



## Diatomeas como indicadores de calidad de agua en la Laguna Acahualinca (Managua, Nicaragua)

Silvia Elena Hernández González.

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua) P.O. Box 4598, Managua, Nicaragua. [silvaniaelena@hotmail.com](mailto:silvaniaelena@hotmail.com) Tel.+505 88521679

### Resumen

En los años 2008 y 2009 se realizaron tres campañas de muestreos en la Laguna Acahualinca con la finalidad de coleccionar muestras de diatomeas en las raíces de *Eichhornia crassipes* para evaluar la calidad biológica del agua. Simultáneamente se coleccionaron muestras de agua para el análisis de nutrientes y variables físicas del agua. Para eliminar la materia orgánica de las diatomeas se utilizó el método del peróxido de hidrógeno y el medio naphrax para montaje en placas fijas. Para evaluar la calidad biológica del agua, se utilizó el índice de Shannon y Weaver. Cada muestreo mostró un dominio de taxa de diatomeas (*Eunotia naegelii*, Noviembre, 2008); *Nitzschia palea*

(Mayo, 2009) y *Cyclotella meneghiniana* (Noviembre, 2009); lo que probablemente se vio favorecido a los cambios de las variables físico-químicas, como el Ph y la conductividad, donde *Eunotia* se vio favorecida por un medio ligeramente ácido. Basado en los valores obtenidos del índice de Shannon y los niveles de clasificación, se determinó que la calidad biológica de las aguas de la Laguna Acahualinca son clasificadas como aguas fuertemente contaminadas.

**Palabras claves:** Fitobentos, Diatomeas, Índice de diversidad, Calidad de agua

### Abstract

During 2008 and 2009, three sampling campaigns were conducted in the Acahualinca lagoon in order to collect samples of diatoms in *Eichhornia crassipes* roots to evaluate the biological water quality. Simultaneously, water samples for analysis of nutrients and physical variables were collected. To remove the organic matter of the diatoms the hydrogen peroxide method and naphrax medium for fixed plates mounting was used. To evaluate the biological water quality, the Shannon and Weaver index was used. Each sample showed a mastery of diatom taxa (*Eunotia naegelii*,

November, 2008); *Nitzschia palea* (May, 2009) and *Cyclotella meneghiniana* (November, 2009); which probably was favored to changes in the physico-chemical variables such as pH and conductivity where *Eunotia* was favored by a slightly acidic medium. Based on the obtained values of the Shannon and Weaver index and levels of classification, it was determined that the biological quality of the water of the lagoon Acahualinca are classified as heavily polluted waters.

**Keywords:** Phytobenthos, Diatoms, diversity index, water quality.

## Introducción

El aumento en las concentraciones de nutrientes en un cuerpo de agua provoca un aumento de biomasa y un empobrecimiento en la diversidad de la comunidad fitobentónica. Estas pueden encontrarse en diferentes hábitats y recibir el nombre de acuerdo al sustrato donde se desarrollan. Aquellas que se encuentran o viven sobre otras plantas se les llama algas epifíticas, epipélicas a las que viven en el sedimento y las que se encuentran sobre piedras epilíticas (Round, 1981). Las diatomeas son utilizadas ampliamente como indicadoras de condiciones ambientales del medio acuático.

Su uso se debe a que es una comunidad muy diversa, teniendo la característica de ser sésiles y de fácil manejo, convirtiéndolas en excelentes indicadoras de la calidad de agua principalmente de los sistemas lóticos (Gualtero-Leal, 2007). Sin embargo, también pueden ser buenos indicadores en los sistemas lénticos. Su forma de vida sésil no le permite evitar los contaminantes, tolerando condiciones extremas o desapareciendo. El grado de tolerancia que tienen algunas especies permite inferir o asociar niveles de contaminación, basado únicamente en la estructura comunitaria.

Su empleo no solamente se debe a las características antes mencionadas, sino porque la composición de especies registra rápidamente cambios en las características físico-químicas del agua. Por tal razón la alteración en la composición de especies es la respuesta más sensitiva de los organismos a los cambios ambientales del medio acuático, siendo que la diversidad disminuye con la contaminación (Stevenson & Pan, 1999).

