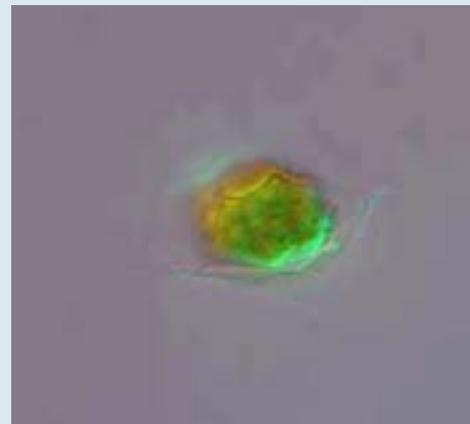
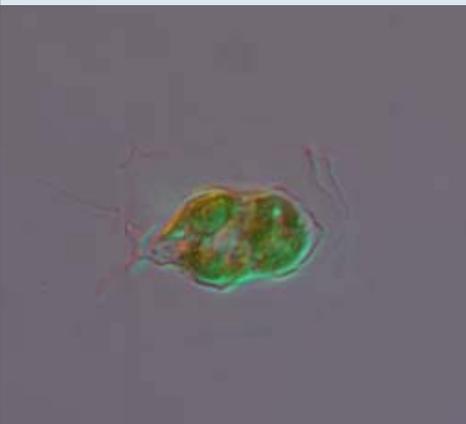


Dinoflagelados epifíticos en Yucatán y
Diatomeas de arroyos en Veracruz



EPIPHYTIC DINOFLAGELLATES ON THE SEAGRASS *THALASSIA TESTUDINUM* AT DZILAM, SOUTHEASTERN GULF OF MEXICO

DINOFLAGELADOS EPIFÍTICOS SOBRE EL PASTO MARINO *THALASSIA TESTUDINUM* EN DZILAM, SURESTE DEL GOLFO DE MÉXICO

Manuel Eduardo Martínez-Cruz¹, Yuri B. Okolodkov^{2*}, Ana Concepción Aguilar-Trujillo³ & Jorge Alfredo Herrera-Silveira³

¹Licenciatura en Biología, Instituto Tecnológico de Boca del Río, Boca del Río, Veracruz, México

²Laboratorio de Botánica Marina y Planctología, Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana, Boca del Río, Veracruz, México

³Laboratorio de Producción Primaria, Departamento de Recursos del Mar, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados – Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida, Mérida, Yucatán, México

*Corresponding author: yuriokolodkov@yahoo.com

ABSTRACT

To determine the epiphytic dinoflagellate taxocoenosis, to study the vertical distribution of dinoflagellates along the leaves of the seagrass *Thalassia testudinum* and to evaluate the potential risk of ciguatera, based on the year-round sampling at Dzilam, the northern Yucatan Peninsula, were the main objectives. Seagrass samples were taken monthly from 15 May 2012 to 20 May 2013, 100 m from the coastline. Water temperature varied between 22.3 °C (February) and 36.5 °C (April), and salinity varied between 29.6 (April) and 37.3 (May 2012). In total, 18 epiphytic dinoflagellate species were found. The genus *Prorocentrum* was predominant in terms of the number of species (7). *Prorocentrum lima* (up to 2228 cell/g of *Thalassia* wet weight, in April), *P. cf. sipadanensis* (up to 1111 cells/g, in August) and *Peridinium quinquecorne* (up to 987 cells/g, in January) largely determined the annual dynamics of the entire taxocoenosis. The dinoflagellate cell abundance usually increased towards the apices of the leaves throughout

the year, and the highest cell abundances were observed in the apical (the oldest) 12-20-cm part of the seagrass. The annual dynamics of the total dinoflagellate cell abundance was characterized by two peaks, in August 2012 and April 2013. The lowest cell abundance was observed in February and May 2013. Considering the data presently available on the toxicity and our results on the dominant species, *P. lima* may represent a major threat at Dzilam. Other potentially toxic species were: *Amphidinium carterae*, *Coolia* sp., *Prorocentrum concavum*, *P. foraminosum*, *P. hoffmannianum* and *P. rathymum*.

Keywords: *dinoflagellates, epiphytes, Gulf of Mexico, microphytobenthos, Thalassia*

RESUMEN

Los objetivos principales del presente estudio fueron determinar la taxocenosis de los dinoflagelados epifíticos, estudiar la distribución vertical de dinoflagelados de las hojas del pasto marino *Thalassia testudinum* así como evaluar el posible riesgo de la ciguatera con base en el muestreo anual en Dzilam,

en el norte de la Península de Yucatán. Muestras del pasto marino se tomaron mensualmente del 15 de mayo de 2012 al 20 de mayo de 2013, a la distancia de 100 m de la línea de la costa. La temperatura de agua varió entre 22.3 °C (febrero) y 36.5 °C (abril) y la salinidad entre 29.6 (abril) y 37.3 (mayo de 2012). En total, se registraron 18 especies de dinoflagelados epifíticos. El género *Prorocentrum* fue predominante en cuanto al número de especies (7). *Prorocentrum lima* (hasta 2228 cél./g del peso húmedo de *T. testudinum*, en abril), *P. cf. sipadanensis* (hasta 1111 cél./g, en agosto) y *Peridinium quinquecorne* (hasta 987 cél./g, en enero) determinaron en gran medida la dinámica anual de la taxocenosis entera. La abundancia celular de dinoflagelados usualmente se incrementó hacia los ápices de las hojas en el transcurso del año, y las abundancias celulares más altas se observaron en la parte apical (la más vieja) de 12-20 cm del pasto marino. La dinámica anual de la abundancia celular total de dinoflagelados se caracterizó por dos picos, en agosto de 2012 y abril de 2013. La abundancia celular más baja se observó en febrero y mayo de 2013. Considerando los datos disponibles sobre toxicidad hasta el presente y con nuestros resultados sobre las especies dominantes, *P. lima* representa la mayor amenaza en Dzilam. Otras especies potencialmente tóxicas fueron: *Amphidinium carterae*, *Coolia* sp., *Prorocentrum concavum*, *P. foraminosum*, *P. hoffmannianum* y *P. rathymum*.

Palabras clave: dinoflagelados, epifitos, Golfo de México, microfitorobentos, *Thalassia*

INTRODUCTION

Seagrass beds are common in a shallow zone along the northern Yucatan Peninsula, and *Thalassia testudinum* Banks et Solander ex König (Angiospermatophyta: Hydrocharitaceae) is the most common species (Okolodkov, pers. obs.). As a habitat and a refuge for hundreds of species from microalgae to sea turtles and manatees, it also represents a risk for human health due to some toxic epiphytic dinoflagellates, including the species that cause ciguatera. Recently, there was a report on ciguatera-related biotoxins from the northern Yucatan coast found in humans poisoned by eating the great barracuda *Sphyraena barracuda* (Sphyraenidae) (Okolodkov *et al.* 2014). Earlier, in the period of 1984-2004, in the Yucatan Peninsula, 23 cases of ciguatera were reported; the carnivorous fishes (*Lutjanus* spp., *Epinephelus* spp, *Mycteroperca* spp. and the great barracuda) were

involved in all cases reported for Mexico, on the whole (Nuñez-Vásquez *et al.* 2008).

In the southern Gulf of Mexico, the epiphytic dinoflagellates have been the object of the taxonomic and ecological studies performed in Veracruz and Yucatan (Okolodkov *et al.* 2007, 2014, Aguilar-Trujillo *et al.* 2014), and both seagrasses and seaweeds were sampled. However, more detailed studies on selected seagrass species are still lacking, and the vertical distribution of the cell abundance and the species are unknown. To determine the epiphytic dinoflagellate taxocenosis, to study the vertical distribution of dinoflagellates along the *T. testudinum* leaves and to evaluate the risk of ciguatera based on year-round sampling were the main objectives of this study.

MATERIAL AND METHODS

Samples of *T. testudinum* (Fig. 1) were taken monthly, at 10:30-12:30 a.m., from 15 May 2012 to 20 May 2013, 100 m from the coastline, at Dzilam de Bravo (Dzilam, for short), the northern Yucatan Peninsula in the southeastern Gulf of Mexico (21°23'36.86"N, 88°53'46.98"W). At a site with a depth of 1.0-1.3(1.7) m, 10 to 15 leaves were separated with a knife and placed into a plastic 500-ml bottle. On shore, leaves of 35-60 cm length were immediately cut into three equal (basal without rhizome, medium and apical) parts and placed in three bottles with seawater taken from the sampling site and fixed with 37% formalin to a final concentration of 4%. Water temperature and salinity were measured with a YSI-Professional Plus (Yellow Springs, Ohio, USA). In the laboratory, the epiphytes were separated by vigorous agitation for one minute, stained with a 0.2% Trypan Blue water solution and counted in a Sedgwick-Rafter chamber under an inverted Olympus CKX-41 microscope in a bright field following the procedure described earlier (Okolodkov *et al.* 2007). The cell counts were recalculated so that the results could be presented as cells per gram of *T. testudinum* wet weight (cells/g TWW). Dinoflagellate species were identified under an inverted microscope, considering our previous, more thorough morphological observations on cells obtained from the same study area (Okolodkov *et al.* 2009, 2014, Aguilar-Trujillo *et al.* 2014) using a compound Olympus BX51 microscope and a JEOL JSM5310LV scanning electron microscope. Okolodkov *et al.* (2009) erroneously reported *Gambierdiscus caribaeus* as *G. toxicus*. Some species were identified tentatively because data were lacking for some diagnostic features such as the periflagellar area in *Prorocentrum* species.

