

Dinoflagelados epifíticos en Yucatán y
Diatomeas de arroyos en Veracruz



DIATOMEAS DE ARROYOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO LA ANTIGUA, VERACRUZ

DIATOMS IN STREAMS FROM THE UPPER WATERSHED OF THE LA ANTIGUA RIVER, VERACRUZ

Gabriela Vázquez*

Red de Ecología Funcional, Instituto de Ecología, A.C. Carretera antigua a Coatepec 351, El Haya, Xalapa 91070, Veracruz, México. Tel. (228) 842 18 00 ext. 4220.

*Correspondencia: gabriela.vazquez@inecol.mx

RESUMEN

En la cuenca alta del río La Antigua, Veracruz, hay muchos arroyos y ríos que se encuentran inmersos en un paisaje dominado por fragmentos de bosque mesófilo, pastizales, cultivos y zonas urbanas. En este estudio, se analizó el efecto del uso de suelo sobre la calidad del agua y los ensambles de diatomeas epilíticas de 8 arroyos que se encuentran en microcuencas en las que hay un gradiente en el predominio de bosque mesófilo o de pastizales. La conductividad y el sílice mostraron los patrones más claros en relación al uso de suelo, encontrándose bajos valores de estas variables en los arroyos rodeados de bosque, en comparación a los de pastizales. La riqueza, diversidad y biomasa de las diatomeas fueron menores en los ríos de bosque, al compararse con los ríos con mayor porcentaje de pastizales. La composición de especies de los ensambles de diatomeas se relacionó también con el uso de suelo. En este estudio se muestra que los ensambles de las diatomeas bentónicas son buenos indicadores del estado de salud de los arroyos que se encuentran en microcuencas con diferente uso de suelo.

Palabras clave: arroyos, bosque mesófilo, diatomeas, México, uso de suelo.

ABSTRACT

In the upper watershed of river La Antigua, Veracruz, there are many streams and rivers immersed in a landscape dominated by patches of cloud forest, pastures, crops and urban zones. This study inves-

tigated the effect of land use on water quality and the benthonic diatom assemblages of 8 streams located in watersheds with high coverage of cloud forest or grassland. Conductivity and silica showed the closest association with land use: low levels of these variables were recorded in streams surrounded by forest, as opposed to grassland. Diatom richness, diversity and biomass were lower in forest streams compared with grassland streams. The species composition of diatom assemblages were also related to land use. This study shows that benthic diatom assemblages are suitable indicators of the health condition of streams in watersheds with different types of land use.

Keywords: cloud forest, diatoms, land use, Mexico, streams.

INTRODUCCIÓN

El bosque mesófilo de montaña es uno de los ecosistemas más biodiversos pero más frágiles del planeta al encontrarse confinados a una estrecha franja de las montañas en donde se condensa el aire húmedo del mar, lo que genera que estas regiones tengan alta humedad y precipitación (Sarukhán 2014). Lo abrupto de las zonas de montaña favorece la presencia de una gran cantidad de ríos y arroyos en los bosques mesófilos de montaña que brindan una serie de servicios ambientales muy importantes al abastecer de agua a las ciudades y poblados cercanos, pero también sirven como un termómetro para evaluar el estado de conservación de estos ecosistemas amenazados por las actividades humanas.

En México el bosque mesófilo de montaña se encuentra en regiones de las montañas de los estados de Tamaulipas, Nuevo León, San Luis Potosí, Veracruz, Oaxaca y Chiapas (Rzedowski 1996). Todos estos lugares con una gran cantidad de ríos y arroyos han sido poco estudiados. En Veracruz, el bosque mesófilo ha estado sujeto a actividades humanas desde épocas prehispánicas, en la actualidad las actividades principales de la región son el cultivo de café y caña de azúcar, así como la ganadería. El efecto que tienen estas actividades sobre los ríos y arroyos de la región han sido estudiados muy recientemente (Vázquez *et al.* 2011).

La cuenca alta del río La Antigua, en Veracruz, está irrigada por una gran cantidad de ríos y arroyos que se encuentran en un paisaje fragmentado, ya que en la zona ha habido grandes modificaciones por la deforestación. Esto ha favorecido la presencia de fragmentos de bosque mesófilo, campos agrícolas, pastizales para ganadería, cafetales y zonas urbanas (García-Franco *et al.* 2008). En esta zona se han realizado estudios que han permitido determinar el efecto del cambio de uso de suelo sobre la composición florística del bosque (García-Franco *et al.* 2008), analizar los servicios ecosistémicos que ofrecen la vegetación y los ríos por su calidad del agua (Martínez *et al.* 2009) y, además, se ha analizado la relación entre los ensamblajes de algas con la calidad del agua en ríos que se encuentran en microcuencas con diferente uso de suelo: bosque mesófilo, cafetales y pastizales (Vázquez *et al.* 2011).

Para estudiar la relación entre el uso de suelo y la calidad del agua se han utilizado organismos indicadores como las algas bentónicas, en particular las diatomeas (Jüttner *et al.* 2003; Pan *et al.* 2004; Vázquez *et al.* 2011). Algunas características importantes por las que este grupo se considera como buen indicador ecológico son su alta diversidad, sus ciclos de vida cortos, y su respuesta rápida a las alteraciones del ambiente (Lowe & Pan 1996). En este trabajo se compara la riqueza y diversidad de los ensamblajes de diatomeas epilíticas y la calidad del agua de arroyos que se encuentran en microcuencas con diferentes porcentajes de cobertura de bosque y pastizal de la cuenca alta del río La Antigua.

MÉTODOS

Área de estudio. Este estudio se realizó en 8 arroyos que se encuentran en microcuencas con diferente uso de suelo en la parte alta de la cuenca del río La Antigua en el centro de Veracruz (Fig. 1). El clima de la zona es templado húmedo, la temperatura media anual es de 18 °C y la precipitación total es de 1,500 mm (Williams-Linera 2007). La vegetación

dominante de la región es bosque mesófilo, aunque hay grandes zonas dedicadas a la ganadería y a cultivos (García-Franco *et al.* 2008).