Por todas estas virtudes antes mencionadas, y con la finalidad de identificar especies de diatomeas propias de condiciones particulares que puedan ser utilizadas como evaluadores biológicos, se analizó la comunidad colonizadora de diatomeas en las

raíces de *Eichhornia crassipes* para evaluar la calidad biológica del agua en la laguna Acahualinca; siendo su principal respuesta, reducción del número de especies y cambios en la proporción relativa de especies dentro de la comunidad.

## Materiales y Métodos

### Descripción del área de estudio

La laguna Acahualinca está localizada al Noroeste de la ciudad de Managua (1344300 -1344600 Norte y 575750 - 576000 Este); cerca del Lago Xolotlán y dentro del perímetro del basurero la Chureca. Tiene un área aproximada de 0.08 km<sup>2</sup>. Se encuentra a 39 msnm, con un diámetro de N-S de 280m, y de E-O de 300m; siendo su perímetro 2km. Es una laguna cratérica y somera con una profundidad media de 2m.

El hecho de haber estado ubicada dentro del área del basurero hasta el año 2012, hizo que la gran cantidad de basura que fue depositada en sus alrededores y dentro del espejo de agua, haya provocado una fuerte contaminación de sus aguas, por el gran aporte de desechos sólidos y lixiviados proveniente del basurero. Así como también las descargas de los efluentes de aguas negras, residuos domésticos e industriales, y detergentes utilizados por los pobladores que viven cerca de este lugar, ya que este sitio representó una fuente de ingreso para las diferentes familias que no tienen otro medio de sobrevivencia. Esto induce un crecimiento masivo de la planta acuática *Eichhornia crassipes* (lirio de agua) cubriendo casi toda el área superficial de la laguna y dándole una coloración verde al agua (Fig. 1).

Para el análisis de diatomeas, las muestras fueron colectadas de raíces de macrófitas en los años 2008 y 2009. Se seleccionaron entre 5 y 7 plantas de macrófitas, tomándose las partes que estaban bajo la superficie del agua.

Simultáneamente se colectaron muestras de agua para el análisis de nutrientes y se midieron las variables físicas del agua. En laboratorio la materia orgánica de las diatomeas fue eliminada utilizando el método del peróxido de hidrógeno y montadas en placas permanentes, utilizando el medio naphrax con un índice de refracción de 1.7. Para la identificación de las taxa se utilizó un

microscopio compuesto laborlux y claves taxonómicas. Los conteos de organismos se realizaron con observación directa en un microscopio compuesto Laborlux. Los resultados fueron procesados en un programa Excel. Para evaluar la calidad biológica del agua, se utilizó el índice de Shannon y Weave.



Fig. 1. Laguna Acahualinca: crecimiento masivo de *Eichhornia crassipes*.

## Resultados

### Estructura comunitaria de las diatomeas

Se identificó un total de 30 taxa (Tabla 1) encontradas en las raíces de las macrófitas, observándose una mayor diversidad en los meses de Noviembre 2008 y 2009 con 18 y 17 taxa respectivamente. Por el contrario, para Mayo 2009 se reportan solamente 9 taxa, de las cuales a continuación se mencionan las más representativas.

En el primer muestreo (Noviembre, 2008), de todas las taxa encontradas, se vio favorecido el desarrollo y dominancia de la especie *Eunotia naegelii* (79%); quedando en segundo lugar *Nitzschia palea* (6%), (Fig. 2a). El resto de las taxa se reportan por debajo de este porcentaje. Las características del medio acuático para esta fecha, presentaron condiciones ácidas (pH=6.2) y baja conductividad (127.60  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) (Tabla 2).

Tabla 1. Especies de Diatomeas de la laguna Acahualinca.

