *Navicula* señalándose como tres de los géneros que se comportan de manera similar en otras regiones del mundo (Europa, Asia, América y África) y son los que en diversos estudios ficológicos tienen más especies (Contino *et al.*, 2024; Krammer y Lange-Berlot, 1998; Luque y Martínez de Fabricius, 2003; Mora *et al.*, 2015, 2017; Gómez, 2017; Taboada *et al.*, 2023). Estos géneros tienen un amplio rango ecológico; de igual manera, el género *Nitzschia* es considerado el segundo género con el mayor número de especies a nivel mundial (Tudesque *et al.*, 2008).

El S1 presentó mayor número de especies en relación al S2 y S3, lo que puede relacionarse por la ubicación altitudinal de las zonas de muestreo y las características particulares que presentan cada uno de los sitios de recolecta. En un río se reconocen diferentes zonas (cabecera, talud y planicie) que están dadas por la altitud y la pendiente del sistema, lo que implica condiciones hidráulicas distintas y por lo tanto, variaciones en la composición y estructura de la flora diatomológica (Potapova y Charles, 2002). Como consecuencia, es frecuente que la zona de talud presente mayor número de taxones con respecto a la cabecera y la planicie, ya que el agua de estos tramos está más mineralizada, lo que permite una mayor disponibilidad de nutrientes para los organismos fotosintetizadores (Montoya *et al.*, 2010).

Los cambios en la riqueza de las diatomeas durante las diferentes épocas del año se corresponden con los periodos de fluctuación del caudal del río, durante invierno y otoño se registraron los máximos valores, mientras que en verano se observó la menor cantidad de taxones. Estos datos son inversos con las precipitaciones: cuando los valores pluviométricos son máximos, la densidad del epilíton disminuye (verano) y cuando la precipitación pluvial disminuye el número de especies aumenta (invierno, primavera y otoño). Esto coincide con lo puntualizado por Ramírez y Plata (2008) y Badylak *et al.* (2016) quienes mencionan que en la época seca existen condiciones más estables de flujo del agua lo que hace más favorable el establecimiento del epilíton, mientras que en la temporada de lluvias la acción abrasiva de la corriente es un factor responsable de la pérdida de algas epilíticas, lo que dificulta que las poblaciones se asienten o promueve que se desprendan del sustrato. En este trabajo, la comunidad de diatomeas epilíticas presentó una distribución espacial y temporal muy variada, distinguiéndose especies con amplia distribución. Otros trabajos en ambientes lóticos registraron especies en común al presente estudio y con una distribución parecida a la registrada para el río Apatlaco (Luque y Martínez de Fabricius, 2003; Mora *et al.*, 2015; Gómez, 2017; Taboada *et*

al., 2023). Asimismo, se observaron 56 especies raras (diagrama Olmstead Tukey), de estas la mayoría se distribuyó solo en una época del año y en un sitio de estudio, respecto a estas especies se menciona que son las especies factibles de ser empleadas como indicadoras de condiciones ambientales debido a que su presencia y distribución hace evidente la preferencia de algunas especies por sitios particulares y épocas específicas (Cabarcas-Mier y Tamaris-Turizo, 2015).

La abundancia total registrada en otros estudios sobre diatomeas epilíticas en sistemas lóticos del estado de Morelos como el de Gómez (2017), se reportan abundancias similares al presente estudio. Asimismo, Landa (2012) en seis localidades del río Amacuzac registró valores superiores a este estudio.

Por otro lado, los valores fisicoquímicos del agua presentan cambios que corresponden con la estacionalidad; la temperatura presentó registros menores durante invierno y otoño e incrementos en primavera y verano. El oxígeno disuelto se mantuvo con concentraciones elevadas durante invierno, primavera y verano en los tres sitios, lo anterior puede estar relacionado con las condiciones que imperan en el río, ya que de manera general este sistema presentó un flujo turbulento constante y fondo pedregoso que origina la solubilidad de este gas, esto mismo fue observado por Penalta-Rodríguez y López-Rodríguez (2007).