Selección de sitios, muestreo y análisis de laboratorio. Para seleccionar las microcuencas de estudio se utilizaron fotografías aéreas (escala 1:50,000) y los mapas topográficos, de suelos, geomorfología, de aguas superficiales y de vegetación, además de varios recorridos de campo. En cada microcuenca se escogieron los arroyos considerando la cobertura de bosque mesófilo como indicador de conservación. Con base en este criterio se escogieron los arroyos en un gradiente del 80% al 16% de cobertura de bosque. Siguiendo el método de jerarquización de redes fluviales de Strahler (1952), se estableció como criterio que el orden de los ríos de estudio seleccionados fuera de 1 a 3 (Cuadro 1).

El trabajo de campo se realizó en época de secas (mayo del 2009). En cada arroyo se tomaron muestras de agua para realizar análisis de diferentes variables en dos sitios separados por 100 m. En cada sitio se midió la conductividad con un multiparamétrico (YSI 85) y el pH con un potenciómetro (Barnant Mod. 20). Se tomaron dos muestras de agua para determinar nitratos (N-NO_3 , método de brucina), nitritos (N-NO_2 , diazotización), amonio (N-NH_4 , método de Nessler), fósforo reactivo soluble (PRS, método del ácido ascórbico) y sílice (SiO_2 , método del molibdato), siguiendo las técnicas espectrofotométricas de la APHA (1998). Se calculó el nitrógeno inorgánico disuelto (NID) para cada arroyo sumando las diferentes fracciones cuantificadas ($\text{N-NO}_3 + \text{N-NO}_2 + \text{N-NH}_4$). Las muestras de agua se refrigeraron y fueron procesadas en el laboratorio en un período menor a 48 h.

En cada arroyo se tomaron muestras de diatomeas de tres rocas (10 cm² aproximadamente) seleccionadas al azar en un transecto de 10 m. Las piedras se rasparon con un cepillo de dientes y la muestra obtenida se colocó en 250 ml de agua. Las diatomeas obtenidas fueron limpiadas con permanganato de potasio y ácido clorhídrico y montadas con resina (Naphrax) en preparaciones permanentes (Hasle 1978). Para la identificación taxonómica se utilizaron claves especializadas (Krammer & Lange-Bertalot 1991a, b, 1997, 1999). Las especies fueron cuantificadas usando cámaras de sedimentación y un microscopio invertido (Leica) siguiendo a Vázquez *et al.* (2011). La abundancia de cada especie fue obtenida cuantificando al menos 300 individuos de las especies más abundantes en dos transectos en la celda (Venrick 1978). Se relacionó

el número de individuos contados en los transectos (área conocida) con el área de cada roca para obtener la densidad de cada especie (número de organismos por cm^2). También se obtuvo la concentración de clorofila de tres rocas de cada arroyo colocándolas en metanol al 90%, en la oscuridad y en refrigeración durante 24 horas. La clorofila se midió con un espectrofotómetro (Spectronic) y la concentración (mg cm^{-2}) se calculó con las ecuaciones de Holden (Meeks 1974). En las láminas 1 y 2 se presentan fotografías tomadas con un microscopio Nikon (Eclipse 80i, cámara DSFi1) de algunas de las especies con mayor densidad.

Análisis de datos. Para comparar la composición de especies entre los arroyos, se aplicó un análisis de conglomerados a una matriz de presencia ausencia, utilizando el índice de Jaccard con el programa estadístico de análisis multivariado MVSP (Multi-variate Statistical Package). Para cada arroyo se obtuvo la riqueza y diversidad de Simpson utilizando los datos de densidad de cada especie. Para relacionar la densidad de las especies registradas de cada río con las variables fisicoquímicas medidas se aplicó un Análisis Canónico de Correspondencias (ACC-CANOCO) con el programa MVSP. Las variables fisicoquímicas fueron normalizadas con logaritmos ($\log x+1$), excepto el pH.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En general, en los arroyos con el más alto porcentaje de bosque (Chivizcoyo, Piedra Blanca, Monte Grande) se registraron los valores más bajos de conductividad; los valores más altos se registraron en el arroyo El Chorrillo que tiene más del 70% de pastizal. El pH del agua presentó valores cercanos a la neutralidad en todos los arroyos. De los nutrientes, el sílice tuvo el patrón más claro en relación al uso de suelo, ya que se registró la mayor concentración en los arroyos con mayor porcentaje de pastizal, en particular en el Chorrillo (Cuadro 2). En cambio, los nitratos fueron altos en los arroyos de bosque principalmente. Esto ha sido encontrado en otros arroyos rodeados de bosque de la misma cuenca (Vázquez *et al.* 2011) y se ha relacionado con un alto contenido de nitrógeno del humus del bosque. En el arroyo Puente de Dios se registraron las mayores concentraciones de nitratos. Las mayores concentraciones de PRS se registraron en Xico Viejo, Vista Hermosa 2 y Puente de Dios que son los arroyos que podrían considerarse más alterados pues presentan el mayor porcentaje de cultivos y uso urbano. En todos los arroyos es difícil relacionar el sílice con el uso de suelo, ya que en esta

zona el Si está más asociado con el tipo de sustrato que es de origen volcánico (Williams-Linera *et al.* 2007; Muñoz-Villers 2008). Los suelos de pastizales en particular tienen un alto contenido de arcillas y silicato de aluminio que por intemperización se libera Si a los arroyos (Muñoz-Villers 2008).

En todos los arroyos se registró un total de 23 géneros y 37 especies de diatomeas (Cuadro 3). Los arroyos con el mayor porcentaje de bosque (>65%), Chivizcoyo, Piedra Blanca y Monte Grande, fueron diferentes por su composición de especies de los arroyos con un porcentaje entre el 50 y 65% de bosque y un mayor porcentaje de pastizal que son los arroyos de Xico Viejo y Puente de Dios, Vista Hermosa 1 y 2 y El Chorrillo (Fig. 2).