	2008	2009		Cantera
	Noviembre	Acahualinca		
		Mayo	Noviembre	
<i>Achnanthes exigua</i>	x			x
<i>Achnanthes sp.</i>	x		x	
<i>Amphora ovalis</i>			x	x
<i>Aulacoseira granulata</i>	x	x	x	
<i>Coscinodiscus sp.</i>	x			
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	x		x	x
<i>Diploneis pseudovalis</i>		x		
<i>Eunotia naegelii</i>	x			
<i>Eunotia sp.</i>			x	
<i>Gomphonema affine</i>	x		x	
<i>Gomphonema parvulum</i>			x	x
<i>Navicula mutica</i>	x	x	x	x
<i>Navicula pupula</i>	x		x	
<i>Navicula pygmaea</i>		x	x	x
<i>Navicula sp.</i>	x			x
<i>Navicula subsalsa</i>			x	
<i>Nitzschia acicularis</i>	x		x	
<i>Nitzschia amphioxys</i>			x	
<i>Nitzschia compressa</i>				x
<i>Nitzschia intermedia</i>			x	x
<i>Nitzschia microcephala</i>	x			
<i>Nitzschia palea</i>	x	x	x	x
<i>Nitzschia pseudofonticula</i>	x			
<i>Nitzschia scalpelliformis</i>		x		
<i>Nitzschia sp.</i>	x			
<i>Nitzschia umbonata</i>		x		
<i>Pinnularia acrosphaeria</i>	x	x		
<i>Pinnularia braunii</i>		x	x	
<i>Pinnularia similis</i>	x			
<i>Pinnularia sp.</i>	x			
<i>Synedra ulna</i>			x	

**Tabla 2.** Características físico químicas de agua en la laguna Acahualinca.

Parámetro	2008	2009	
	Noviembre	Mayo	Noviembre
pH (und)	6.2	8.89	7.45
T (°C)	29.3	28.2	28.4
Conductividad ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	127.6	826	304
Transparencia (cm)	45	20	40
Clorofila- <i>a</i> ( $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ )	71.98	347.2	46.398
PT ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	0.127	1.34	0.05
NT ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	0.506	9.77	0.78
Ortofosfato ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	0.022	0.088	0.045
Amonio ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	0.018	1.94	0.023
Nitrito ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	0.005	0.001	0.003
Nitrato ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	<0.05	0.14	0.05

Por el contrario, en el análisis cualitativo de la muestra, no se observó la presencia de la especie *Eunotia indica*, no reportada para los conteos; esto puede ser debido a que cuando existe una influencia de acidificación antropogénica la mayoría de las especies de *Eunotia* desaparecen, siendo reemplazadas totalmente por otras del mismo género (Alles, Nörpel-Schempp, & Lange-Bertalot, 1991).

En el siguiente muestreo (Mayo, 2009), se observa una disminución en la diversidad de taxa y cambio en la dominancia de especies presentes en las raíces de las macrófitas donde *Nitzschia palea* (82%), fue la especie dominante, (Fig. 2b), seguida de *Cyclotella meneghiniana* (16%). Correspondiendo esto un 98% de representatividad para ambas especies.

Aquí las condiciones ambientales cambiaron a un medio básico (pH=8.89), y una alta conductividad ( $826 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). Para esta misma fecha también se obtuvo una elevada concentración de fósforo total que pasó de  $127 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  a  $1340 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ . Las concentraciones

de amonio y nitrato fueron de  $1.94 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  y  $0.14 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , respectivamente. Esta variable, medida en aguas superficiales suele ser menos que  $0.2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , pero puede llegar de 2 a  $3 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Este cambio en las condiciones del medio probablemente favoreció la dominancia de *Nitzschia palea*, que fue frecuente en el muestreo anterior.

En el último muestreo (Noviembre, 2009), la especie más abundante fue *Cyclotella meneghiniana* (70%), (Fig.2c) reapareciendo las taxa *Eunotia* (12%), *Nitzschia palea* (7%) y la especie *Aulacoseira granulata* (7%). Para este muestreo el pH (7.45) del medio disminuyó, al igual que la conductividad ( $304 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) y las concentraciones de fósforo total ( $0.05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ). Las concentraciones de nitrato fueron de  $0.05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ .

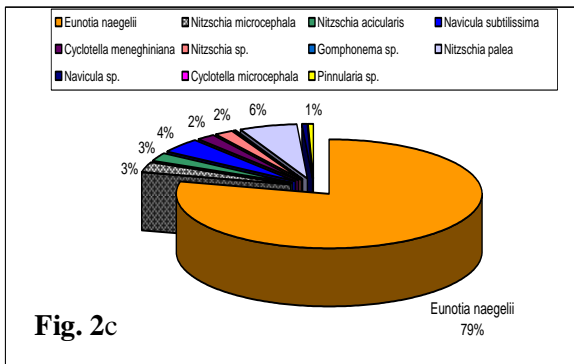
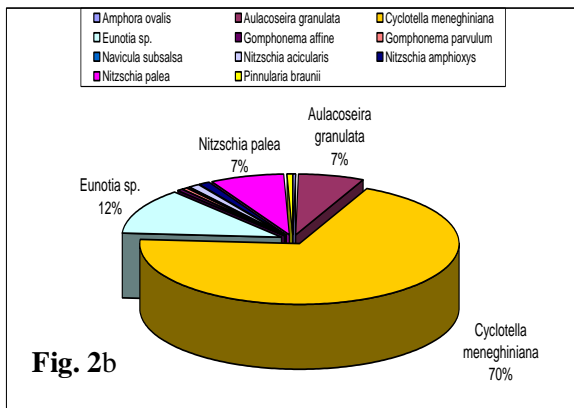
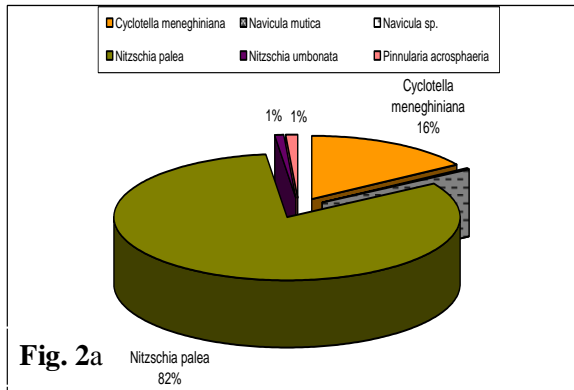
A pesar de que existe escasa información sobre el funcionamiento de lagos someros tropicales, se considera que la fuente principal de fósforo como ortofosfato, en un lago no debe exceder de  $0.025 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . En la laguna se encontraron valores de  $0.022 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  para Noviembre, 2008. Por el contrario en Mayo y Noviembre, 2009 los valores fueron de  $0.088 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  y  $0.045 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  respectivamente.

Por otro lado los valores de pH encontrados en el período de este estudio muestra condiciones ligeramente ácidas y básicas con valores por encima de 8.5, con un rango entre 6.2 y 8.89.

### Relación de la calidad de agua y el índice de Shannon utilizando diatomeas

El índice de Shannon expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a qué especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección. Según Moreno, (2001), adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el logaritmo

de S, cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos.



1

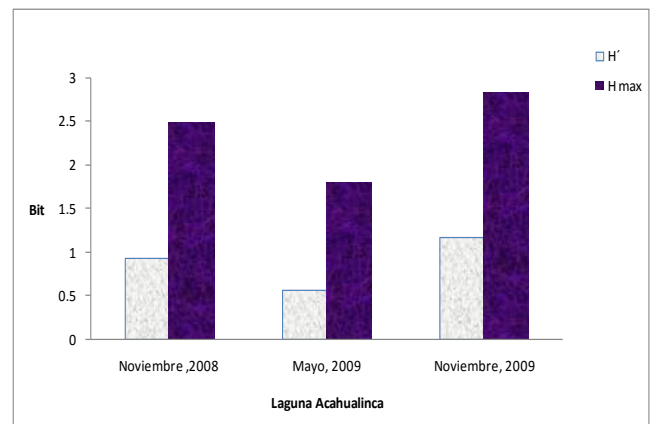
2 **Fig. 2.** Contribución porcentual de diatomeas en  
3 la Laguna Acahualinca, (**Fig.2a**) noviembre  
4 2008, (**Fig.2b**) mayo 2009 y (**Fig.2c**) noviembre  
5 2009.

Este índice es utilizado por muchos ecólogos para evaluar la biodiversidad de las especies dentro de una comunidad de organismos determinada. Sin embargo algunos

investigadores lo retomaron para su uso en las evaluaciones de calidad de agua. De forma tal que Staub, et al. (1970) utilizaron el esquema planteado por Wilhm y Dorris (1968), quienes basan su estudio en comunidades de macroinvertebrados; estableciendo criterios de clasificación para la calidad biológica de las aguas, siendo que valores menores de 1 se consideran aguas altamente contaminadas, entre 1 y 3 son aguas moderadamente contaminadas y mayores que 3 aguas limpias.