Los valores de conductividad se vieron relacionados con la altitud, el S1 presentó valores menores que los S2 y S3 durante el estudio, zona situada a una mayor altitud y cuya pendiente permite poca acumulación de sales, conforme se da el arrastre de material inorgánico este se incrementa en las zonas de planicie, de ahí que los registros en estos sitios sean mayores. Las aguas se caracterizaron por presentar valores alcalinos (De Wolf, 1982; Van Dam *et al.*, 1994). La dureza total presentó variación en sus concentraciones con la estacionalidad, observando para los tres sitios los registros más bajos en verano (lluvias) asumiendo que estos valores pueden ser originados a causa de una posible dilución en lluvias y en las épocas secas un incremento en los valores producto de la evaporación y la reducción del caudal, lo que propicia concentraciones de estos iones en el agua, tal como lo señalan Blanco y Scatena (2006).

Las concentraciones de cloruros variaron a lo largo del estudio, particularmente fue notorio que los valores más bajos fueron registrados en el S1, se puede inferir que las condiciones de los sitios favorecen estos valores, Romero (1999) considera que a pesar de que este ion se encuentra en el agua natural procedente de la disolución de suelos y rocas que lo contienen, también procede de descargas residuales domésticas, agrícolas e industriales y por el aporte de heces humanas en las aguas superficiales, situación que está más acentuada en los S2 y S3.

Los nitratos, nitritos y amonio presentaron oscilaciones, específicamente el S1 con bajos valores con respecto al S2 y S3, es posible que estos cambios estén siendo influenciados por lo que señalan Pacheco y Cabrera (2003) y Velázquez-Machuca *et al.* (2010), quienes indican que las actividades humanas incluyendo la escorrentía de terrenos cultivados, efluentes, fertilización excesiva, deforestación y el cambio en la materia orgánica del suelo como resultado de la rotación de cultivos, puede incrementar estos compuestos nitrogenados en los cuerpos de agua, situaciones más acrecentadas en los sitios 2 y 3. Los valores de ortofosfatos se consideran altos según Moreno-Franco *et al.* (2010) y Zarazúa *et al.* (2013) lo que podría deberse a la incorporación de aguas residuales y fertilizantes de zonas agrícolas al río, ya que el río Apatlaco en su recorrido atraviesa por zonas urbanas y campos de cultivo cuyas escorrentías van al cauce promoviendo estas altas concentraciones. Finalmente, el estado trófico de los sitios estudiados es mesotrófico en compuestos nitrogenados y de eutrófico a hipereutrófico en compuestos fosforados de acuerdo con la clasificación trófica descrita por Ramírez (2006). Los sitios de estudio mostraron fluctuaciones en la concentración de sílice, la disminución de este compuesto puede ser atribuida al probable uso por parte de las diatomeas y los máximos registros al proceso de disolución y mineralización del sedimento. Por lo que refieren los valores estimados y lo señalado por Fuentes y Massol-Deyá (2002), las concentraciones de sílice en los tres sitios correspondieron de altas a muy altas.

De acuerdo con las variables fisicoquímicas, los sitios del río Apatlaco estudiados se caracterizaron como de aguas templadas, oxigenadas a muy oxigenadas, de baja a mediana salinidad, alcalinas, de blandas a moderadamente duras, con niveles bajos de cloruros. Respecto a los compuestos nitrogenados y a la sílice, son aguas con concentraciones de altas a muy altas. En cuanto a los compuestos fosforados son aguas de adecuadas a altas.

CONCLUSIONES

En esta contribución se menciona por primera vez la composición de las diatomeas epilíticas en el río Apatlaco que muestra un número elevado de especies y una marcada variación espacial y temporal. Los resultados confirman el potencial de las diatomeas como bioindicadores sensibles para evaluar la calidad ambiental y los efectos de la estacionalidad en sistemas lóticos. Se requieren más estudios ecológicos y programas de monitoreo en la cuenca del río Apatlaco y otras regiones con condiciones similares que permitirán ampliar los conocimientos en la taxonomía, dinámica, estructura y composición de esta taxocenosis así como también estudios que profundicen en estos hallazgos para promover una gestión sostenible, manejo integrado y la preservación de los sistemas acuáticos de México.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Reinier Núñez por la elaboración de la figura 1.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores no tenemos conflictos de interés que declarar.