Al relacionar con el ACC la densidad de las especies (individuos por cm^2) con las variables fisicoquímicas medidas, se encontraron diferentes grupos de arroyos asociados a las diferentes condiciones fisicoquímicas (Fig. 3a). Los dos primeros ejes explicaron el 56% de la varianza total (30 % y 26% respectivamente). Las variables más importantes que se correlacionaron con el eje 1 fueron el NH_4 y NO_3 ; con respecto al eje 2 fueron la relación NID/PRS, el SiO_2 , la conductividad, el PRS y el pH. En los arroyos Monte Grande y Piedra Blanca se registraron los mayores valores de NID/PRS, particularmente en Monte Grande. En ambos arroyos se tienen las concentraciones más bajas de PRS y SiO_2 , así como las conductividades más bajas de todos los sitios (Fig. 3a). El arroyo Monte Grande tiene limitación por PRS pues presentó concentraciones $< 0.1 \mu\text{M}$ que según Reynolds (1999) indica limitación por P (Cuadro 2). En estos arroyos se registraron las densidades más altas de *Achnanthes minutissimum* y *Pinnularia gibba* principalmente (Fig. 3b). *A. minutissimum* es considerada como indicadora de ríos bien oxigenados, con baja conductividad y condiciones oligo-eutróficas (Van Dam *et al.* 1994; Potapova y Hamilton, 2007). *Pinnularia gibba* fue la otra especie que se encontró en estos arroyos, pero en menores densidades, también tolera condiciones con bajas cantidades de nutrientes (oligotróficas) como en donde hay una gran cantidad de nutrientes (eutróficas) (Fig. 3b). Se formó otro grupo con los arroyos Vista Hermosa 1 y Vista Hermosa 2 con concentraciones altas de SiO_2 , y la relación más baja de NID/PRS debido a las bajas concentraciones de NO_3 y a que no se detectó NH_4 , lo que en este caso sugiere limitación por N principalmente en Vista Hermosa 1 (Fig. 3a, Cuadro 2). En estas condiciones se encontraron altas densidades de *Amphipleura lindheimeri*, *Achnanthes rupestoides*, *Surirella linearis*, *Nitzschia fonticola*,

Eunotia pectinalis y *Encyonema silesiacum*, que han sido reportadas como indicadoras de condiciones oligotróficas a mesotróficas (Van Dam *et al.* 1994). El tercer grupo estuvo formado por los arroyos Chivizcoyo, El Chorruto, Xico Viejo y Puente de Dios, asociados a las concentraciones de los nutrimentos y a la relación NID/PRS con valores intermedios en comparación a los arroyos antes mencionados (Fig. 3a, Cuadro 2), pero se encontraron asociados al eje 2 del CCA. Sin embargo, las especies dominantes de diatomeas fueron diferentes entre ellos. En el arroyo Chivizcoyo se registraron densidades altas de *Surirella biseriata*, *Nitzschia amphibia* y *Gomphonema parvulum* las cuales pueden ser encontradas en condiciones meso-eutróficas (Van Dam *et al.* 1994). Como se mencionó anteriormente, las altas concentraciones de NO_3 en este arroyo pueden relacionarse con la hojarasca proveniente del bosque mesófilo que tiene un alto porcentaje en este arroyo (80%), coincidiendo con los resultados de Vázquez *et al.* (2011). En cambio, en los arroyos Xico Viejo, Puente de Dios y el Chorruto con un mayor porcentaje de pastizales y cultivos, tuvieron densidades altas *Cocconeis placentula*, *Fragilaria goulardii*, *Gomphonema clavatum*, *Gomphonema* sp. 1 y *Rhoicosphaenia abbreviata* que son características de sistemas eutróficos.

Los arroyos con mayor porcentaje de bosque tuvieron la menor riqueza, diversidad y las concentraciones más bajas de clorofila (Chivizcoyo, Piedra Blanca y Monte Grande) (Fig. 4a, b, c). Al analizar la relación entre estos resultados y los nutrimentos que son importantes para las diatomeas (N, P, y Si), los arroyos Piedra Blanca y Monte Grande tuvieron los valores más bajos de Si de todos los arroyos estudiados, y los valores más altos de NID/PRS, lo que indica que no hay limitación por nitrógeno, pero sí de P, principalmente en Monte Grande. En cambio, el arroyo Chivizcoyo que se encuentra en una microcuenca con alto porcentaje de bosque mesófilo también tiene valores bajos de riqueza y clorofila, pero se registró una concentración de Si, NH_4 y NO_3 tan alta como los otros arroyos. Estos resultados coinciden con lo reportado por Vázquez *et al.* (2011) para otros ríos de bosque de la misma región de La Antigua, en donde la baja riqueza de diatomeas y baja concentración de clorofilas en los ríos de bosque, se relacionan con la poca penetración de luz debido a la alta cobertura arbórea que se encuentra sobre el cauce. Astudillo *et al.* (2015) reportan para los mismos sitios de este estudio (excepto VH1, VH2 y Puente de Dios) altas coberturas sobre el cauce (>80%) lo que debe estar influyendo en los bajos valores encontrados de la

riqueza y la diversidad de las diatomeas y la clorofila de Chivizcoyo, Piedra Blanca y Monte Grande. En cambio, en los arroyos más alterados (Xico Viejo, Vista Hermosa 1, Vista Hermosa 2 y Puente de Dios), la mayor riqueza, diversidad y biomasa registradas (Fig. 4a, b, c) pueden explicarse por una mayor concentración de nutrientes debido al mayor porcentaje de cultivos y zonas urbanas y posiblemente relacionado con la mayor cantidad de luz que llega al cauce al presentar un menor porcentaje de cobertura arbórea.

De esta forma, podemos concluir que la riqueza y la diversidad de diatomeas epilíticas, así como la productividad, medida por la clorofila, están estrechamente relacionadas con las contrastantes condiciones ambientales que se presentan actualmente en la región de La Antigua. La mayor diversidad registrada en los arroyos más alterados sugiere que son sistemas con una perturbación intermedia y que pueden mantener una diversidad de media a alta, en comparación a los arroyos conservados rodeados de bosque. Los resultados del estudio sugieren que el estado trófico de los arroyos es consecuencia de la transformación de los bosques a pastizales y cultivos principalmente, en donde el uso de fertilizantes provoca que nitratos y fosfatos lleguen a los arroyos por escurrimientos y favorezcan su eutrofización. Este estudio también confirma que las diatomeas epilíticas son buenos indicadores ecológicos del estado de salud de los arroyos que se encuentran en microcuencas con diferente uso de suelo en la cuenca alta del río La Antigua.