En base a lo antes mencionado, se puede observar en la Figura 3 que los valores del índice de Shannon calculado ( $H'$ ), fueron menores a 1 en Noviembre, 2008 (0.93 bit) y Mayo, 2009 (0.56 bit); aumentando levemente en Noviembre, 2009 (1.17 bit). Si se relacionan estos valores con los valores de índices de diversidad esperados ( $H_{max}$ ), se obtiene que estos valores fueron de 2.48, 1.79 y 2.83 para cada uno de los meses muestreados respectivamente.

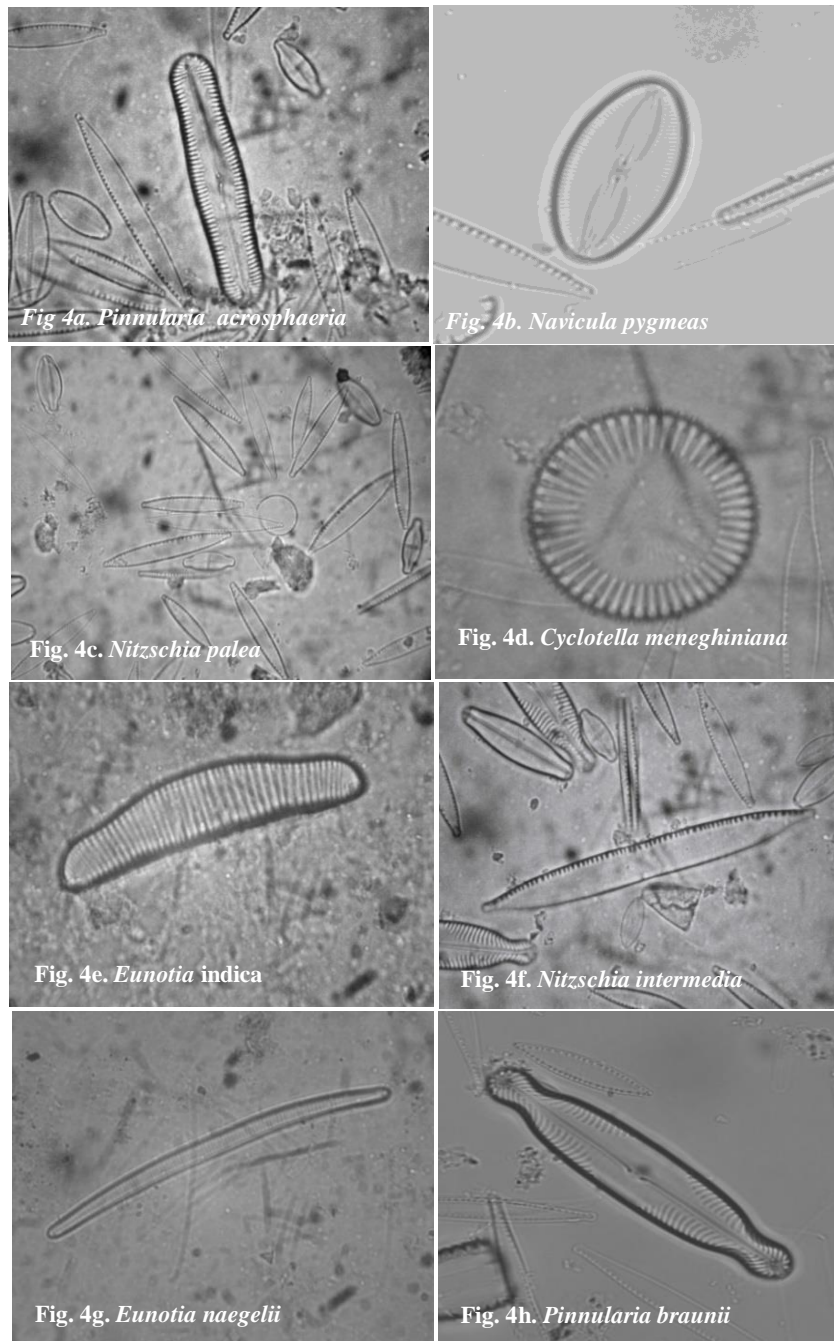
Basado en los resultados obtenidos de la aplicación del índice de Shannon calculado ( $H'$ ), para los tres muestreos realizados, se estimó que la calidad biológica de las aguas de la laguna Acahualinca puede ser clasificada como aguas fuertemente contaminadas.



**Fig. 3.** Cálculo del índice de diversidad de Shannon calculado ( $H'$ ) y el índice de diversidad esperado ( $H_{max}$ ).