BIBLIOGRAFÍA

- American Public Health Association (APHA). (1992). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Water Works Association and Water Pollution Control Federation. Washington, D. C. USA.
- Arce, E. y Alcaraz, G. (2011). Shell use by the hermit crab *Calcinus californiensis* at different levels of the intertidal zone. *Scientia Marina* 75: 121-128. <https://doi.org/10.3989/scimar.2011.75n1121>
- Badylak, S., Phlips, E., Dix, N., Hart, J., Srifa, A., Haunert, D., He, Z., Lockwood, J., Stofella, P., Sun, D. y Yang, Y. (2016). Phytoplankton dynamics in a subtropical Tidal creek: Influences of rainfall and water residence time on composition and biomass. *Marine and Freshwater Research* 67: 466-482. <https://doi.org/10.1071/MF14325>
- B-Béres, V., Stenger-Kovács, C., Buczkó, K., Padisák, J., Selmečzy, G.B., Lengyel, E. y Tapolczai, K. (2023). Ecosystem services provided by freshwater and marine diatoms. *Hydrobiologia* 850: 2707-2733. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-04984-9>
- Benoiston, A. S, Ibarbalz, F. M., Bittner, L., Guidi, L., Jahn, O., Dutkiewicz, S. y Bowler, C. (2017). The evolution of diatoms and their biogeochemical functions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 372: 20160397. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2016.0397>
- Blanco, L. S., Alvarez, B. I., Cejudo, F. C. y Bécares, M. E. (2010). Guía de las diatomeas de la cuenca del Duero. Confederación Hidrográfica del Duero.
- Blanco J. F. y Scatena, N. F. (2006). Hierarchical contribution of river-ocean connectivity, water chemistry, hydraulics, and substrate to the distribution of diadromous snails in Puerto Rican streams. *Journal of the North American Benthological Society* 25: 82-98. [https://doi.org/10.1899/0887-3593\(2006\)25\[82:hcorcw\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1899/0887-3593(2006)25[82:hcorcw]2.0.co;2)
- Bojorge-García, M., Carmona, J. y Ramírez, R. (2014). Species richness and diversity of benthic diatoms communities in tropical mountain streams of Mexico. *Inland Waters* 4: 279-292. <https://doi.org/10.5268/IW-4.3.568>
- Breton-Deval, L., Sanchez-Flores, A., Juárez, K. y Vera-Estrella, R. (2019). Integrative study of microbial community dynamics and water quality along The Apatlaco River. *Environmental Pollution* 255: 113158. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113158>

- Cabarcas-Mier, A. y Tamaris-Turizo, C. E. (2015). Lista de microalgas epilíticas de la parte alta y media del río Gaira, Sierra Nevada de Santa Marta. *Revista Intropica* 10: 103-108.
- Cantoral-Uriza, E. A. (1997). Diatomeas (Bacillariophyceae) de ambientes lóticos en la cuenca baja de la Huasteca Potosina. (Tesis Doctoral), México: Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Chakraborty, S. K. (2021). Trophic interactions and biogeochemical cycles in River ecosystem. *Riverine Ecology* https://doi.org/10.1007/978-3-030-53897-2_4
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2012). El saneamiento del río Apatlaco. De lo crítico a lo sustentable. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D F. 50 p.
- 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. <https://doi.org/10.30550/j.lil/1991>
- De Wolf, H. (1982). Method of coding of ecological data from diatoms for computer utilization. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst* 36: 95-98.
- Fuentes, F. y Massol-Deyá, A. (2002). Manual de laboratorios. Ecología de microorganismos. Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico.
- García-Rodríguez, J., Molina-Astudillo, F. I., Quiroz, C. H., Trujillo, J. P. y Díaz, V. M. (2011). Distribución y sistemática del fitoplancton a lo largo del río Amacuzac (Morelos, México). *Acta Universitaria* 21: 11-23. <https://doi.org/10.15174/au.2011.23>
- Gómez, F. J. (2017). Aspectos ecológicos de las diatomeas epilíticas y fitoplanctónicas en la microcuenca Coaxitlán (Morelos- Guerrero), México. (Tesis Licenciatura), Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Morelos, México.
- Gualtero, L. D. M. (2007). Composición y abundancia de las algas bénticas de Cinco sistemas lóticos de Puerto Rico. (Tesis Maestría), Universidad de Puerto Rico.
- Guiry, M. D. y Guiry, G. M. (2025). AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>
- Johansen, J. R., Rushforth, S. R., Orbendorfer, R., Fungladda, N. y Grimes, J. A. (1983). The Algal Floral of Selected wetwalls in Zion National Park, Utah, USA. *Nova Hedwigia* 38: 765-808.
- Jüttner, I., Carter, C., Cox, E. J., Ector, L., Jones, V., Kelly, M. G., Kennedy, B., Mann, D. G., Turner, J. A., Van de Vijver, B., Wetzel, C. E., Williams, D. M. (2025). Freshwater Diatom Flora of Britain and Ireland. Amgueddfa Cymru - National Museum Wales. Available online at <https://naturalhistory.museumwales.ac.uk/diatoms>