REFERENCIAS

- American Public Health Association (APHA). 1998. *Standard Methods for Examination of Water and Waste Water*. American Public Health Association, Washington, D.C.
- Astudillo, M.R., R. Novelo-Gutiérrez, G. Vázquez, J.G. García-Franco & A. Ramírez. 2016. Relationships between land cover, riparian vegetation, stream characteristics, and aquatic insects in cloud forest streams, Mexico. *Hydrobiologia*. 768: 167-181.
- García-Franco, J.G., G. Castillo-Campos, K. Mehlreter, M.L. Martínez & G. Vázquez. 2008. Composición florística de un bosque mesófilo del centro de Veracruz, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 83: 37-52.
- Hasle, G.R. 1978. Diatoms. In: A. Sournia. Ed. *Phytoplankton Manual*. UNESCO, Paris. pp. 136-142.
- Jüttner, I., S. Sharma, B.M. Dahal, S.J. Ormerod, P.J. Chimonides & E.J. Cox. 2003. Diatoms as indicators of stream quality in Kathmandu Valley and Middle Hills of Nepal and India. *Freshwater Biology* 48: 2065-2084.

- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot. 1991a. *Bacillariophyceae*. 3. Teil: *Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. Süßwasserflora von Mitteleuropa Band 2/3. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot. 1991b. *Bacillariophyceae*. 4. Teil: *Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema Gesamliter-atuverzeichnis*. Teil 1-4. Süßwasserflora von Mitteleuropa Band 2/4. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot. 1997. *Bacillariophyceae*. 2. Teil: *Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*. Süßwasserflora von Mitteleuropa Band 2/2. Spektrum Akademischer Verlag, Wiesbaden.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot. 1999. *Bacillariophyceae*. 1. Teil: *Naviculaceae*. Süßwasserflora von Mitteleuropa Band 2/1. Spektrum Akademischer Verlag, Wiesbaden.
- Lowe, R.L. & Y. Pan. 1996. Benthic algal communities as biological monitors. In: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe. Eds. *Algal Ecology. Freshwater Benthic Systems*. Academic Press, San Diego. pp. 705-739.
- Martínez, M.L., O. Pérez-Maqueo, G. Vázquez, G. Castillo-Campos, J. García-Franco, K. Mehlreter, M.E. Equihua & R. Landgrave. 2009. Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. *Forest Ecology and Management* 258: 1856-1863.
- Meeks, J.C. 1974. Chlorophylls. In: W.D.P. Stewart. Ed. *Algal Physiology and Biochemistry*. University of California Press & Blackwell Scientific Publications Ltd., Berkeley-Los Angeles. pp. 161-174.
- Muñoz-Villers, L.E. 2008. Efecto del cambio en el uso de suelo sobre la dinámica hidrológica y calidad de agua en el trópico húmedo del centro de Veracruz, México. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma Metropolitana. 278 pp
- Pan, Y., A. Herlihy, P. Kaufmann, J. Wiginton, J. van Sickle & T. Moser. 2004. Linkages among land-use, water quality, physical habitat conditions and lotic diatom assemblages: a multi-spatial scale assessment. *Hydrobiologia* 515: 59-73.
- Potapova, M. & P.B. Hamilton. 2007. Morphological and ecological variation within the *Achnantheidium minutissimum* (Bacillariophyceae) species complex. *Journal of Phycology* 43: 561-575.
- Reynolds, C.S. 1999. Non-determinism to probability, or N:P in the community ecology of phytoplankton nutrient ratios. *Archiv für Hydrobiologie* 146:23-35.
- Rzedowski, J. 1996. Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica de México* 35:25-44.
- Sarukhán, J. 2014. Prefacio. In: Gual-Díaz M. y A. Rendón-Correa. Eds. *Bosques mesófilos de montaña de México: diversidad, ecología y manejo*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. pp. 17-18.
- Strahler, A. 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin* 63: 1117-1142.
- Van Dam, H., A. Mertens & J. Sinkeldam. 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 28: 117-133.
- Vázquez, G., J.A. Aké-Castillo & M.E. Favila. 2011. Algal assemblages and their relationship with water quality in tropical streams with different land uses. *Hydrobiologia* 667: 173-189.
- Venrick, E.L., 1978. How many cells to count? In: A. Sournia. Ed. *Phytoplankton Manual*. UNESCO, Paris. pp. 167-180.
- Williams-Linera, G. 2007. *El Bosque de niebla del centro de Veracruz: Ecología, historia y destino en tiempos de fragmentación y cambio climático*. CONABIO-Instituto de Ecología, A.C., Xalapa.