En la Figura 4 se muestra algunas de las especies de diatomeas encontradas en las

raíces de macrófitas, principalmente la dominancia de la especie *Nitzschia palea*.



**Fig. 4.** Especies de diatomeas en macrófitas de la laguna de Acahualinca

## Discusión

La proliferación de plantas acuáticas flotantes o sumergidas permite el desarrollo y establecimiento de organismos que pueden ser utilizados como bioindicadores de contaminación. Dentro de estos, las microalgas (diatomeas) bentónicas son el grupo más diverso de los organismos fotosintéticos, constituyendo entre el 80 y 90% de la comunidad del perifiton.

Esta característica permite que sean de gran importancia en las evaluaciones biológicas de los ecosistemas acuáticos, al ser empleadas como indicadoras de ambientes alterados. La ventaja principal de las diatomeas es que responden de manera rápida a los cambios que se producen en su entorno, por su elevada tasa de reproducción.

Pueden vivir sobre sustratos naturales o artificiales y se conservan muy bien debido al esqueleto de sílice que presentan, lo que hace que sean resistentes a fuertes ácidos. Algunas de las principales variables ambientales que regulan la presencia o ausencia de diatomeas son el pH, conductividad, nutrientes, y oxígeno.

Las concentraciones de nitrato reportadas para mayo y noviembre del 2009, fueron muy bajas. Según Chapman, (1996), cuando existe influencia por actividades humanas, las aguas superficiales pueden tener concentraciones hasta de  $5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , indicando contaminación por desechos humanos, animales y fertilizantes, pero por lo general se encuentran inferiores a  $1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ .

Así mismo, el pH es un parámetro de importancia en todo sistema acuático, jugando un papel importante en el equilibrio del sistema. El rango óptimo establecido por la EPA<sup>1</sup> para la mayoría de los organismos es entre 6.5 a 8.5. (Chapman, 1996), señala que

valores superiores a este valor, es un indicador de aguas eutróficas, lo que muestra alteraciones de las condiciones ambientales del sistema acuático.

La presencia y dominancia de *Eunotia naegeli* indica condiciones ambientales específicas. En el trabajo de (Sala, Duque, Núñez-Avellaneda, & Lamora, 2002) se reporta esta especie para aguas ácidas y bajo contenido mineral, encontrándose en aguas con pH entre 5.5 y 6.6, con una conductividad entre  $12$  y  $106 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

Las especies del género *Eunotia* son diatomeas características de aguas naturalmente ácidas y algunas especies como *E. exigua* toleran altas y abruptas variaciones de pH, haciéndolas apropiadas para ser indicadoras de acidificación antropogénica (Alles et al., 1991). La conductividad y el pH del agua son factores importantes que determinan la distribución de este género.

Para el segundo muestreo *Nitzschia palea* se reporta como la especie dominante. Esta especie es considerada indicadora de ambientes hipereutróficos, y reportada en medios altamente contaminados, encontrándose en aguas con bajas concentraciones de oxígeno disuelto, así como en aguas con alta conductividad (Salomoni, Rocha, Callegaro, & Lobo, 2006).

Los cambios en la diversidad y dominancia de especies en los diferentes hábitat es controlado por las variables físico-químicas del medio, donde el fósforo es una variable importante. El fósforo puede ser introducido al cuerpo de agua por la acción bacteriana o cambios en el pH (Pérez-Castillo & Rodríguez, 2008) por lo que valores de pH superior a 8 y una alta producción primaria hace que el fósforo se vuelva más soluble en el agua (Brönmark, C y Lars-Anders, 2005).

---

<sup>1</sup> Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

superior a 8 y una alta producción primaria hace que el fósforo se vuelva más soluble en el agua (Brönmark & Hansson, 2005).

En la mayoría de las aguas superficiales naturales, el fósforo como ortofosfato varía entre  $0.005 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  y  $0.020 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Por lo tanto, el contenido de fósforo total da un estimado del fósforo potencialmente disponible en el medio acuático, siendo esta determinación analítica la que mejor se ajusta a la calidad del agua (Parinet, Lhote, & Legube, 2004).

La alta dominancia de *Cyclotella meneghiniana* en el último muestreo demuestra un cambio en las condiciones ambientales del medio. (Szczepocka & Szulc, 2009), la reporta como una especie resistente a la contaminación.