- Kelly, M. G., Cazaubon, A., Coring, E., dell'Uomo, A., Ector, L., Orfebre, B., Guasch, H., Hürlimann, J., Jarlman, A., Kawecka, B., Kwandrans, J., Laugaste, R., Lindstrom, E. A., Leitao, M., Marvan, P., Padisák, J., Pipp, E., Prygiel, J., Rott, E., Sabater, S., Vandan, H. y Vizinet, J. (1998). Recommendations for the routine sampling of diatoms for water quality assessments in Europe. *Journal of Applied Phycology* 10: 215-224. <https://doi.org/10.1023/A:1008033201227>
- Krammer, K. y Lange-Bertalot, H. (1998). Bacillariophyceae 2. Bacillariaceae, Ephitemiaceae, Surirellaceae. Band 2/2. Die Süßwasserflora von Mitteleuropa. Pascher, A; Ettl, H.; Gerloff, J.; Heyning, H.; Mollenhauer, D. (Eds.) Stuttgart. Gustav Fischer Verlag.
- Landa, M. M. (2012). Comunidad epilítica y físicoquímica del agua en el Río Amacuzac, Morelos, México. (Tesis Licenciatura), Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Morelos, México.
- Liu, L., Yang, J., Yu, X., Chen, G. y Yu, Z. (2013). Patterns in the composition of microbial communities from a subtropical River: effects of environmental, spatial and temporal factors. *PLoS ONE* 8: e81232. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081232>
- Lobo, E. A., Heinrich, C. G., Schuch, M., Wetzel, C. E. y Ector, L. (2016). Diatoms as bioindicators in Rivers. In: Necchi JR, O. (eds) River Algae. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31984-1_11
- Luque, E. M. y Martínez de Fabricius, A. L. (2003). Distribución temporal del fitoplancton y epilíton en el río Piedra Blanca (Córdoba, Argentina). *Limnetica* 22: 19-34.
- Medeiros, G., Padial, A. A., Wedig, A. M. W., Ludwig, T. A. V. y Bueno, N. C. (2020). Environmental variables likely influence the periphytic diatom community in a subtropical lotic environment. *Limnologica* 80: 125718. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2019.125718>
- Montoya, M. Y., Ramírez-Restrepo, J. y Segecin-Moro, R. (2010). Diatomeas perifíticas de la zona de ritral del río Medellín (Antioquia), Colombia. *Actualidades Biológicas* 30: 181-192.
- Mora, D., Carmona, J. y Cantoral-Uriza E. A. (2015). Diatomeas epilíticas de la cuenca del río Laja, Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86: 1024-1040. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2015.09.004>
- Mora, D., Carmona, J., Jahn, R., Zimmermann, J. y Abarca, N. (2017). Epilithic diatom communities of selected streams from the Lerma-Chapala Basin, Central Mexico, with the description of two new species. *PhytoKeys* 88: 39-69. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.88.14612>
- Moreno-Franco, D. P., Quintero-Manzano, J. y López-Cuevas, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *Contactos* 78: 25-33.
- Necchi, J. O. (2017). River Algae. São José do Rio Preto, SP, Brazil: Springer.
- Novelo, E., Tavera, R. y Ibarra, C. (2007). Bacillariophyceae from Karstic Wetlands in México. *Bibliotheca Diatomologica*. Band 54. J. Cramer in der Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung. Berlin. Stuttgart.