Recibido: 15 de agosto de 2015

Revisado: 04 de septiembre de 2015

Corregido: 25 de enero de 2016

Aceptado: 29 de enero de 2016

Revisores: R. Tavera y E. Novelo

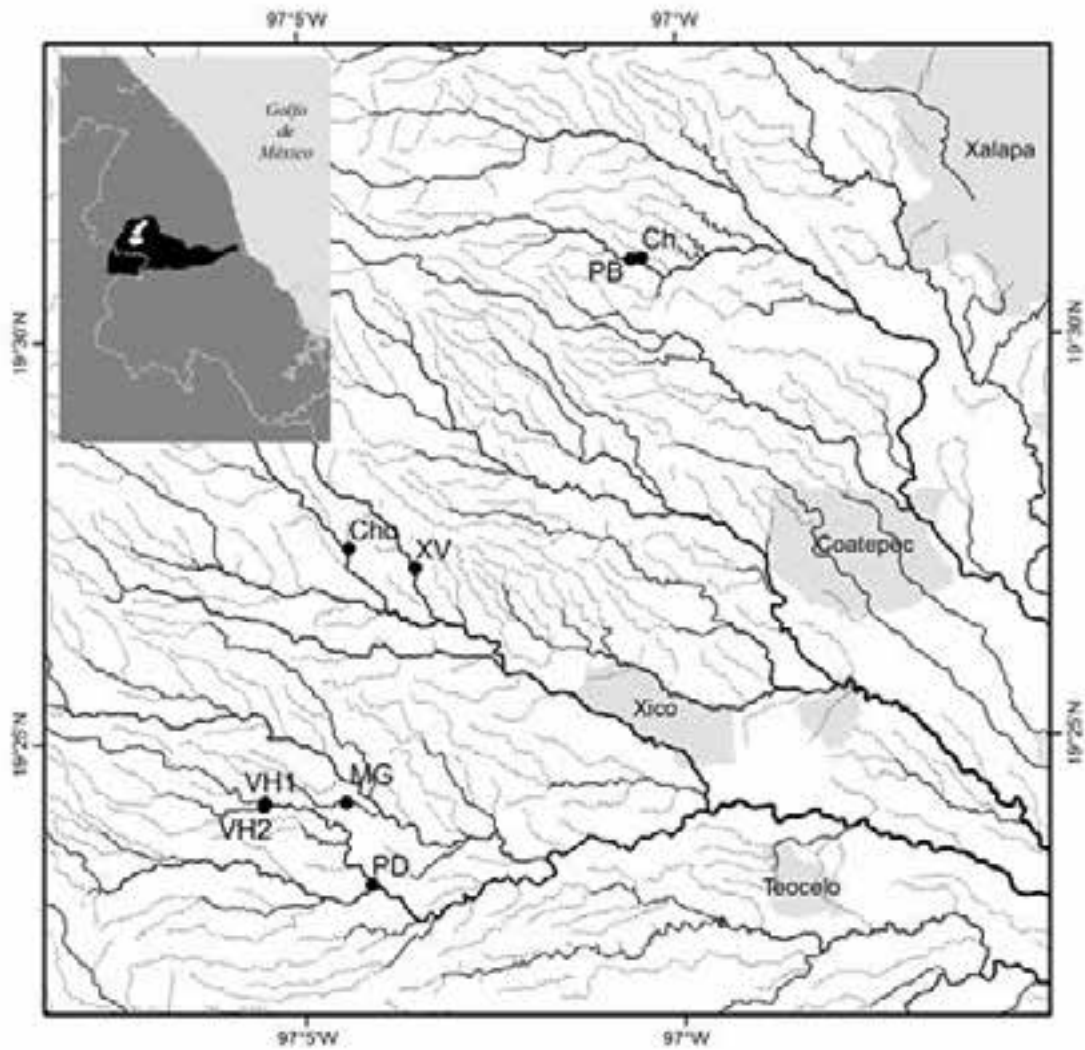


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo en la cuenca alta del río La Antigua, Ver. Ch- Chivizcoyo, PB- Piedra Blanca, MG- Monte Grande, XV- Xico Viejo, VH 1- Vista Hermosa 1, VH 2- Vista Hermosa 2, PD- Puente de Dios, Cho- Chorrito.

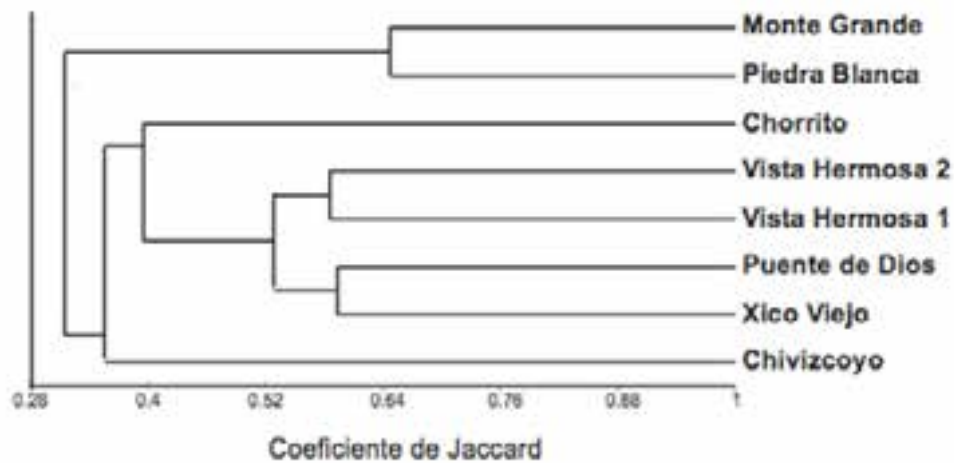
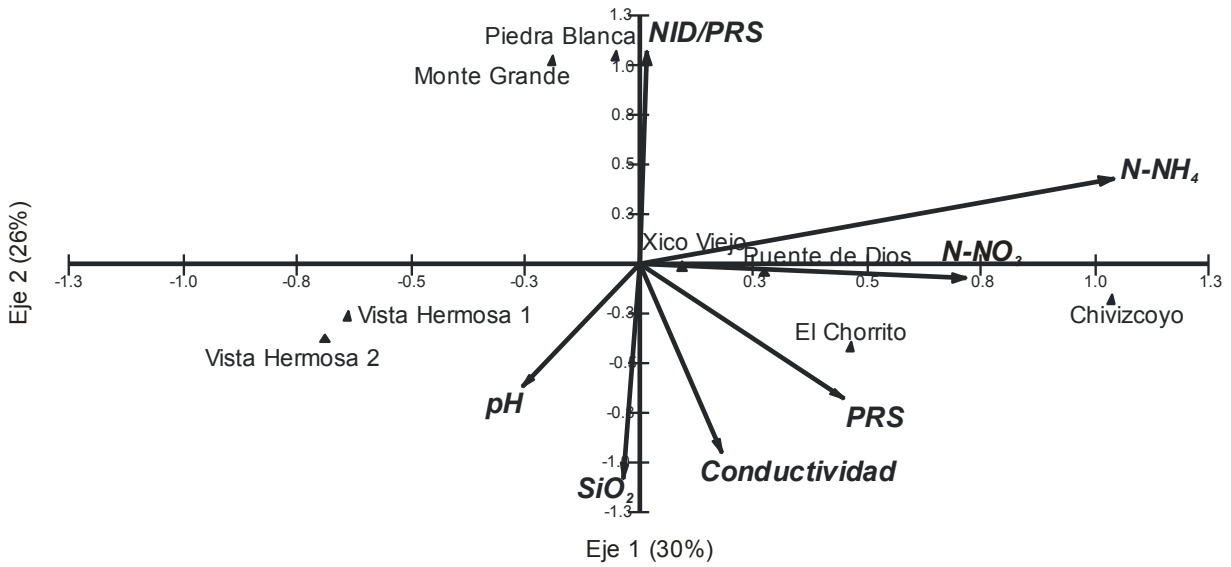


Figura 2. Análisis de conglomerados de los arroyos estudiados con base en la presencia-ausencia de las diatomeas en la cuenca alta del río La Antigua, Ver.