La aplicación del índice de Shannon basado en la estructura y diversidad de la comunidad determina diferentes niveles de contaminación, ubicando a la Laguna Acahualinca en el nivel de aguas fuertemente contaminadas.

### **Conclusiones**

El reemplazo en el tiempo de las especies de diatomeas (*Eunotia naegeli*, *Nitzschia palea* y *Cyclotella meneghiniana*) dominantes en las raíces de las macrófitas (lirio de agua) de la laguna Acahualinca, sugiere cambios en las condiciones del medio, donde posiblemente la influencia de acidificación

antropogénica para Noviembre (2008) favoreció el dominio de *Eunotia*.

Para Mayo y Noviembre (2009), las condiciones ambientales cambiaron, determinándose una alteración en el pH y conductividad, por lo que la especie *Eunotia naegeli* no se vio favorecida por lo que no fue encontrada y en su lugar *Nitzschia palea* y *Cyclotella meneghiniana* fueron las especies dominantes en los dos siguientes muestreos.

Por lo tanto, podemos concluir que cambios en las características físico-químicas del agua como el pH, la conductividad y los nutrientes (fósforo y nitrógeno), pueden estar determinando la presencia y dominancia en densidad poblacional de las especies, *Nitzschia palea*, *Eunotia naegeli* y *Cyclotella meneghiniana*. Siendo estas especies indicadoras de condiciones ambientales específicas en la Laguna Acahualinca.

Basado en la aplicación del índice de Shannon calculado ( $H'$ ), para los tres muestreos realizados, se estima que la calidad biológica del agua de la Laguna Acahualinca se clasifica como aguas fuertemente contaminadas.

### **Agradecimientos**

La autora agradece al Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos por el apoyo para desarrollar este trabajo.



## Referencias

- Alles, E., Nörpel-Schempp, M., & Lange-Bertalot, H. (1991). Taxonomy and ecology of characteristic Eunotia species in headwaters with low electric-conductivity. *Nova Hedwigia*, 53(1-2), 171-213.
- Brönmark, C., & Hansson, L. (2005). *The biology of lakes and ponds*. Oxford University Press.
- Chapman, D. (Ed.). (1996). *Water Quality Assessments. A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*, Second, 651.
- Gualtero-Leal, D. (2007). *Composición y abundancia de las algas bénticas de cinco sistemas lóticos de Puerto Rico*. University of Puerto Rico, Mayaguez (Puerto Rico).
- Moreno, C. E. (2001). *Manual de métodos para medir la biodiversidad*. M&T-Manuales y Tesis SEA, 1((No. Sirsi) i9789688345436), 84. Zaragoza, España.
- Parinet, B., Lhote, A., & Legube, B. (2004). Principal component analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management—application to a tropical lake system. *Ecological Modelling*, 178(3), 295-311.
- Pérez-Castillo, A., & Rodríguez, A. (2008). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Biología Tropical*, 56(4), 1905-1918.
- Round, F. E. (1981). *The ecology of algae*. Cambridge, New York.
- Sala, S. E., Duque, S., Núñez-Avellaneda, M., & Lamora, A. (2002). Diatoms from the Colombian Amazon: some species of the genus *Eunotia* (Bacillariophyceae). *Acta Amazonica*, 32(4), 589-589.
- Salomoni, S. E., Rocha, O., Callegaro, V., & Lobo, E. (2006). Epilithic diatoms as indicators of water quality in the Gravataí river, Rio Grande do Sul, Brazil. *Hydrobiologia*, 559 (1), 233-246.
- Staub, R., Appling, J., Hofstetter, A., & Haas, I. (1970). The effects of industrial wastes of Memphis and Shelby County on primary planktonic producers. *Bioscience*, 20(16), 905-912.
- Stevenson, R. J., & Pan, Y. (1999). Assessing environmental conditions in rivers and streams with diatoms. En E. F. Stoermer, & J. Smol (Edits.), *The Diatoms: Applications the Environmental and Earth Sciences* (págs. 11-40).
- Szczepocka, E., & Szulc, B. (2009). The use of benthic diatoms in estimating water quality of variously polluted rivers. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 38(1), 17-26.
- Wilhm, J. L., & Dorris, T. (1968). Biological parameters for water quality criteria. *Bioscience*, 18(6), 477-481.