- Olmstead, P. S. y Tukey, J. W. (1947). A corner test for association. *Annals of Mathematical Statistics* 18: 495-513.
- Pacheco, A. J. y Cabrera, S. A. (2003). Fuentes principales de nitrógeno y nitratos en aguas subterráneas. *Ingeniería* 7: 47-54.
- Park, H., Lee, H., Heo, J., Yun, J., Kim, Y., Kim, H., Hong, D. y Lee, I. (2021). Deciphering the key factors determining spatio-temporal heterogeneity of cyanobacterial bloom dynamics in the Nakdong River with consecutive large weirs. *Science of The Total Environment* 755: 143079. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143079>
- Penalta-Rodríguez, M. y López-Rodríguez, M. (2007). Diatomeas y calidad del agua de los ríos del Macizo Central Gallego (Ourense, N.O. España) mediante la aplicación de índices diatomológicos. *Limnetica* 26: 351-358.
- Potapova, M. G. y Charles, D. F. (2002). Benthic diatoms in USA rivers: distributions along spatial and environmental gradients. *Journal of Biogeography* 29: 167-187. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2002.00668.x>
- Ramírez, G. A. (2006). Ecología. Métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades. Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
- Ramírez, A. M. y Plata, D. Y. (2008). Diatomeas perifíticas en diferentes tramos de dos sistemas lóticos de alta montaña (Páramo de Santurbán, Norte De Santander, Colombia) y su relación con las variables ambientales. *Acta Biológica Colombiana* 13: 199-216.
- Rimet, F. (2012). Recent views on river pollution and diatoms. *Hydrobiologia* 683: 1-24. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0949-0>
- Romero, R. J. A. (1999). Calidad del agua. Alfa-Omega Grupo Editorial S.A. de C.V. y Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Salinas-Camarillo, V. H. (2015). Taxonomía y distribución de las diatomeas epilíticas de ríos en la Cuenca de México. (Tesis Licenciatura), Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- 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: 187-202.
- Soininen, J., Paavola, R. y Muokta, T. (2004). Benthic diatom communities in boreal streams: community structure in relation to environmental and spatial gradients. *Ecography* 27: 330-342. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2004.03749.x>
- Spaulding, S. y Edlund, M. (2025). In Diatoms of North America from <https://diatoms.org/genera/>
- Starmach, K. (1985). SüBwasserflora von MittelEuropa. Pascher, A., Ettl, H., Gerloff, J., 60 Heyning, H. y Mollenhauer, D. (Eds.). Stuttgart. Gustav Fischer Verlag. 537 p.

- Taboada, M. de los Á., Alderete, M., Bustos, M. S. y Gultemirian, M. de L. (2023). Dinámica y composición de los ensamblajes diatomológicos de dos arroyos del Noroeste Argentino en relación con variables ambientales. *Bonplandia* 32 (1): 39-56. <http://dx.doi.org/10.30972/bon.3216372>
- Tapia, M. E. (2002). Estudio de las comunidades del fitoplancton en los ríos Daule, Guayas y Estero Salado. *Acta Oceanográfica del Pacífico* 11: 79-90.
- Tavira, C. L. (2010). Utilización de las diatomeas como bioindicadoras de la calidad del agua en el río Amacuzac, Morelos, México. (Tesis Licenciatura), Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Tudesque, L., Rimet, F. y Ector, L. (2008). A new Taxon of the section *Nitzschia lanceolata* grunow: *Nitzschia costei* sp. nov. compared to *N. fonticola* grunow, *N. macedonia* hustedt, *N. tropica* hustedt and related species. *Diatom Research* 23: 483-501. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2008.9705771>
- Valadez-Cruz, F., Carmona-Jiménez, J. y Cantoral-Uriza, E. A. (1996). Algas de ambientes lóticos en el estado de Morelos, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 67: 227-282.
- Van Dam, H., Mertens, A. y Sinkeldam, J. (1994). A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 28: 117-133. <https://doi.org/10.1007/BF02334251>
- Vázquez, G., Aké-Castillo, J. A. y Favila, M. E. (2011). Algal assemblages and their relationship with water quality in tropical Mexican streams with different land uses. *Hydrobiologia* 667: 173-189. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0633-4>
- Velázquez-Machuca, M. A.; Pimentel-Equihua, J. L. y Ortega-Escobar, H. M. (2010). Longitudinal and temporal hydrochemical variations in the Duero River. *Agrociencia* 44: 599-609.
- Vidales, P. R. (2010). Estudio limnológico y ficológico en los ríos Apatlaco, Puebla y Amatzinac, Morelos. (Tesis Licenciatura), Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Ward, J. V. (1989). The four-dimensional nature of lotic ecosystem. *Journal of the North American Benthological Society* 8: 2-8. <https://doi.org/10.2307/1467397>
- Wehr, D. J., Sheath, G. R. y Patrick, K. J. (2015). *Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification*. 2nd ed. San Diego:Academia Press: Elsevier Inc. 1-11
- Zarazúa, G., Ávila-Pérez, P., Tejeda, S., Valdivia-Barrientos, M., Zepeda-Gómez, C. y Macedo-Miranda, G. (2013). Evaluación de los metales pesados Cr, Mn, Fe, Cu, Zn y Pb en sombrero de agua (*Hydrocotyle ranunculoides*) del curso alto del río Lerma, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 29: 17-24.