a)



b)

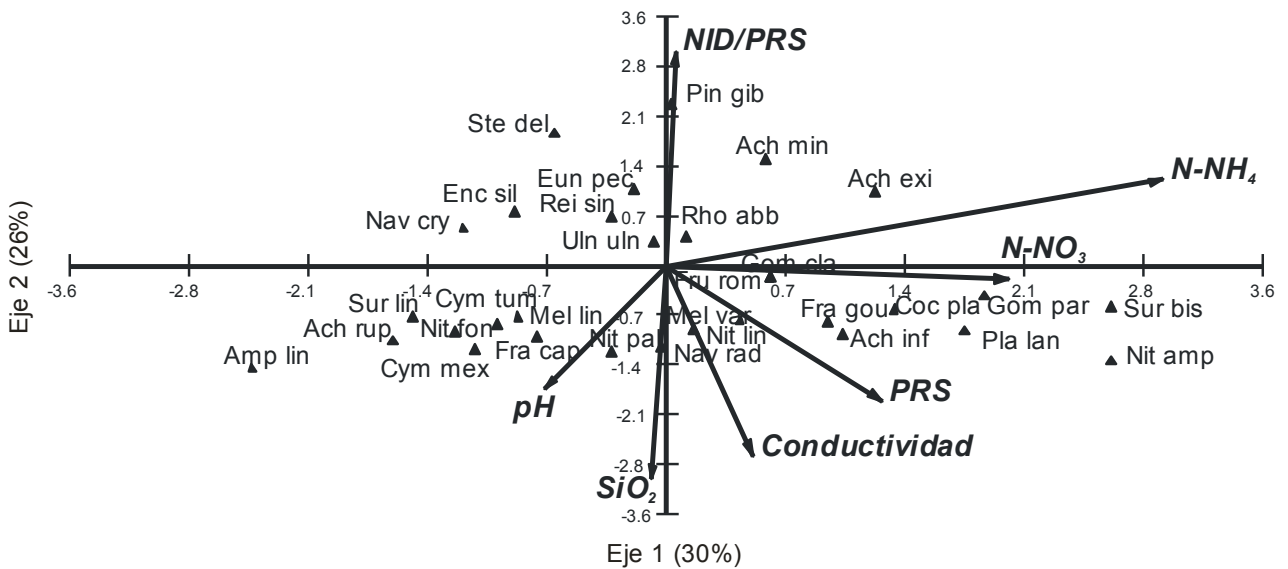
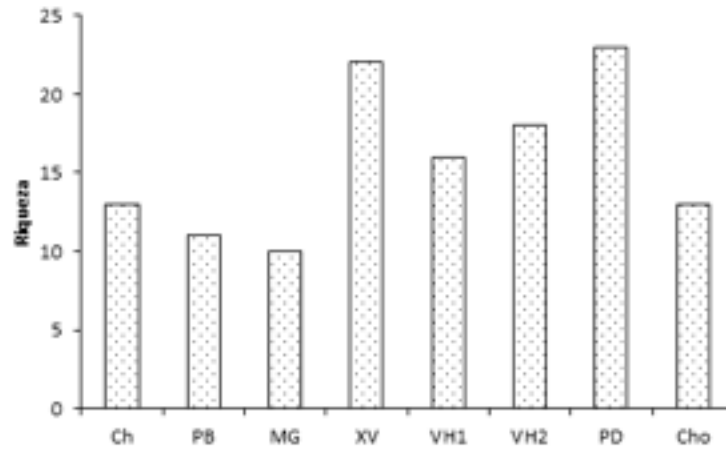
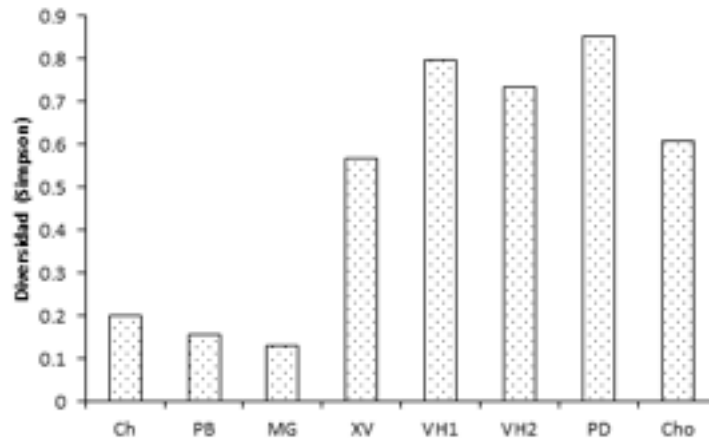


Figura 3. Análisis Canónico de Correspondencias (CANOCO): **a)** ordenación de los ríos de estudio y variables fisicoquímicas, **b)** ordenación de las especies de diatomeas (ver nombres de las especies en el Cuadro 3).

a)



b)



c)

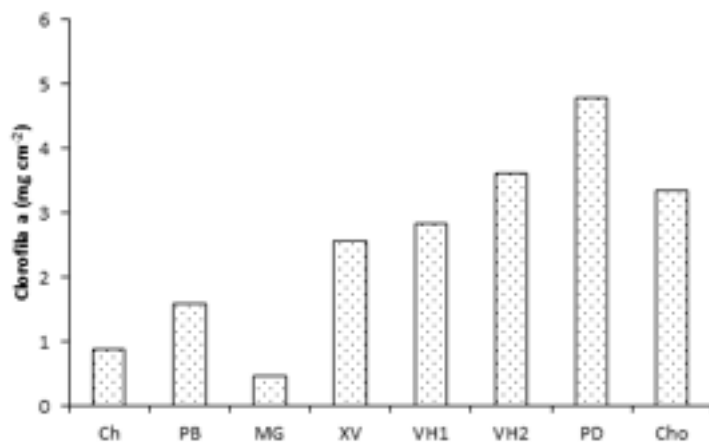


Figura 4. Riqueza, diversidad y biomasa (clorofila *a*) de los ensambles de diatomeas de los arroyos estudiados en la cuenca alta del río La Antigua, Ver. Ch- Chivizcoyo, PB- Piedra Blanca, MG- Monte Grande, XV- Xico Viejo, VH 1- Vista Hermosa 1, VH 2- Vista Hermosa 2, PD- Puente de Dios, Cho- Chorrito.