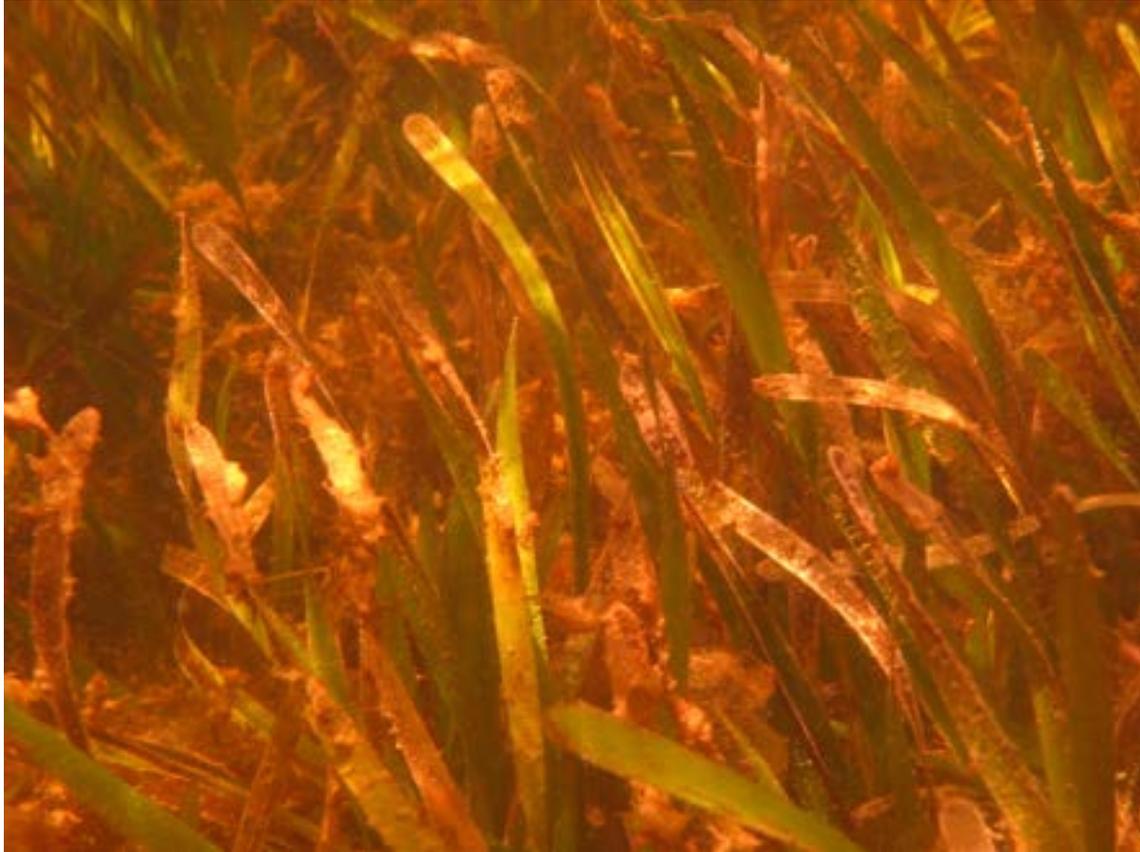


Figure 1. A fragment of *Thalassia testudinum* bed at Dzilam.

RESULTS

During the study period, water temperature varied between 22.3 °C (February) and 36.5 °C (April) and salinity between 29.6 (April) and 37.3 (May 2012). In total, 18 dinoflagellate species were found: *Amphidinium carterae* Hulburt, *Bysmatrum caponii* (Horiguchi et Pienaar) Faust et Steidinger, *Cabra* cf. *aremonica* Chomérat, Couté et Nézan, *Coolia* sp., *Durinskia* cf. *capensis* Pienaar, Sakai et Horiguchi, *Peridinium quinquecorne* T.H. Abé, *Prorocentrum concavum* Fukuyo, *P. foraminosum* Faust, *P. hoffmannianum* Faust, *P. lima* (Ehrenberg) Dodge, *P. rathymum* Loeblich III, Sherley et Schmidt, *P. sculptile* Faust, *P. cf. sipadanensis* Mohammad-Noor, Daugbjerg et Moestrup, *Prorocentrum* sp., *Sinophysis ebriola* (Herdman) Balech, *S. microcephala* Nie et Wang, *S. stenosoma* Hoppenrath and (?) *Togula* sp. The genus *Prorocentrum* was predominant in terms of the number of species (7).

Other dominant species (those contributing more than 10% of the total dinoflagellate cell abundance in a sample) were as follows: *Prorocentrum lima* (up to 2228 cell/g TWW, in April), *P. cf. sipadanensis* (up

to 1111 cells/g, in August), *Peridinium quinquecorne* (up to 987 cells/g, in January), *Prorocentrum rathymum*, *P. hoffmannianum*, *P. concavum*, *Coolia* sp. and *Bysmatrum caponii* were the most abundant species (Fig. 2 and 3). The former three largely determined the annual dynamics of the entire taxocoenosis, and the highest cell abundances per sample were observed in the apical 12-20 cm part of the seagrass. The annual dynamics of the total dinoflagellate cell abundance was characterized by two peaks, in August and April (Fig. 4). The lowest cell abundances were observed in February and May 2013. Comparing the cell abundances found in May 2012 and May 2013, the difference is significant; thus interannual changes in physical-chemical conditions must be involved.

The dinoflagellate cell abundance usually increased towards the apices of the leaves throughout the year, with two pronounced peaks of 3841 and 2584 cells/g TWW, in August and April, respectively (Fig. 5). Only in July was it significantly higher (2229 cells/g TWW) in the medium part and in September in the basal part.

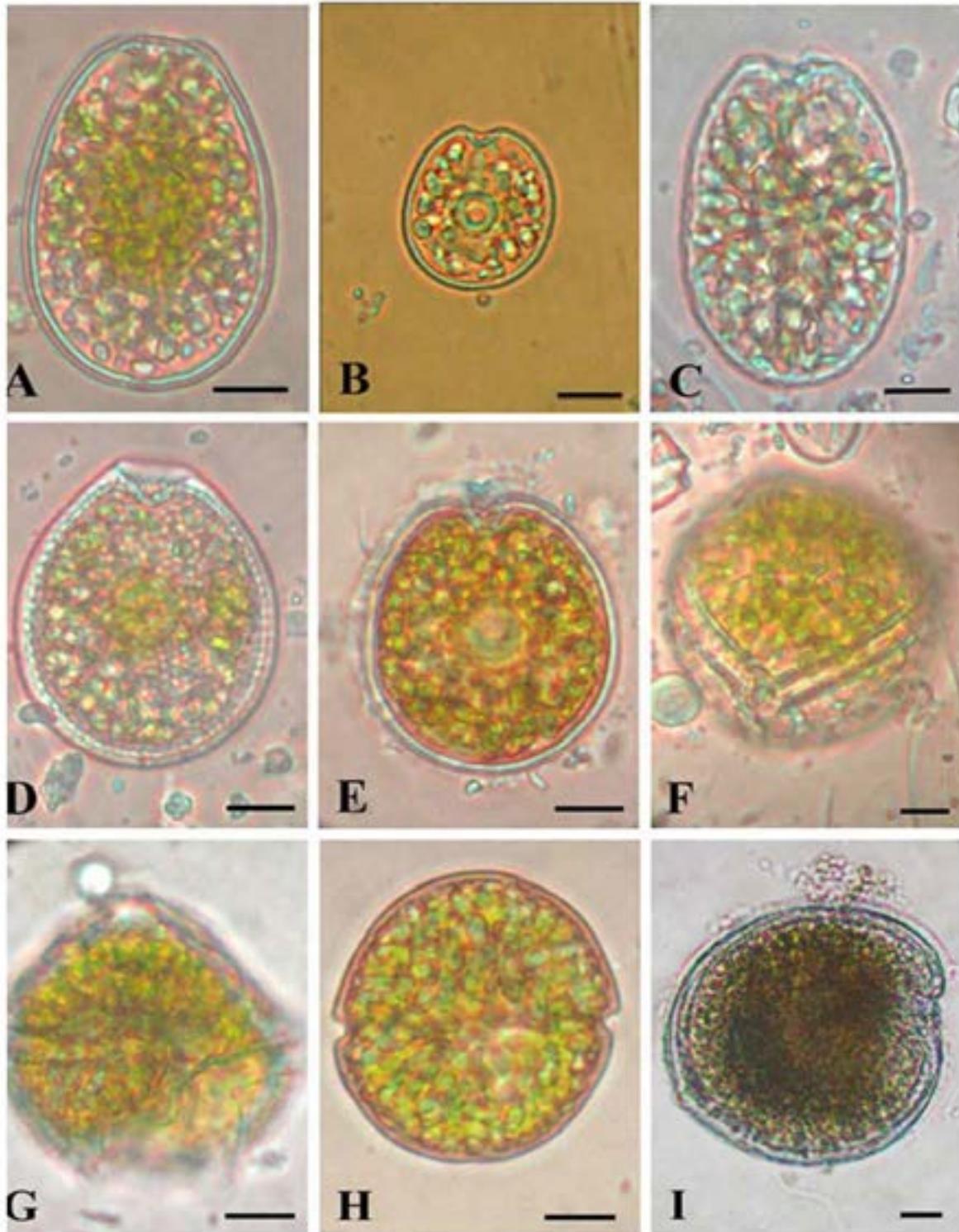


Figure 2. Some epiphytic dinoflagellates inhabiting *Thalassia testudinum* leaves at Dzilam: **A** – *Prorocentrum lima*; **B** – *Prorocentrum* cf. *sipadanensis*; **C** – *Prorocentrum rathymum*; **D** – *Prorocentrum hoffmannianum*; **E** – *Prorocentrum concavum*; **F** – *Coolia* sp.; **G** – *Bysmatrum caponii*; **H** – *Durinskia* cf. *capensis*; **I** – *Gambierdiscus caribaeus*. Scale bar: 10 μ m.

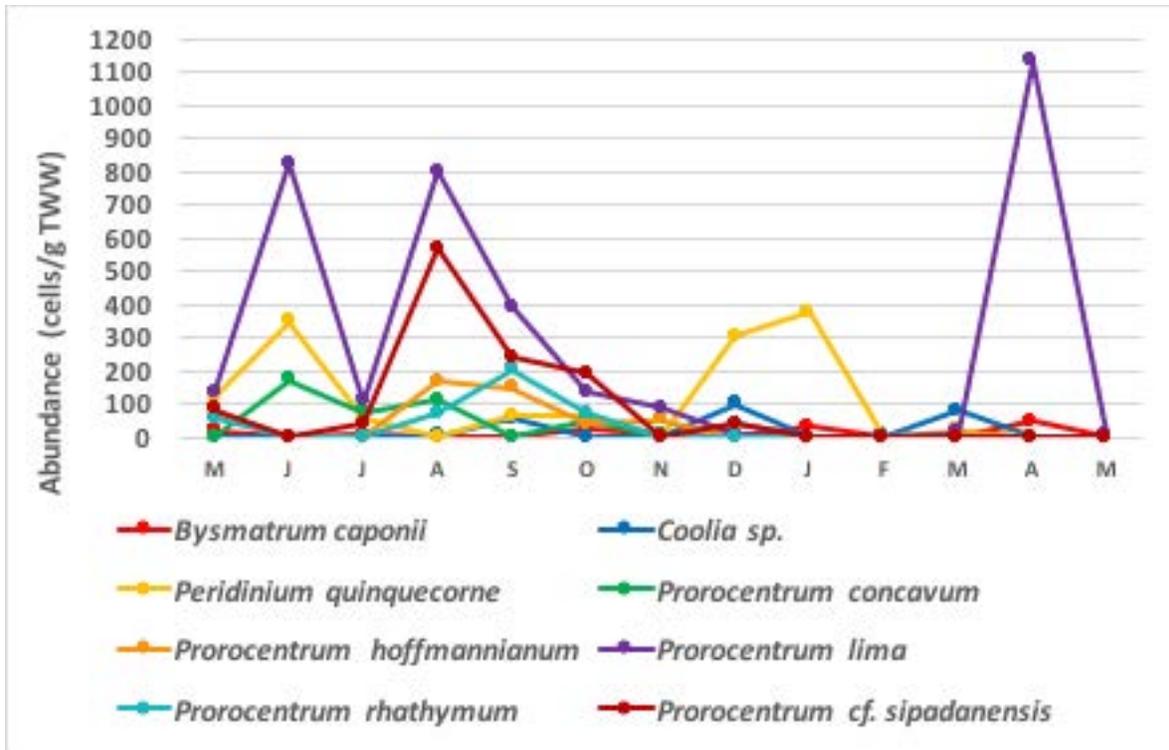


Figure 3. Monthly changes in the abundance of the dominant species of the epiphytic dinoflagellates of *Thalassia testudinum* at Dzilam from May 2012 to May 2013 (TWW: *Thalassia* wet weight). *Prorocentrum lima*, *Prorocentrum cf. sipadanensis* and *Peridinium quinquecorne* largely determined seasonal changes of the whole epiphytic dinoflagellate taxocoenosis.

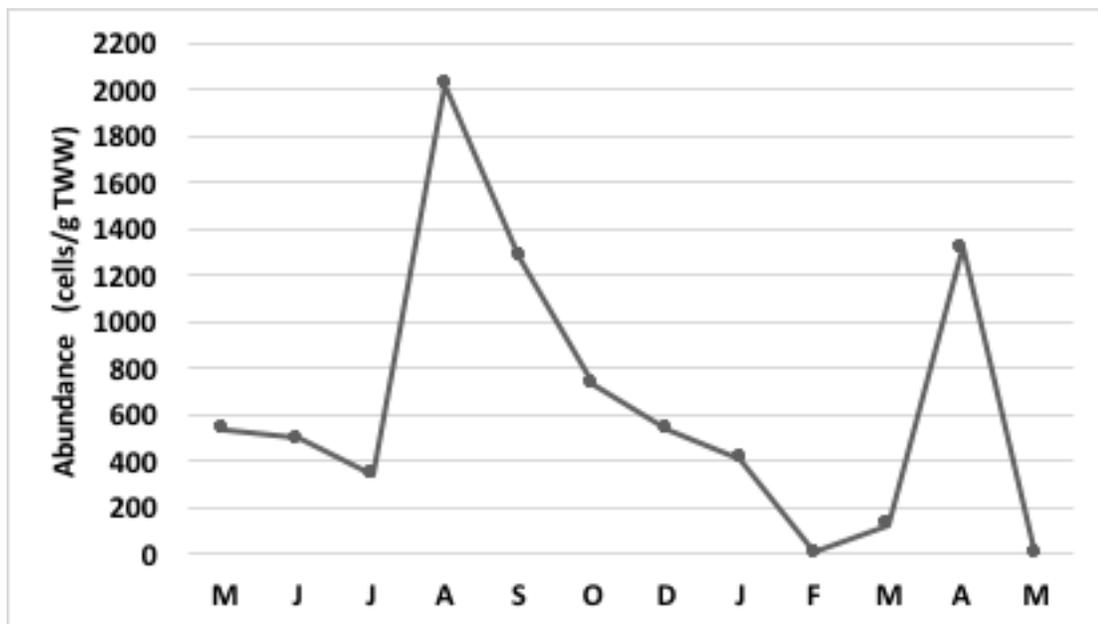


Figure 4. Monthly changes in the total abundance of the dominant species of the epiphytic dinoflagellates of *Thalassia testudinum* at Dzilam from May 2012 to May 2013 (TWW: *Thalassia* wet weight).

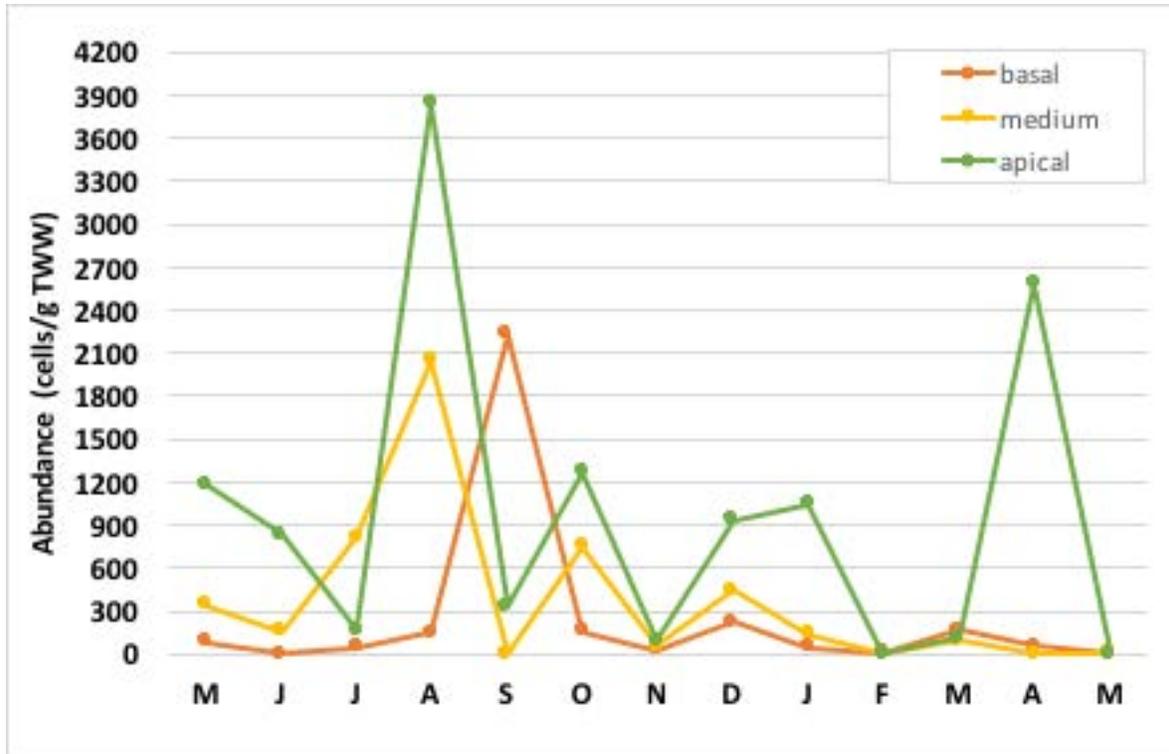


Figure 5. Monthly changes in the abundance of the epiphytic dinoflagellates on three parts of *Thalassia testudinum* leaves at Dzilam from May 2012 to May 2013 (TWW: *Thalassia* wet weight). Almost always the apical (older) part harbors more dinoflagellate cells.

Although *Gambierdiscus caribaeus* Vandersea, Litaker, Faust, Kibler, Holland et Tester (Fig. 2I) was not observed on *T. testudinum* leaves, rare cells of this species were found in seaweed samples taken from July through December at sampling sites located 75, 100 and 200 m from the coastline (this study).

DISCUSSION

Unlike in earlier studies on the epiphytic dinoflagellates performed along the northern coast of the Yucatan Peninsula, the benthic-planktonic *Peridinium quinquecorne* was observed for the first time among the dominant species in the taxocoenosis of epiphytic dinoflagellates. This species has been known to be a blooming species in the state of Veracruz, southwestern Gulf of Mexico (Aké-Castillo *et al.* 2014, Pérez-Morales *et al.* 2015, Rodríguez-Gómez *et al.* 2015). It is curious that *P. quinquecorne* was not observed as a part of the epiphytic dinoflagellate taxocoenosis in Veracruz whereas in the northern Yucatan it was. Similar to Veracruz, *Prorocentrum lima* was the

principal dominant species in our study. Unlike our study, in previous studies in the northern Yucatan waters, *Prorocentrum rathymum* was frequently the predominant species responsible for the annual dynamics of the entire taxocoenosis of epiphytic dinoflagellates (Aguilar-Trujillo *et al.* 2014, Okolodkov *et al.* 2014). Earlier, it was shown that *P. rathymum* prefers low nutrient concentrations and that *P. lima* is correlated with high ammonium concentrations (Okolodkov *et al.* 2014), so the shift from *P. rathymum* to *P. lima* as the dominant species can be explained by the eutrophication of the coastal waters at Dzilam after a long-term red tide that occurred in the study area in 2011 and maintained itself for several months (Merino-Virgilio *et al.* 2014).

As for the vertical distribution of the dinoflagellate cell abundance along the seagrass leaves, it is obvious that fish species that prefer feeding on the apices (Lobel & Ogden 1981), as does the permanent dweller of the seagrass beds in the eastern Caribbean, the herbivorous bucktooth parrotfish *Sparisoma radians* (Scaridae), have a greater

potential for accumulating dinoflagellate toxins through the food web. In the islands of the West Indies, among marine spermatophytes, only the seagrasses *Thalassia testudinum* and *Syringodium filiforme* Kütz. (syn.: *Cymodocea manatorum* Asch.) are eaten by reef fishes in significant quantities (Rundall 1967). Some fishes from the families Kyphosidae, Scaridae and Acanthuridae had plant material constituting more than 50% by volume of the stomach contents; in addition, some omnivorous fishes fed heavily on marine plants. Four seagrass species, including *T. testudinum*, were found in the stomachs of more than 30 species of mainly coral reef-dwelling fishes primarily from the families Scaridae and Acanthuridae, but also from the Sparidae, Monacanthidae, Tetrodontidae and Ostraciontidae (Rundall 1967). In addition, the families Syngnathidae, Gobiidae, Labridae, Gerreidae, Scorpaenidae, Sciaenidae and Blennidae are also among typical seaweed grazers in many geographical areas around the world (Pollard 1984). In the Lobos Reef, in the northern part of the state of Veracruz, the most abundant coral reef fishes associated with *T. testudinum* are *Scarus iseri* and *Sparisoma radians* (Scaridae), *Halichoeres bivittatus* (Labridae), *Stegastes adustus* and *Stegastes leucostictus* (Pomacentridae) (González-Gándara & Trinidad-Martínez 2006). In south Florida and the Caribbean Sea, apart from fishes, sea urchins and green turtles constitute the major groups that graze seagrass meadows (Ogden *et al.* 1973, Ziemann *et al.* 1984). Additionally, gastropods, crustaceans and sea mammals should be added to this list (Valentine & Heck 1999). Seagrasses were shown to be a significant food source for juvenile fish in and offshore from south Texas lagoons (Fry & Parker 1979). In general, seagrass meadows provide shelter from predators and an abundant food source (“board and lodging”), functioning as a nursery ground (Rundall 1967, Pollard 1984). Valentine & Heck (1999) estimated that about 3 to 100% of seagrass net primary production enters food webs via the grazing pathway. These results are crucial to the understanding of the scale of the ciguatera transfer through food webs.

Also, it is clear that the annual dynamics of the epiphytic dinoflagellate taxocoenosis, at least in terms of the maximal cell abundances, depend primarily on the growth of the dominant species, *Prorocentrum lima*, *P. cf. sipadanensis* and *Peridinium quinquecorne* on the apical (the oldest) part of the seagrass leaves.

Gambierdiscus caribaeus was recently shown to be a ciguateric species (Holland *et al.* 2013). Pre-

viously, it was found in May and November 2008 in abundance in shallow waters at two localities near Dzilam (Okolodkov *et al.* 2014). Therefore, the study area can be considered potentially ciguateric. The following dinoflagellate species found in the study area on *T. testudinum* may represent a threat to human health: *Amphidinium carterae* (produces haemolytic substances, ichthyotoxins, and it was also implicated as a causative agent of ciguatera; Baig *et al.* 2006), *Coolia* sp. (in tropical waters, at least two species, *C. tropicalis* Faust and *C. malayensis* Leaw, Lim *et al.* 2013), *Prorocentrum concavum* (okadaic acid and ichthyotoxins), *P. foraminosum* (dinophysistoxin-1), *P. hoffmannianum* (okadaic acid and fast-acting toxins), *P. lima* (okadaic acid, dinophysistoxin-1, dinophysistoxin-2, prorocentrolides and fast-acting toxins) and *P. rathymum* (okadaic acid). Some dinoflagellates that had been considered non-toxic have been shown to produce toxins, specifically *P. foraminosum* (dinophysistoxin-1; Kameneva *et al.* 2015). In addition, there are some species whose toxicity is yet unknown (e.g., *P. sipadanensis*). Considering the data presently available on the toxicity and our results on the dominant species, *P. lima* and *P. rathymum* may represent a major threat at Dzilam. Application of both inverted light and scanning electron microscopy allows the abundance estimation and identification to species or generic level. However, this does not guarantee an absolute resolution of the quantification vs. identification problem, due to the impossibility of applying both types of microscopy to the same cells, a common problem remaining to be solved in ecological studies.

ACKNOWLEDGMENTS

We are grateful to Cristian A. Kantún-Manzano (CINVESTAV-IPN, Merida, Mexico) for his help in sampling, to Fany del C. Merino-Virgilio (CINVESTAV-IPN, Merida, Mexico) for her help in processing seagrass samples in the laboratory, to Ismael Gárate-Lizárraga (CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, Mexico), Marina S. Selina (A.V. Zhirmunsky Institute of Marine Biology of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia) and Horacio Pérez-España (ICIMAP-UV, Boca del Río, Veracruz, Mexico) for help with the literature and valuable advice, and to Marcia M. Gowing (University of California at Santa Cruz, California, USA) for improving the English style of the manuscript. Field trips were supported by CINVESTAV-IPN, Merida, and several projects given to JAHS.

REFERENCES

- Aguilar-Trujillo, A.C., Y.B. Okolodkov, F. del C. Merino-Virgilio, I. Osorio-Moreno, J.A. Herrera-Silveira. 2014. Variación espacial de dinoflagelados bentónicos/epifíticos en aguas costeras del norte de Yucatán (agosto de 2011). In A.V. Botello, J. Rendón von Osten, J.A. Benítez & G. Gold-Bouchot. Eds. *Golfo de México. Contaminación, impacto ambiental, diagnóstico y tendencias*. 3a ed. UAC, UNAM-ICMYL, CINVESTAV-Unidad Mérida, Campeche. pp. 147-160.
- Aké-Castillo, J.A., Y.B. Okolodkov, C.F. Rodríguez-Gómez & G. Campos-Bautista. 2014. Florecimientos algales nocivos y contaminación en Veracruz: especies y posibles causas (2002-2013). In A.V. Botello, J. Rendón von Osten, J.A. Benítez & G. Gold-Bouchot. Eds. *Golfo de México. Contaminación, impacto ambiental, diagnóstico y tendencias*. 3a ed. UAC, UNAM-ICMYL, CINVESTAV-Unidad Mérida, Campeche. pp. 133-146.
- Baig, H.S., S.M. Saifullah & A. Dar. 2006. Occurrence and toxicity of *Amphidinium carterae* Hulburt in the North Arabian Sea. *Harmful Algae* 5: 133-140.
- Fry, B. & P.L. Parker. 1979. Animal diet in Texas seagrass meadows: ¹³C evidence for the importance of benthic plants. *Estuarine and Coastal Marine Science* 8: 499-509.
- González-Gándara, C. & S. del C. Trinidad-Martínez. 2006. Peces ligados a *Thalassia testudinum* en el arrecife Lobos, Veracruz, México: diversidad y abundancia. *Revista de Biología Tropical* 54: 189-194.
- Holland, W.C., R.W. Litaker, C.R. Tomas, S.R. Kibler, A.R. Place, E.D. Davenport & P.A. Tester. 2013. Differences in the toxicity of six *Gambierdiscus* (Dinophyceae) species measured using an *in vitro* human erythrocyte lysis assay. *Toxicon* 65: 15-33.
- Kameneva, P.A., K.V. Efimova, V.G. Rybin & T.Y. Orlova. 2015. Detection of dinophysistoxin-1 in clonal culture of marine dinoflagellate *Prorocentrum formosum* (Faust M.A., 1993) from the Sea of Japan. *Toxins* 7: 3947-3959.
- Lobel, P.S. & J.C. Ogden. 1981. Foraging by the herbivorous parrotfish *Sparisoma radians*. *Marine Biology* 64: 173-183.
- Merino-Virgilio, F. del C., Y.B. Okolodkov, A.C. Aguilar-Trujillo, I. Osorio-Moreno, J.A. Herrera-Silveira. 2014. Florecimientos algales nocivos en las aguas costeras del norte de Yucatán (2001-2013). In A.V. Botello, J. Rendón von Osten, J.A. Benítez & G. Gold-Bouchot. Eds. *Golfo de México. Contaminación, impacto ambiental, diagnóstico y tendencias*. 3a ed. UAC, UNAM-ICMYL, CINVESTAV-Unidad Mérida, Campeche. pp. 161-180.
- Momigliano, P., L. Sparrow, D. Blair & K. Heimann. 2013. The diversity of *Coolia* spp. (Dinophyceae Ostreopsidaceae) in the central Great Barrier Reef region. *PLOS ONE* 8(10), e79278: 1-11.
- Nuñez-Vásquez, E., J.L. Ochoa, C. Band-Schmidt, I. Gárate-Lizárraga, A. Heredia-Tapia, D. López-Cortéz, F.E. Hernández-Sandoval & J. Bustillos-Guzmán. 2008. Ciguatera in Mexico. In: Abstracts of the 13th International Conference on Harmful Algae, 3-7 November 2008, Hong Kong. p. 98.
- Ogden, J.C., R. Brown & N. Salesky. 1973. Grazing by the echinoid *Diadema antillarum* Philippi: formation of halos around West Indian patch reefs. *Science* 182: 715-717.
- Okolodkov, Y.B., G. Campos-Bautista, I. Gárate-Lizárraga, J.A.G. González-González, M. Hoppenrath & V. Arenas. 2007. Seasonal changes of benthic and epiphytic dinoflagellates in the Veracruz reef zone, Gulf of Mexico. *Aquatic Microbial Ecology* 47(3): 223-237.
- Okolodkov, Y.B., F. del C. Merino-Virgilio, J.A. Herrera-Silveira, S. Espinosa-Matías, M.L. Parsons. 2009. *Gambierdiscus toxicus* in the southeastern Gulf of Mexico. *Harmful Algae News. The Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO* 40: 12-14.
- Okolodkov, Y.B., F. del C. Merino-Virgilio, J.A. Aké-Castillo, A.C. Aguilar-Trujillo, S. Espinosa-Matías & J.A. Herrera-Silveira. 2014. Seasonal changes in epiphytic dinoflagellate assemblages near the northern coast of Yucatan Peninsula, Gulf of Mexico. *Acta Botanica Mexicana* 107: 121-151.
- Pérez-Morales, A., J.A. Aké-Castillo, Y.B. Okolodkov & G. Campos-Bautista. 2015. Florecimientos algales nocivos y eutrofización frente a la costa del Puerto de Veracruz, suroeste del Golfo de México. *E-BIOS* 2(8): 21-33.
- Pollard, D.A. 1984. A review of ecological studies on seagrass-fish communities, with particular reference to recent studies in Australia. *Aquatic Botany* 18: 3-42.
- Rodríguez-Gómez, C.F., J.A. Aké-Castillo, G. Campos-Bautista & Y.B. Okolodkov. 2015. Revisión del estudio del fitoplancton en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *E-BIOS* 2(8): 178-191.
- Rundall, J.E. 1967. Food habits of reef fishes of the West Indies. *Studies in Tropical Oceanography* 5: 665-847.
- Valentine, J.F. & K.L. Heck, Jr. 1999. Seagrass herbivory: evidence for the continued grazing of marine grasses. *Marine Ecology – Progress Series* 176: 291-302.
- Zieman, J.C., R.L. Iverson & J.C. Ogden. 1984. Herbivory effects on *Thalassia testudinum* leaf growth and nitrogen content. *Marine Ecology – Progress Series* 15: 151-158.

Recibido: 6 enero 2016.

Revisado: 22 febrero 2016.

Corregido: 28 de febrero 2016.

Aceptado: 29 de febrero 2016.

Revisores: E. Novelo, I. Gárate-Lizárraga y un revisor anónimo.

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 *Achnantheidium 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 gouldii*, *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-atuerverzeichnis*. 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

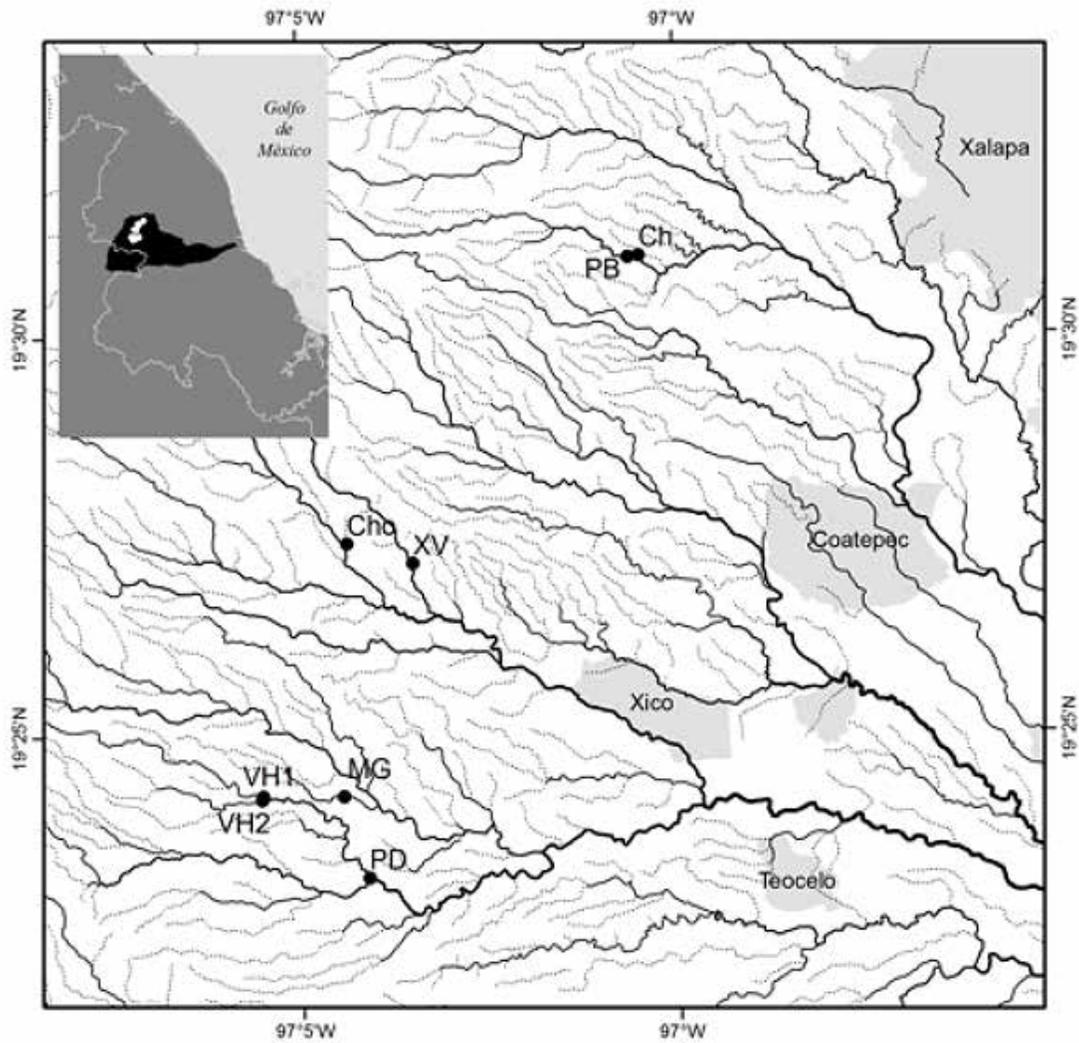


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo en la cuenca alta del río La Antigua, Ver. Ch- Chivizcoyo, PB- Piedra Blanca, MG- Monte Grande, XV- Xico Viejo, VH 1- Vista Hermosa 1, VH 2- Vista Hermosa 2, PD- Puente de Dios, Cho- Chorrito.

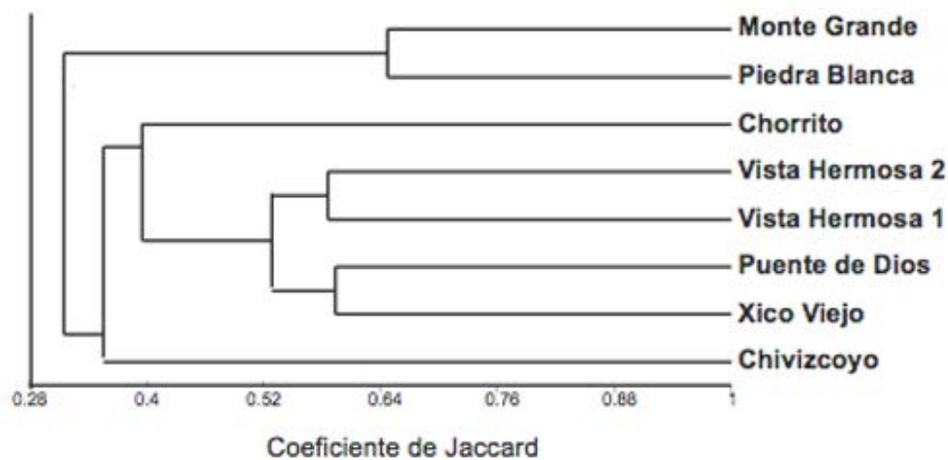
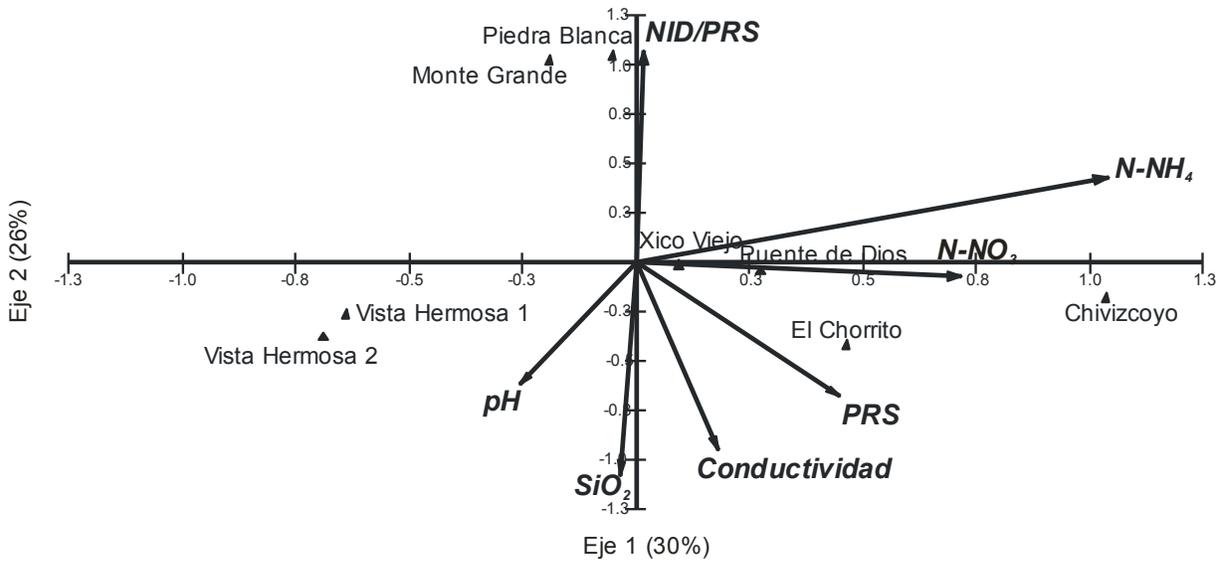


Figura 2. Análisis de conglomerados de los arroyos estudiados con base en la presencia-ausencia de las diatomeas en la cuenca alta del río La Antigua, Ver.

a)



b)

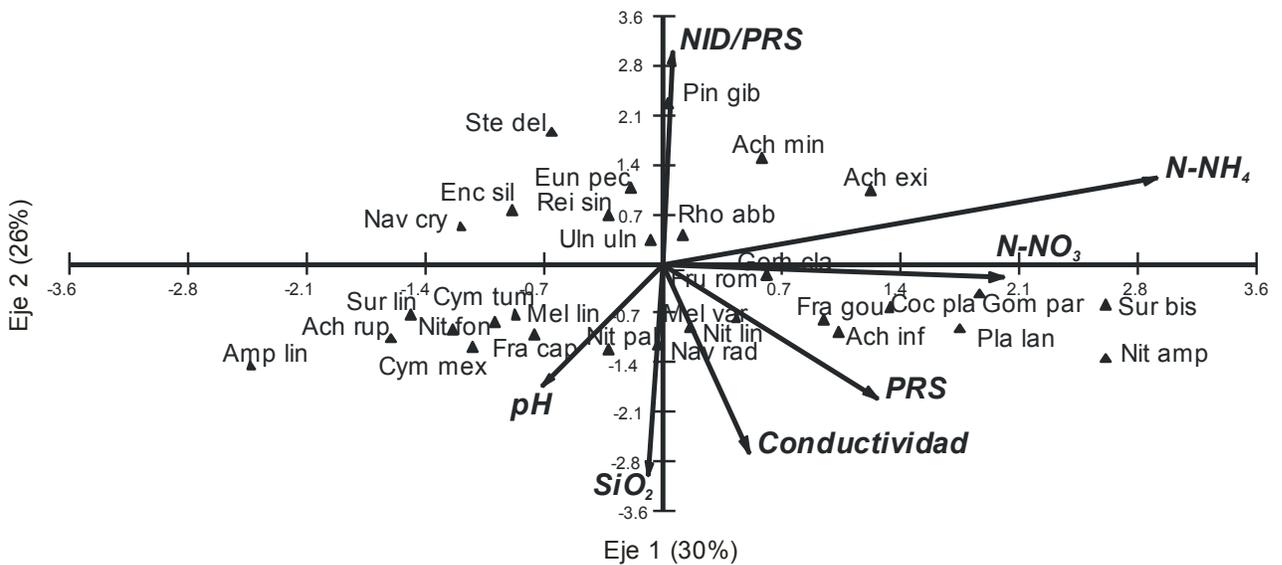
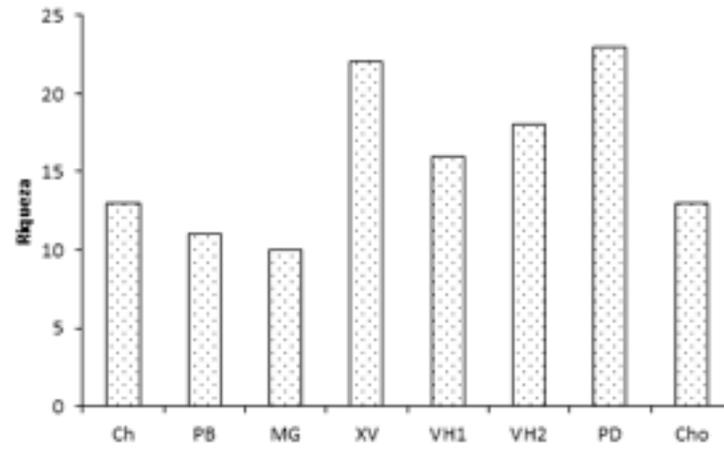
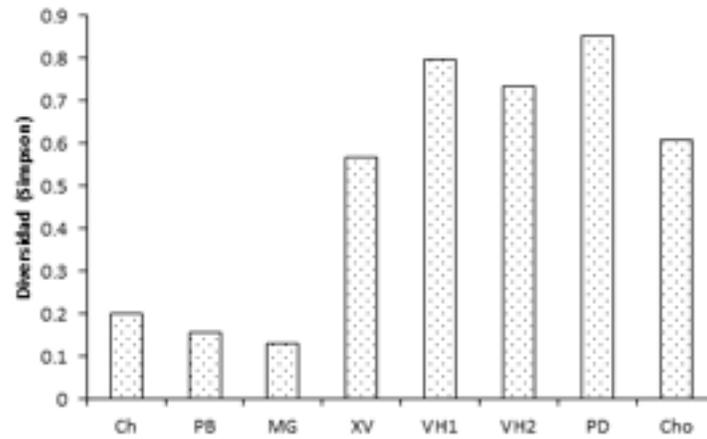


Figura 3. Análisis Canónico de Correspondencias (CANOCO): **a)** ordenación de los ríos de estudio y variables fisicoquímicas, **b)** ordenación de las especies de diatomeas (ver nombres de las especies en el Cuadro 3).

a)



b)



c)

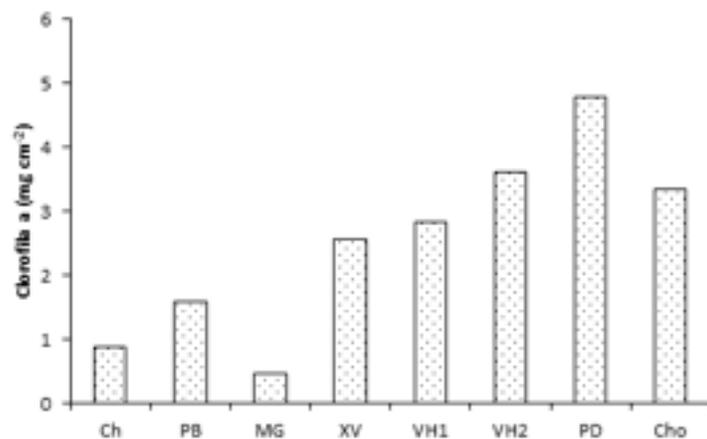


Figura 4. Riqueza, diversidad y biomasa (clorofila *a*) de los ensambles de diatomeas de los arroyos estudiados en la cuenca alta del río La Antigua, Ver. Ch- Chivizcoyo, PB- Piedra Blanca, MG- Monte Grande, XV- Xico Viejo, VH 1- Vista Hermosa 1, VH 2- Vista Hermosa 2, PD- Puente de Dios, Cho- Chorrito.

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 ($\mu\text{S/cm}$)	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.

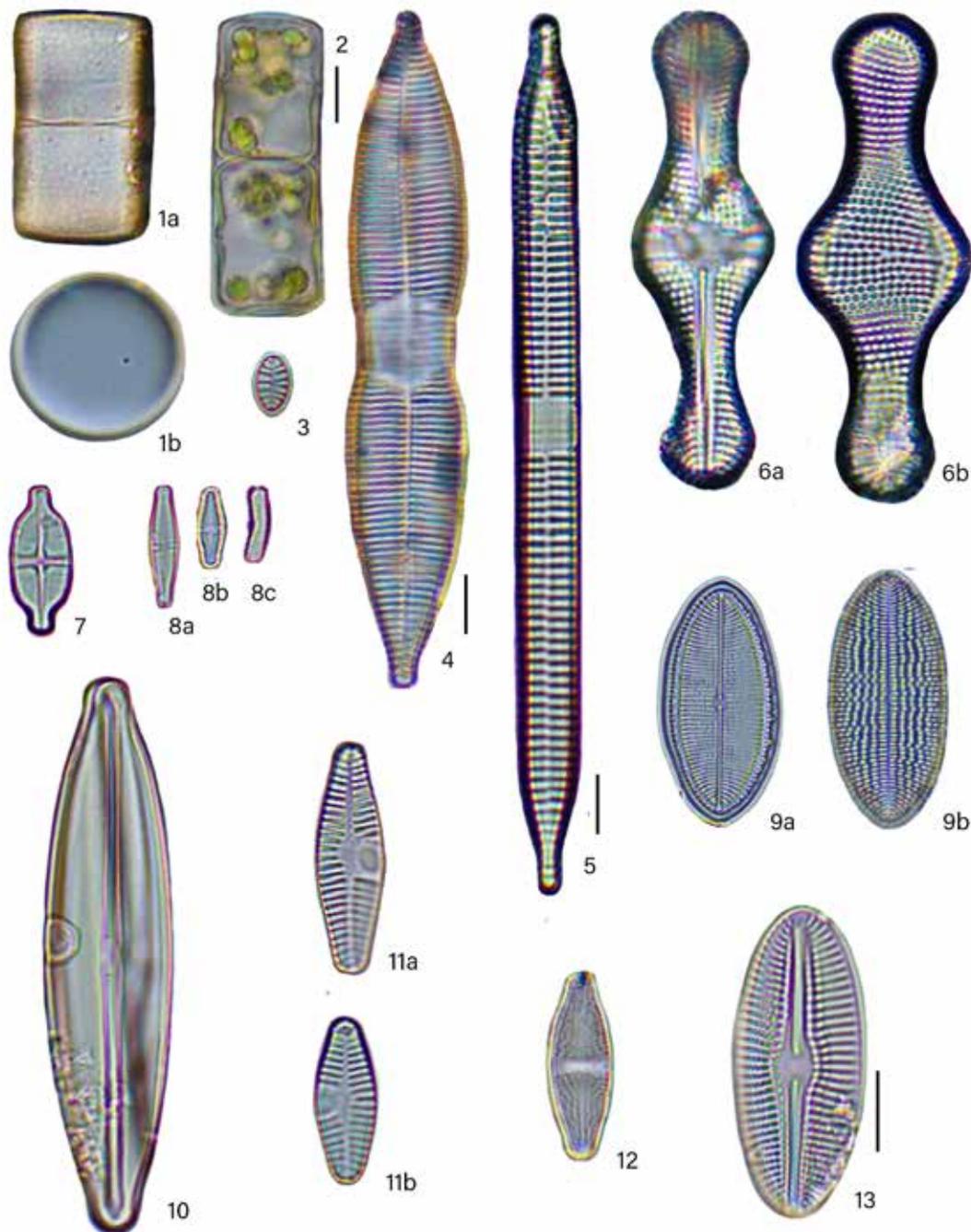


Lámina 1. 1) *Melosira varians* (a, b), 2) *Melosira lineata*, 3) *Fragilaria construens*, 4) *Fragilaria goulardii*, 5) *Ulnaria ulna*, 6) *Achnanthes inflata* (a, b), 7) *Achnanthisdium exiguum*, 8) *Achnanthisdium minutissimum* (a, b, c), 9) *Cocconeis placentula* (a, b), 10) *Frustulia rhomboides*,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

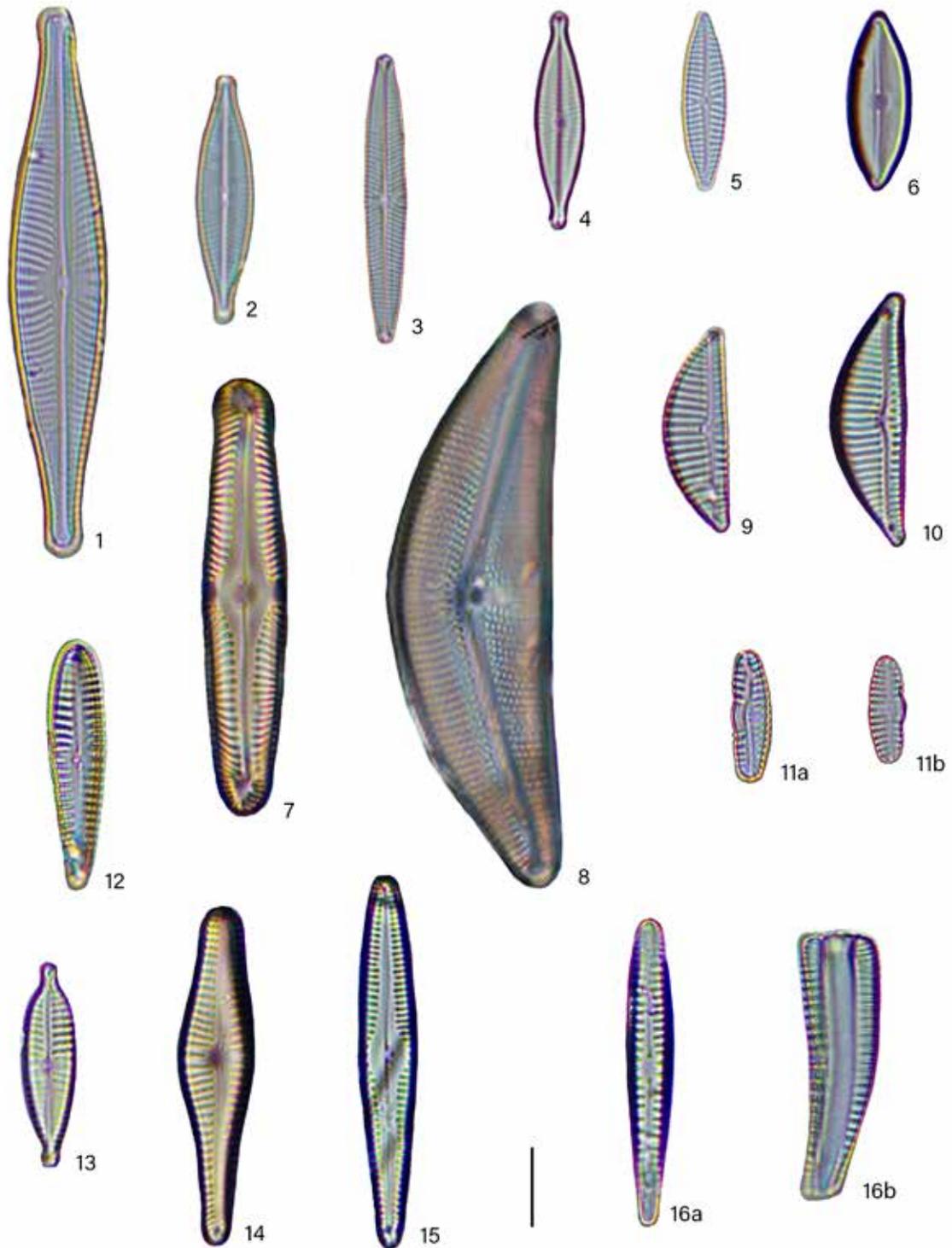


Lámina 2. 1) *Navicula* sp. 1, 2) *Navicula* sp. 2, 3) *Navicula* sp. 3, 4) *Navicula* sp. 4, 5) *Navicula radiosa*, 6) *Nupela astartiella*, 7) *Pinnularia gibba*, 8) *Cymbella mexicana*, 9) *Encyonema silesiacum*, 10) *Encyonema* sp., 11) *Reimeria sinuata* (a, b), 12) *Gomphonema olivaceum*, 13) *Gomphonema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

Algas... ¿parásitas?

Algae... parasites?

Citlalli Galicia-García*

Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Programa de Maestría en Ecología y Pesquerías. Universidad Veracruzana.
Miguel Hidalgo 617, Col. Río Jamapa, Boca del Río, Veracruz. C.P. 94290. México.
Laboratorio de Biología, Instituto Tecnológico de Boca del Río, km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río,
Veracruz. A.P. 68. México.

*Correspondencia: citlagg@yahoo.com

RESUMEN

Pensamos en las algas como organismos autótrofos independientes, sin embargo, existen algunos casos de algas rojas, pardas y verdes que son parásitas. Este trabajo se refiere a ellas, así como a algunos de sus hospederos y los daños que les pueden causar, incluyendo al hombre.

Palabras clave: algas, hospedero, parásito, prototecosis.

ABSTRACT

We think of algae as independent autotrophic organisms, however, there are some cases of red, brown and green algae that are parasitic. Some of them are mentioned in this work along with their hosts, including humans, and the damage they can cause in them.

Key words: algae, host, parasite, protothecosis.

Las algas son tan comunes como las plantas en nuestra vida cotidiana, se distinguen del resto de los seres vivos de nuestro planeta por ser capaces de elaborar su propio alimento, es decir, tienen la increíble capacidad de tomar dióxido de carbono del aire (el gas que exhalamos al respirar) o el que está disuelto en el agua, utilizan asimismo la luz del sol y, por medio de un conjunto de reacciones que se llevan a cabo dentro de su cuerpo, forman sustancias de las cuales se pueden alimentar al tiempo que liberan oxígeno como producto de desecho. ¡Para ellas el oxígeno que respiramos son sobras! Muchas algas son microscópicas (mucho más pequeñas que la cabeza de un alfiler) y habitan en el suelo húmedo, la nieve, ríos, arroyos, lagos, lagunas y mares. También las hay de mayor tamaño,

desde algunos centímetros hasta un metro o más de 50 metros (en algunas especies marinas) pero debido a que viven en el fondo de ríos, riachuelos y lagos o las costas rocosas y zonas profundas del mar, lugares que muchos de nosotros difícilmente visitamos o exploramos, son poco conocidas.

Las algas son un conjunto de organismos con origen evolutivo diferente, esto quiere decir que sus ancestros están poco relacionados entre sí y como consecuencia tienen formas y modos de vida muy variados. Dentro de este gran conjunto de organismos se conocen algas macroscópicas (visibles a simple vista) a las cuales se les ha clasificado de acuerdo con su color como algas verdes, algas rojas y algas pardas o cafés. Estas algas, como se mencionó anteriormente, pueden producir su propio alimento, y por lo tanto otros organismos (invertebrados, peces, tortugas y mamíferos acuáticos) se alimentan y dependen de ellos.

Pero, ¿y si no todas las algas produjeran su propio alimento? ¿y si hubiera algunas que se nutrieran de otros seres vivos? Un parásito por definición es un ser vivo que se alimenta de otro ser vivo causándole generalmente algún perjuicio o enfermedad. Algunos parásitos son tan comunes y conocidos como una pulga o un piojo que chupan sangre o una lombriz que vive en los intestinos del hombre; debido a esto son considerados como algo destructivo ya que se tiene la idea de que un parásito se nutre de su hospedero (el organismo al que parasita), le hace daño y termina destruyéndolo, aunque no siempre ocurre así.

Por otro lado, es difícil imaginar que las algas pudieran ser parásitas debido a que son proveedoras de alimento y oxígeno, no obstante, algunas lo son. No obstante, algunas lo son. Las

algas parásitas suelen ser pequeñas, pueden estar constituidas por una sola célula, por cadenas de células (llamadas filamentos) o bien pueden formar pequeños cuerpos que crecen dentro o encima de su hospedero, pero que, a diferencia de las algas que tienen vida libre, no presentan color (suelen ser blancas) o son de colores poco llamativos.

Las algas parásitas más comunes y abundantes, especialmente en el mar, pertenecen al grupo de las algas rojas. Se conocen por lo menos 116 especies de algas rojas con vida parásita. Estas algas infectan casi siempre a otras algas rojas. Los nombres científicos de algunas de ellas son: *Janczewskia gardneri* (Fig. 1), *Harveyella mirabilis*, *Ululania stellata*, *Bostrychiocolax australis* y *Holmsella pachyderma* (Fig. 2).

Las algas pardas también tienen algunos representantes parásitos. Estas especies tienen forma de filamentos y se encuentran distribuidas tanto en aguas frías (templadas) como en aguas cálidas (tropicales). Las especies conocidas son *Streblonema parasiticum*, *Kuetzingiella maculans* y *Herpodiscus durvilleae* (Fig. 3).

El grupo de las algas verdes se distingue de las pardas porque sus especies parásitas son más comunes y sus hospederos no solo son otras algas, sino que pueden parasitar incluso plantas terrestres. El género *Cephaleuros* es el más común de todos, está ampliamente distribuido y crece sobre muchas plantas de importancia económica. En Brasil se ha reportado que crece sobre 448 especies de plantas terrestres. *Cephaleuros virescens* (Figs. 4 y 5), por ejemplo, es una especie parásita que crece bajo la superficie de

las hojas y es relativamente inocua (no dañina), sin embargo, en los cultivos de té puede causar daño que va de moderado a severo. Es el alga parásita verde más común y de más amplia distribución, se encuentra en países tropicales y subtropicales del mundo en plantas tan conocidas como la guayaba (*Psidium guajava*), el limón (*Citrus aurantifolia*) el aguacate (*Persea americana*), el mango (*Mangifera indica*), anturios (como *Anthurium andraeanum*), orquídeas (*Cattleya* sp., *Vanilla planifolia*) y el mangle negro (*Avicennia germinans*) entre otros.

Por último, y todavía más impactante, es el caso de algas verdes parásitas que pueden afectar a algunos animales incluyendo al hombre (Figs. 6 y 7). *Helicosporidium parasiticum* parasita larvas de insectos en los árboles y se sabe que *Prototheca wickerhamii* (Fig. 8), *P. stagnora* y *P. zopfii* ocasionan en los humanos una enfermedad denominada prototecosis, la cual puede implicar lesiones de la piel y afectación generalizada de órganos internos. Las algas son nuestra fortuna y al mismo tiempo un motivo de temor y cuidado.

LECTURAS RECOMENDADAS:

- Blouin, N.A. & C.E. Lane. 2012. Red algal parasites: models for a life history evolution that leaves photosynthesis behind again and again. *BioEssays* 34: 226-235.
- Nelson, S.C. 2008. *Cephaleuros* species, the plant-parasitic green algae. *Plant Disease* 43: 1-6.

AGRADECIMIENTOS

A Alma Gabriela Copado-Rivera y Luis Humberto Quintana-Manotas por sus comentarios al manuscrito, y a Yuri B. Okolodkov por sus observaciones.



Fig. 1. *Janczewskia gardneri* parasitando a un alga roja marina (*Laurencia* sp.) Obsérvese el color más claro de la parásita.
Recuperado el 4 de enero de 2016 de
http://www.boldsystems.org/index.php/Taxbrowser_Taxonpage?taxid=606939



Fig. 2. *Holmsella pachyderma*. Se aprecian los crecimientos de la parásita en forma de domos claros sobre *Gracilariopsis longissima*.
Recuperado el 4 de enero de 2016 de
http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=e7acca3aa55d812e1



Fig. 3. *Herpodiscus durvilleae*. Se observan lesiones en forma de anillo ocasionadas por la parásita sobre *Durvillaea antarctica*. Fotografía: Eric Henry.
 Recuperado el 6 de enero de 2016 de
http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=11863



Fig. 4. *Cephaleuros virescens* creciendo sobre una hoja de aguacate.
 Recuperado el 6 de enero de 2016
http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Chlorophyceae/filaments/branched/CEPHALEUROS/Cephaleuros_Image_page.htm



Fig. 5. *Cephaleuros virescens* sobre un limón. Se observa como manchas negras en la superficie del fruto.
Recuperado el 6 de enero de 2016
http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Chlorophyceae/filaments/branched/CEPHALEUROS/Cephaleuros_Image_page.htm



Fig. 6. Prototecosis dérmica. Afección de la piel ocasionada por *Prototheca*.
Recuperado el 7 de enero de 2016 de
<http://www.healthcarethai.com/algosis/>



Fig. 7. Úlceras en la pata de un perro ocasionadas por *Prototheca* sp.
Recuperado el 7 de enero de 2016 de
<http://www.vetbook.org/wiki/dog/index.php?title=File:Protothecosis02.jpg>

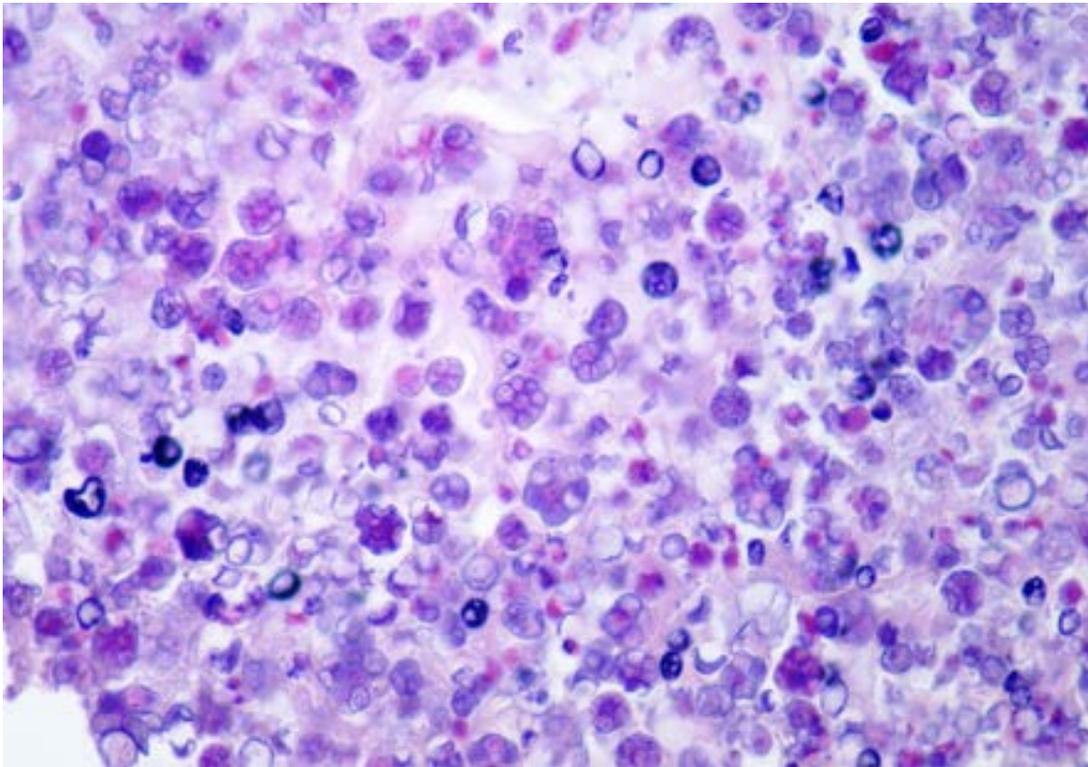


Fig. 8. *Prototheca wickerhamii*. Fotomicrografía de una infección en humanos. Obsérvense las formaciones en forma de flores.
Recuperado el 8 de enero de 2016 de
"Prototheca wickerhamii.hematoxylin eosin stain" by Jerad M Gardner, MD - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prototheca_wickerhamii.hematoxylin_eosin_stain.jpg#/media/File:Prototheca_wickerhamii.hematoxylin_eosin_stain.jpg

María Luisa Núñez Reséndiz
Variación genética de las poblaciones de *Hydropuntia cornea* (Gracilariaceae, Rhodophyta) en las costas del Golfo de México y el Caribe mexicano

Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud. UAM-Iztapalapa. 153p.
E-mail: mlnr@ciencias.unam.mx

Hydropuntia cornea es una especie de alga roja estrictamente marina común en el Golfo de México y el Mar Caribe, caracterizada por presentar un amplio espectro de plasticidad fenotípica. Para determinar la variación genética al interior de sus poblaciones en México, se utilizaron 133 muestras recolectadas en 11 localidades a lo largo de la Península de Yucatán y tres en Venezuela y Brasil, las cuales fueron analizadas bajo la información de cinco marcadores moleculares organizados en dos grupos: las regiones espaciadoras RuBisCo, *cox2-3* y el gen ITS que fueron utilizados para análisis de variación genética y, los genes *rbcL* y *COI* utilizados para filogenia. Los resultados con el primer grupo de marcadores revelaron que al interior de las poblaciones mexicanas de *H. cornea*, existen dos grupos genéticamente diferenciados, GI y GII. El segundo grupo de marcadores reveló que estos grupos genéticos corresponden con dos especies conocidas para el área: *H. cornea* e *H. usneoides*. El mejor marcador para estudios de variación genética en la especie fue la región espaciadora de la RuBisCo. La emersión del Bloque de la Península de Yucatán durante el Mioceno temprano (hace 19 ma), inició el proceso de especiación que aisló geográficamente a Campeche y, que tras el cierre del Istmo de Panamá durante el Plioceno medio (hace 3.1 ma), terminó con la separación de la especie ancestral en las actuales especies *H. cornea* e *H. usneoides*. Dado que el proceso de especiación entre ellas ha sido muy reciente, su separación no fue completa. Aunque el flujo genético entre ambas especies se ha interrumpido, permanecen interconectadas en las redes haplotípicas. A diferencia de la región espaciadora *cox2-3*, la cual mostró tres haplotipos (C1-C3), la región espaciadora de la

RuBisCo, reveló la mayor diversidad genética con 12 haplotipos (R1-R12). Dado que el haplotipo R1 (designado como posible ancestro) corresponde con *H. usneoides*, se infiere que esta especie es la más parecida al ancestro de ambas especies. La reducción del tamaño poblacional de *H. cornea* e *H. usneoides*, favoreció, como resultado de un proceso de expansión demográfica reciente en ambas especies, el incremento de la variación genética al interior de sus poblaciones, principalmente para las poblaciones de Campeche, las cuales mostraron la mayor variación genética. La presencia del haplotipo R1 a ambos lados de la Península de Yucatán así como la composición haplotípica que revela una ruptura genética en Puerto Sisal, sugieren que la especie ancestral de *H. cornea* e *H. usneoides*, se originó en Campeche y desde ahí migró al resto del Mar Caribe hasta el norte de Brasil. Dada la distribución de los haplotipos R1-R12 al interior de las poblaciones, el Mar Caribe resultó ser un ambiente homogéneo en contraste con el Golfo de México, el cual, tanto por los constantes aportes de agua dulce, la falta de sustratos rocosos que faciliten el establecimiento de las especies y la convergencia de corrientes oceanográficas, lo convierten en un ambiente heterogéneo. Así pues, existe una relación entre la distancia genética y la distancia geográfica. La distribución de *H. cornea* está restringida al Caribe, mientras que a *H. usneoides* se le encuentra tanto en el Caribe, en simpatria con *H. cornea*, como en el Golfo de México, en donde es muy abundante y conspicua. Ambas especies están ausentes en Tabasco y Veracruz. A pesar de que Pernambuco es la localidad tipo de *H. cornea*, no se le encontró en esta localidad. Un tercer grupo genético, correspondiente con el ha-

plotipo R12 exclusivo de Pernambuco, parece estar involucrado en la estructura genética de *H. cornea* e *H. usneoides*. Existe una alta variación morfológica al interior de *H. cornea* e *H. usneoides*, pero el rango de plasticidad fenotípica de ambas especies se sobrepone en un cien por ciento. La ausencia de caracteres morfológicos que las separen las coloca como un complejo morfológico de especies crípticas: *H. cornea*/*H. usneoides*.

Palabras clave: especies crípticas, estructura genética, plasticidad fenotípica, variación genética, variación morfológica.

Texto completo disponible en la Colección de Tesis Electrónicas "TESIUAMI":
<http://tesiuami.izt.uam.mx/uam/default2.php>

Compilación de Claudia Pedraza

Una sección sobre páginas web de interés para ficólogos.

Sitios dedicados al conocimiento y difusión sobre Euglenophyta (Euglenozoa):

Academic Journals Database

<http://journaldatabase.info/>

Algae Resource Database

<http://www.shigen.nig.ac.jp/algae/>

Biblat

<http://biblat.unam.mx/>

BHL (Biodiversity Heritage Library)

<http://www.biodiversitylibrary.org/>

Dbpedia

<http://fr.dbpedia.org/page/Euglenophyta>

EMBL-EBI

<http://www.ebi.ac.uk/>

EQAT (External Quality Assessment Trials Phytoplankton)

<http://www.planktonforum.eu/>

EuglenaDB

<https://sites.dundee.ac.uk/euglenadb/>

NZOR (New Zealand Organisms Register)

<http://www.nzor.org.nz/search>

Protist Information Server

<http://protist.i.hosei.ac.jp/index.html>

Phyco Key

<http://cfb.unh.edu/phycokey/phycokey.htm>

The Euglenid Project

<http://euglena.msu.edu/index.shtml>

TreeBASE

<http://treebase.org/treebase-web/home.html>

Tree of life project

<http://tolweb.org/Euglenida>

World Wide Science

<http://worldwidescience.org/index.html>

WoRMS World Register of Marine Species

<http://www.marinespecies.org/index.php>

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.