Cuadro 1. Porcentaje de uso de suelo de las microcuencas y orden de los arroyos estudiados en la cuenca alta del río La Antigua.

Arroyos	% bosque mesófilo	% pastizal	% cultivos	% zona urbana	Orden
Chivizcoyo	80	16	0.1	3	1
Piedra Blanca	69	25	4	2	3
Monte Grande	65	27	5	2	2
Xico Viejo	65	26	6	2	3
Vista Hermosa 1	61	23	13	1	2
Vista Hermosa 2	55	34	7	3	2
Puente de Dios	55	33	9	2	3
El Chorruto	16	78	1	4	3

Cuadro 2. Promedios de las variables físicas y químicas medidas en los arroyos de estudio en la cuenca alta del río La Antigua.

Arroyos	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	N-NO ₃ (μM) ³	N-NH ₄ (μM) ⁴	NID (μM)	PRS (μM)	SiO ₂ (μM)	NID/PRS
Chivizcoyo	42.00	6.85	13.62	11.08	24.91	0.65	420.31	38.47
Piedra Blanca	39.30	7.35	4.99	6.09	11.10	0.20	397.84	54.17
Monte Grande	28.98	6.20	15.91	1.27	17.24	0.08	291.95	224.52
Xico Viejo	77.08	7.41	7.18	10.12	17.64	0.66	572.39	26.76
Vista Hermosa 1	50.57	7.24	2.60	0	2.64	0.19	489.28	13.63
Vista Hermosa 2	57.45	7.23	11.59	0	11.67	0.86	575.22	13.57
Puente de Dios	56.57	6.84	36.50	8.43	46.67	1.56	447.02	29.88
El Chorruto	96.27	7.40	13.46	0.14	13.65	0.58	782.76	23.63

Cuadro 3. Lista de especies de diatomeas registradas en los arroyos de estudio en la cuenca alta del río La Antigua. Ch- Chivizcoyo, PB- Piedra Blanca, MG- Monte Grande, XV- Xico Viejo, VH 1- Vista Hermosa 1, VH 2- Vista Hermosa 2, PD- Puente de Dios, Cho- Chorrito.

	Abrev.	Ch	PB	MG	XV	VH 1	VH 2	PD	Cho
<i>Achnanthes inflata</i> (Kützing) Grunow	Ach inf	1	0	0	0	1	0	0	0
<i>Achnanthes rupestoides</i> Hohn	Ach rup	0	0	0	0	1	1	0	0
<i>Achnantheidium exiguum</i> (Grunow) Czarnecki	Ach exi	1	1	0	1	1	0	1	0
<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	Ach min	1	1	1	1	1	0	1	1
<i>Amphipleura lindheimeri</i> Grunow	Amp lin	0	0	0	0	1	1	0	0
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	Coc pla	1	1	0	1	1	1	1	1
<i>Cymbella mexicana</i> (Ehrenberg) Cleve	Cym mex	0	0	0	1	1	1	0	1
<i>Cymbella tumida</i> (Brébisson) van Heurck	Cym tum	0	0	0	1	1	1	1	0
<i>Diploneis subovalis</i> Cleve	Dip sub	1	0	0	1	1	1	1	0
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) D.G. Mann	Enc sil	0	1	1	1	1	1	1	0
<i>Eunotia pectinalis</i> (Kützing) Rabenhorst	Eun pec	1	1	1	1	0	1	0	0
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	Fra cap	0	0	0	1	1	1	1	1
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow	Fra con	1	0	0	0	0	1	1	0
<i>Fragilaria goulardii</i> (Brébisson ex Grunow) Lange-Bertalot	Fra gou	0	1	0	1	1	1	1	1
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni	Fru rho	0	0	1	0	0	0	1	0
<i>Gomphonema clavatum</i> Ehrenberg	Gom cla	0	0	0	1	0	0	1	0
<i>Gomphonema</i> sp. 1	Gom sp1	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Brébisson	Gom oli	0	0	0	0	1	1	0	0
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing	Gom par	1	0	0	1	0	0	1	0
<i>Luticola mutica</i> (Kützing) D.G. Mann	Lut mut	0	1	1	0	0	0	1	0
<i>Melosira lineata</i> (Dillwyn) C. Agardh	Mel lin	0	0	0	1	1	1	1	0
<i>Melosira varians</i> C. Agardh	Mel var	1	0	0	1	1	1	1	1
<i>Navicula</i> spp.	Nav spp	0	1	1	0	1	1	1	0
<i>Navicula radiosa</i> Kützing	Nav rad	0	0	0	1	0	1	0	1
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow	Nit amp	1	0	0	0	0	0	0	1
<i>Nitzschia fonticola</i> (Grunow) Grunow	Nit fon	0	0	0	1	0	1	0	0
<i>Nitzschia linearis</i> W.Smith	Nit lin	1	0	0	1	0	1	1	0
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith	Nit pal	0	0	0	0	1	1	1	1
<i>Nupela astartiella</i> D. Metzeltin & Lange-Bertalot	Nup ast	1	0	1	1	0	1	1	0
<i>Pinnularia gibba</i> Ehrenberg	Pin gib	0	1	1	1	0	0	1	0
<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson) Lange-Bertalot	Pla lan	1	0	0	1	1	0	1	1
<i>Reimeria sinuata</i> (Gregory) Kociolek & Stoermer	Rei sin	0	1	1	1	1	1	1	1
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	Rho abb	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Stenopterobia delicatissima</i> (F.W. Lewis) Brébisson ex van Heurck	Ste del	0	1	1	1	1	0	0	0

<i>Surirella biseriata</i> Brébisson	Sur bis	1	1	0	0	0	0	1	0
<i>Surirella linearis</i> W. Smith	Sur lin	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) P. Compère	Uln uln	1	1	1	1	1	1	1	1

Material complementario. Especies presentes en el río La Antigua, Veracruz.

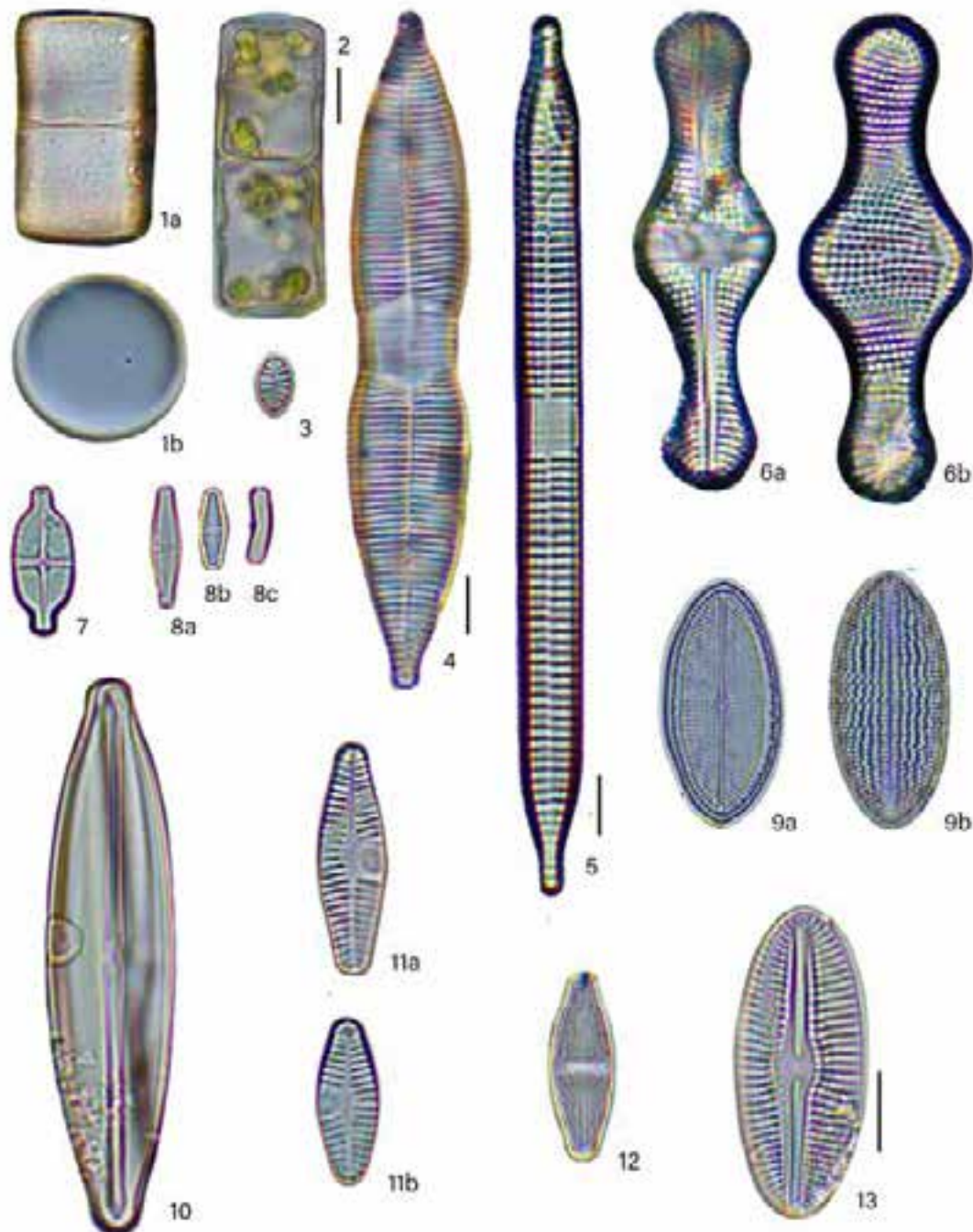


Lámina 1. 1) *Melosira varians* (a, b), 2) *Melosira lineata*, 3) *Fragilaria construens*, 4) *Fragilaria goulardii*, 5) *Ulnaria ulna*, 6) *Achnanthes inflata* (a, b), 7) *Achnantheidium exiguum*, 8) *Achnantheidium minutissimum* (a, b, c), 9) *Cocconeis placentula* (a, b), 10) *Frustulia rhomboides*, 11) *Planothidium lanceolatum* (a, b), 12) *Luticola mutica*, 13) *Diploneis subovalis*.



Lámina 2. 1) *Navicula* sp. 1, 2) *Navicula* sp. 2, 3) *Navicula* sp. 3, 4) *Navicula* sp. 4, 5) *Navicula radiosa*, 6) *Nupela astartiella*, 7) *Pinnularia gibba*, 8) *Cymbella mexicana*, 9) *Encyonema silesiacum*, 10) *Encyonema* sp., 11) *Reimeria sinuata* (a, b), 12) *Gomphonema olivaceum*, 13) *Gomphonema parvulum*, 14) *Gomphonema clavatum*, 15) *Gomphonema* sp.2, 16) *Rhoicosphenia abbreviata* (a, b)
 La barra corresponde a 10µm.

CRÉDITOS A LAS FOTOS DE LA PORTADA

Pteromonas aculeata Lemmermann. Cantera Oriente,
Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, CU, UNAM, Ciudad de México.

Fotos de E. Novelo. Vistas frontal, apical y lateral respectivamente de un ejemplar vivo.

CINTILLO LEGAL

Cymbella. Revista de investigación y difusión sobre algas. Vol. 1, Núm 3, diciembre de 2015, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, México D.F. a través del Laboratorio de Algas Continentales. Ecología y Taxonomía de la Facultad de Ciencias, Circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria, Col. Copilco, Del. Coyoacán, C.P. 04510, México, D.F. Tel. (55) 56225430, <http://cymbella.mx/>, enm@ciencias.unam.mx. Editor responsable: Dr. Eberto Novelo Maldonado. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo: en trámite. ISSN: en trámite. Responsable de la última actualización de este número, Laboratorio de Algas Continentales. Ecología y Taxonomía de la Facultad de Ciencias, Dr. Eberto Novelo Maldonado, Circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria, Col. Copilco, De. Coyoacán, C.P. 04510, México, D.F., fecha de la última modificación, 22 de marzo de 2016.

Los artículos firmados son responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la opinión de los Editores ni de la Sociedad Mexicana de Ficología. El material publicado puede reproducirse total o parcialmente siempre y cuando exista una autorización de los autores y se mencione la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación.