



Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Estudios Superiores Iztacala

**"RECONSTRUCCIÓN PALEOAMBIENTAL  
DE LA LAGUNA DE BABÍCORA CHIHUAHUA,  
POR MEDIO DE DIATOMEAS FÓSILES"**

**SEMINARIO DE TITULACIÓN  
TÓPICOS SELECTOS EN BIOLOGÍA**

**TESINA  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
BIÓLOGA**

**P R E S E N T A:  
BLANCA LETICIA LÓPEZ ARNAUDA**



**DIRECTOR:  
DR. SERGIO CHÁZARO OLVERA**

**LOS REYES IZTACALA  
- MARZO 2007 -**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

En la memoria del Profesor Roberto Rico Montiel  
Yo sé que desde el lugar maravilloso donde se encuentra Ud, Profe., ha estado  
conmigo

## DEDICATORIA

A mis hijos Eduardo y Daniel

Por Ti y para Ti

Amado Planeta Tierra

Y a todos mis compañeros de otras especies que lo habitan conmigo en éste viaje.

Que sea el primer paso para luchar por su conservación.

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a DIOS, ENERGÍA UNIVERSAL INFINITA, por darme ésta oportunidad y fortaleza para continuar adelante, por tus caminos.

A mis hijos Eduardo y Daniel, por su paciencia en las horas que han pasado solos durante la elaboración de mis trabajos, sus palabras y apoyo en ésta etapa difícil de nuestras vidas.

A mis padres Blanca y Octavio por su invaluable apoyo en los proyectos de mi vida, por darme la oportunidad de conocer y amar tanto a la Naturaleza, y su apoyo en éstos momentos difíciles.

A mi hermana Liliana por su apoyo de todo tipo para la elaboración de éste trabajo y por estar hombro con hombro conmigo en los momentos difíciles.

A mis amigas y amigos, Elena, July, Laura, Toña, Diana, Lupita, , por supuesto a Cuauhtemoc y a Carlos por compartir con ellos una de las mejores relaciones que el ser humano es capaz de entablar, la amistad, gracias por sus palabras de aliento en las situaciones difíciles y apoyo en ésta nueva vida.

A mis profesoras y amigas Rosario y Leticia por darme la oportunidad de éste realizar éste trabajo, por su apoyo, su amistad y sus palabras de aliento.

A mi asesor Dr. Sergio Cházaro por darme la oportunidad de concluir un pendiente importante, por darme su apoyo y ayuda para realizarlo.

A Eduardo, "gracias por haber participado" tantos años en mi vida y propiciar éste nuevo proyecto, por tu apoyo en mis ilusiones y todo lo que me diste.



## INDICE

INTRODUCCIÓN.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
OBJETIVOS.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
ÁREA DE ESTUDIO.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
MATERIAL Y METODO.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
R E S U L T A D O S.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
ANALISIS DE RESULTADOS.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
CONCLUSIONES.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
REFERENCIAS .....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
APENDICE 1 .....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia geológica de la Tierra el ambiente sufre cambios graduales y a veces repentinos, la forma de inferir la naturaleza de estas transformaciones es por medio de estudios interdisciplinarios sobre el paleoambiente, ya que ayudan a determinar si las condiciones actuales son debidas a la influencia solamente del hombre o son el resultado de procesos naturales. La paleolimnología, es el estudio de los paleolagos o antiguas cuencas lacustres que investiga e interpreta la secuencia de los sedimentos y qué procesos han alterado las condiciones físicas y químicas de tales depósitos, incluyendo por supuesto, el estudio de los fósiles.(Fernández, 1999.)

Desde el punto de vista geológico un cuerpo de agua es efímero, es decir, su vida es de unos miles de años y experimentan la influencia de procesos geológicos como cambios en las condiciones climáticas, movimientos tectónicos, eventos volcánicos, etc. Por lo que solo especialistas ( geólogos, paleontólogos y paleolimnólogos) estudian los materiales que allí se depositan y que se conservan a través del tiempo ( Rico, 1995 y Fernández, 1998, y Fernández, 1999). En un lago partículas acarreadas o producidas sobre la masa de agua se depositan en el fondo y la composición de éstos materiales junto con la velocidad con la que se acumulan expresan la actividad del lago y las condiciones físicas, químicas y biológicas que influyen en su historia.( Metcalfe y O'hara, 1992).

En la parte superior del sedimento se añaden nuevas capas de materiales más recientes, el sedimento envejece y adquiere características que varían poco con el paso del tiempo, entonces pasa a ser un “sujeto geológico”, el sedimento conserva su estructura estratificada que contiene minerales que pueden indicar las condiciones precisas en el momento de su formación, así como también puede conservar restos de organismos que vivieron en esas aguas, por lo que el sedimento viene a ser como la memoria o archivo del lago que suministra datos para reconstruir el clima, vegetación, bioma, etc. y no solo del sitio sino también de los alrededores  
( Margalef,1957 y Metcalfe, 1988).

Estos estudios paleoecológicos ( biológicos y geológicos), son necesarios para poder hacer una historia adecuada sobre los eventos que han ocurrido en nuestro planeta además de comprender cómo se comportaban estos sistemas sin la influencia del hombre y compararlos con el impacto actual de la civilización ( Rico, 1995).

La mayoría de los depósitos lacustres de México son del Pleistoceno ( 2 millones de años A.P.) periodo caracterizado por continuos cambios climáticos que pueden ser deducidos a partir de estudios como el que se pretende.

Los elementos más utilizados para la reconstrucción del pasado han sido los fósiles desde hace muchos años, y dentro de éstos los microscópicos, de los cuales las diatomeas han jugado un papel muy importante en el desarrollo de la bioestratigrafía y paleolimnología desde mediados del siglo XIX ( Bradbury, 1988) debido a que el uso de las diatomeas en interpretaciones paleolimnológicas siguen una variedad de enfoques, todos ellos en base a observaciones modernas del hábitat y preferencias ecológicas de diatomeas vivas.

Una de las razones por las que se prefiere utilizar a las diatomeas es porque son extraordinariamente abundantes, algunas asociaciones planctónicas distribuidas, se calcula que el número total de especies va de los 10 a los 20 mil incluyendo las marinas pueden alcanzar 1000 o 4000 células/ml., y de las bentónicas varios centenares o miles por cm cuadrado (Bradbury, 1975), y más todavía en lagos eutróficos con abundante silicio (compuesto principal de la pared de la diatomea). Muchas especies tienen una distribución cosmopolita pero también hay muchas endémicas ( Patrick y Reiner,1966). También porque muchas especies, variedades y formas de diatomeas de agua dulce ocupan hábitats muy diversos y específicos, y con ellas se pueden hacer una gran gama de interpretaciones ambientales específicas (Cholnoky, 1968; Patrick y Reiner,1966; ). Como por ejemplo el pH, química, y salinidad del agua, estatus trófico, erosión, turbulencia, turbidez, profundidad y estratificación del lago, etc. además de cambios en la vegetación terrestre y en el suelo local, impacto de incendios en el bosque y cambios climáticos de la zona. (Battarbee and Flower, 1985. Gasse y Tekai, 1982. Kjemperud, 1981. Bradbury , 1971 y



1975. Brugam, 1980. Haworth, 1977. Bradbury, 1977). Las diatomeas de agua dulce son muy resistentes a la descomposición y serán preservadas mucho más tiempo que otros microfósiles. (Aldridge, et al. 1993).

La taxonomía está basada en las características de las frústulas y sus fósiles pueden ser identificados rápidamente con las técnicas modernas (Lohman, 1960).

Los principales minerales que se encuentran en los lagos se pueden clasificar dependiendo de su origen en tres clases (Swain, F. 1970):

1.- Minerales alogénicos.- se derivan fuera del lago, éstos minerales son suministrados por arroyos y caudales superficiales que erosionan la tierra y llevan los depósitos a los sedimentos reaccionando con el agua del lago. Estos minerales nos dan información de las características de la tierra circundante al lago. Los principales son silicatos, carbonatos y arcillas.

2.- Minerales endogénicos.- son el resultado de procesos químicos en el agua del lago. Estos son importantes guías para determinar las condiciones químicas y biológicas del lago. Las partículas endogénicas del lugar a menudo aparecen solo por cortos periodos en el año, ejemplos: la sedimentación de silicio a partir de las valvas que a menudo aparecen después del florecimiento de diatomeas. La participación de  $\text{CaCO}_3$  en lagos calcáreos es el resultado de un incremento del pH causado por fotosíntesis algal. La formación de hierro precipitado a menudo aparece por cambios temporales del pH y condiciones redox.

3.- Minerales authigénicos.- son formados dentro de los sedimentos como resultado de condiciones específicas químicas y físicas. Los silicatos arcillosos y no arcillosos se derivan de procesos alogénicos, pero el fosfato de hierro y minerales sulfurados son ejemplos de minerales formados dentro de los sedimentos.

Principales compuestos químicos de los lagos (Tomado de Hakanson y Jansson. Principles of lake sedimentology).

- a) Carbonatos: son importantes componentes de los sedimentos, En lagos con camas de roca calcárea a menudo constituyen la fracción dominante. La mayor parte de los carbonatos se originan de la erosión de las rocas circundantes, los principales son:  $\text{CaCO}_3$  ( calcita), y  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  ( dolomita). También se pueden originar por procesos endogénicos. En regiones con sustratos de  $\text{CaCO}_3$  éste se desintegra en  $\text{Ca}$  y  $\text{HCO}_3^-$  y en sustratos dolomíticos en  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$  y  $\text{HCO}_3^-$ , por tanto el agua se enriquecerá con  $\text{Ca}$  en presencia de  $\text{CO}_2$  a altas temperaturas.
- b) Silicatos: La mayor parte de la corteza terrestre está formada por silicatos, de los cuales hay cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) y estructuras más complejas. En muchos de los casos el aluminio sustituye parte del silicio en sus átomos y se llaman aluminosilicatos. La erosión y el transporte de agua de afuera incorporan los silicatos a los sedimentos del lago, por lo que los silicatos se pueden considerar exclusivamente alogénicos. Hay algunos de gran tamaño ( cuarzo y feldespatos) pero hay otros muy pequeños y son llamados arcillas, éstos últimos pueden formarse por procesos hidrotermales. Quizá la mayor fracción de silicio en los sedimentos se deriva de contribución externa de los minerales silicatos pero hay una fracción de éstos que se derivan de procesos endogenitos y éstos son la incorporación del silicio a partir de las frústulas de diatomeas. En lagos ricos en nutrientes las diatomeas son comunes y hasta dominantes, es una parte común del fitoplancton, éstas algas asimilan el silicio del agua y lo incorporan a sus frústulas, cuando mueren éstas se depositan en los sedimentos y pueden ser preservadas por largos periodos de tiempo.
- c) Hierro. Después del O, Si, Al, el Fe es el más frecuente en la corteza terrestre y consecuentemente en los sedimentos lacustres. Los más abundantes compuestos de Fe son los óxidos, hidróxidos y sulfidos, y puede estar presente en los silicatos. Particularmente el Fe es depositado en los sedimentos como granos silicatados,

óxidos inorgánicos, pero también puede estar como sulfidos authigénicos, los cuales son el resultado de una alta movilidad química del Fe en los sedimentos. El mayor factor en la transformación del Fe en los sedimentos es por el potencial redox y pH que transforma los compuestos en ion Fe.

#### Parámetros biológicos

Algas epipélicas. Es claro que sedimentos calcáreos son favorables para las diatomeas a diferencia de sedimentos con alto contenido orgánico que son favorables para algas verdeazules. La correlación entre el crecimiento algal se limita más a las condiciones de luminosidad que a los suplementos nutritivos ( Persson, et al., 1977) las algas epipélicas no cambian significativamente su productividad o biomasa después de la fertilización de todo el lago con N o P., pero responden de otras formas al clima, o a los cambios de luminosidad por el incremento en la turbidez por plancton. Para satisfacer sus demandas de luz las diatomeas son probablemente capaces de moverse dentro de los sedimentos.(Ager, 1993).

Las algas epipelicas son posiblemente capaces de utilizar los nutrientes almacenados en los sedimentos independientemente de los que se encuentren en ese momento del el agua del lago. Dennis, et al. (1986) encontró que las algas verdeazules asimilan el N del amonio y desechan N soluble por lo que son un factor de la química de los lagos.

## **OBJETIVOS**

Contribuir a la reconstrucción del paleolago de Babícora, Chihuahua, por medio del conocimiento de las características y factores ambientales específicos que interactúan en el desarrollo de las especies de diatomeas fósiles encontradas, así como las posibles variaciones fisicoquímicas que contribuyeron a los cambios en las asociaciones de éstas.

- a) movilidad química del Fe en los sedimentos. El mayor factor en la transformación del Fe en los sedimentos es por el potencial redox y pH que transforma los compuestos en ion Fe.

#### Parámetros biológicos

Algas epipélicas. Es claro que sedimentos calcáreos son favorables para las diatomeas a diferencia de sedimentos con alto contenido orgánico que son favorables para algas verdeazules. La correlación entre el crecimiento algal se limita más a las condiciones de luminosidad que a los suplementos nutritivos ( Persson, et al., 1977) las algas epipélicas no cambian significativamente su productividad o biomasa después de la fertilización de todo el lago con N o P., pero responden de otras formas al clima, o a los cambios de luminosidad por el incremento en la turbidez por plancton. Para satisfacer sus demandas de luz las diatomeas son probablemente capaces de moverse dentro de los sedimentos.(Ager, 1993).

Las algas epipelicas son posiblemente capaces de utilizar los nutrientes almacenados en los sedimentos independientemente de los que se encuentren en ese momento del el agua del lago. Dennis, et al. (1986) encontró que las algas verdeazules asimilan el N del amonio y desechan N soluble por lo que son un factor de la química de los lagos.

## **OBJETIVOS**

Contribuir a la reconstrucción del paleolago de Babícora, Chihuahua, por medio del conocimiento de las características y factores ambientales específicos que interactúan en el desarrollo de las especies de diatomeas fósiles encontradas, así como las posibles variaciones fisicoquímicas que contribuyeron a los cambios en las asociaciones de éstas.

## ÁREA DE ESTUDIO

La laguna de Babícora, objeto del presente estudio, es una cuenca situada al noroeste de Estado de Chihuahua entre las coordenadas geográficas de 29° 15' y 29° 30' de latitud norte y 107° 40' y 108° 00' de longitud oeste. Presenta orientación noroeste/ sureste, tiene una superficie aproximada de 437 km<sup>2</sup> y se encuentra a una altitud promedio de 2 160 m.s.n.m. (Ortega,1995.). Las estructuras montañosas que la rodean alcanzan hasta 3100 m.s.n.m.

La cuenca se origina por fenómenos tectónicos de tipo distensivo del Terciario Superior. La región que ocupa la laguna presenta pilares tectónicos formados en la base por rocas reolíticas con intercalaciones de andesitas, ignimbritas y tobas, y en la cima por conglomerados y derrames de lavas basálticas. La vertiente que la rodea presenta en las paredes más elevadas pendientes de 40° y 15° en contacto con la planicie (Ortega-Ramírez, 1995).

La región se encuentra en el dominio climático de semifrío continental (García, 1973) con características semiáridas.

El carácter montañoso de la región que rodea la cuenca ocasiona estratificación de la vegetación, variando así en función de la altitud. De aprox. de 2800 a 2400 m.s.n.m. bosque mixto de pinos y encinos, a medida que desciende presenta juníferos y gramíneas principalmente, de 2200 a 2160 m.s.n.m. imperan las gramíneas y las partes sujetas a inundaciones presenta vegetación subacuática.(García, 1973).



## MATERIAL Y METODO

Se realizó una colecta del afloramiento de la sección Don Beto en la laguna de Babicora en Chihuahua. Se realizó la extracción y recolección de muestras en el lugar a diferentes intervalos dependiendo de la variación observada en los sedimentos. Las muestras recolectadas se guardaron en bolsas con los datos de campo. Las muestras fueron secadas y guardadas en frascos de vidrio etiquetados y fueron procesadas en el laboratorio de geología-paleontología de la Universidad Nacional Autónoma de México, campus Iztacala, de acuerdo al método de Schrader (1973). Se realizaron preparaciones por cada muestra, colocando una gota de solución sobre cubreobjetos y secando en parrilla con el fin de evaporar. Una vez secas las muestras se les agregó Hyrax como medio de montaje, después se colocaron sobre portaobjetos de forma invertida y se dejaron secar a temperatura ambiente. Se observaron en microscopio óptico. Se contaron para determinar abundancia relativa por muestra y por posición estratigráfica y se identificaron las especies con la ayuda de claves para diatomeas. Posteriormente se realizaron los análisis de sedimentos tanto físicos como químicos de acuerdo a metodologías convencionales en el laboratorio de geología-paleontología del campus Iztacala. Los análisis físicos se realizaron una vez tomadas las muestras mediante observaciones en microscopio óptico para posteriormente identificar el tipo de sedimento. Para determinar el contenido elemental en los sedimentos lacustres se emplearon técnicas como: fotometría de flama para el cálculo de Na, y K; absorción atómica para el Mg, colorimetría para P, y técnicas tradicionales para otros elementos, (Ortega-Ramírez, 1995),





## RESULTADOS

Una vez observadas las preparaciones se pudieron clasificar 25 especies de diatomeas en los sedimentos de Babícora, incluyendo *Epithemia zebra*, *E. sorex*, *Rhopalodia gibberula*, *R. giba*, *Anomoeoneis lanceolata*, *Hantzschia amphioxys*, *Neidium sp.*, *Stauroneis sp.*, pero las más abundantes fueron:

Sp1. *Stephanodiscus niagarae* (Ehr). (Imagen 1)

Sp2.- *Stephanodiscus astraea* (Ehr). (Imagen 2)

Sp3.- *Surirella ovata* (Kutz.) (Imagen 3)

Sp4.- *Stephanodiscus hantzschii* (Grun.) (Imagen 4)

Sp5.- *Cymbella mexicana* (Ehr.) (Imagen 5)

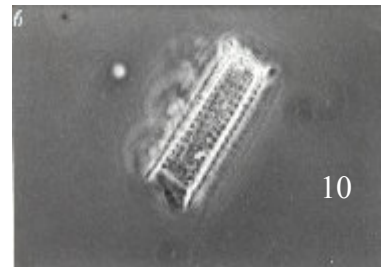
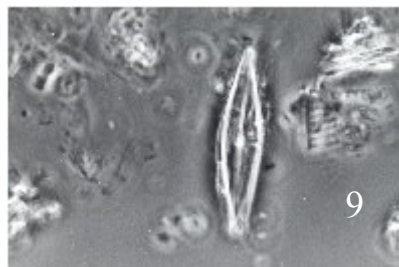
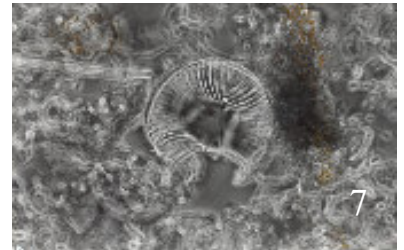
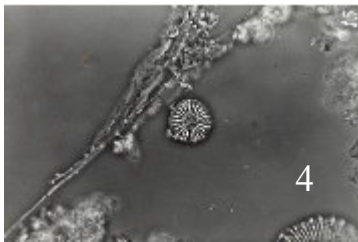
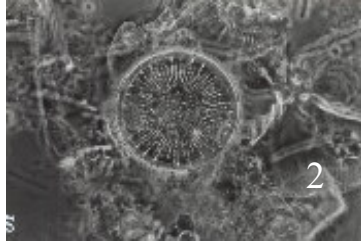
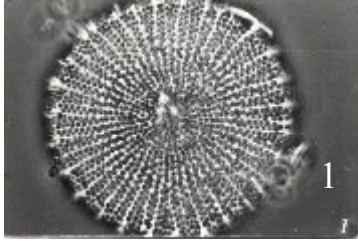
Sp6.- *Cymbella sp.* (Ehr.) (sin imagen )

Sp7.- *Camphylodiscus noricus* ( Ehr.) (Imagen 7)

Sp8.- *Anomoeoneis seriens* ( de Brebisson). (Imagen 8)

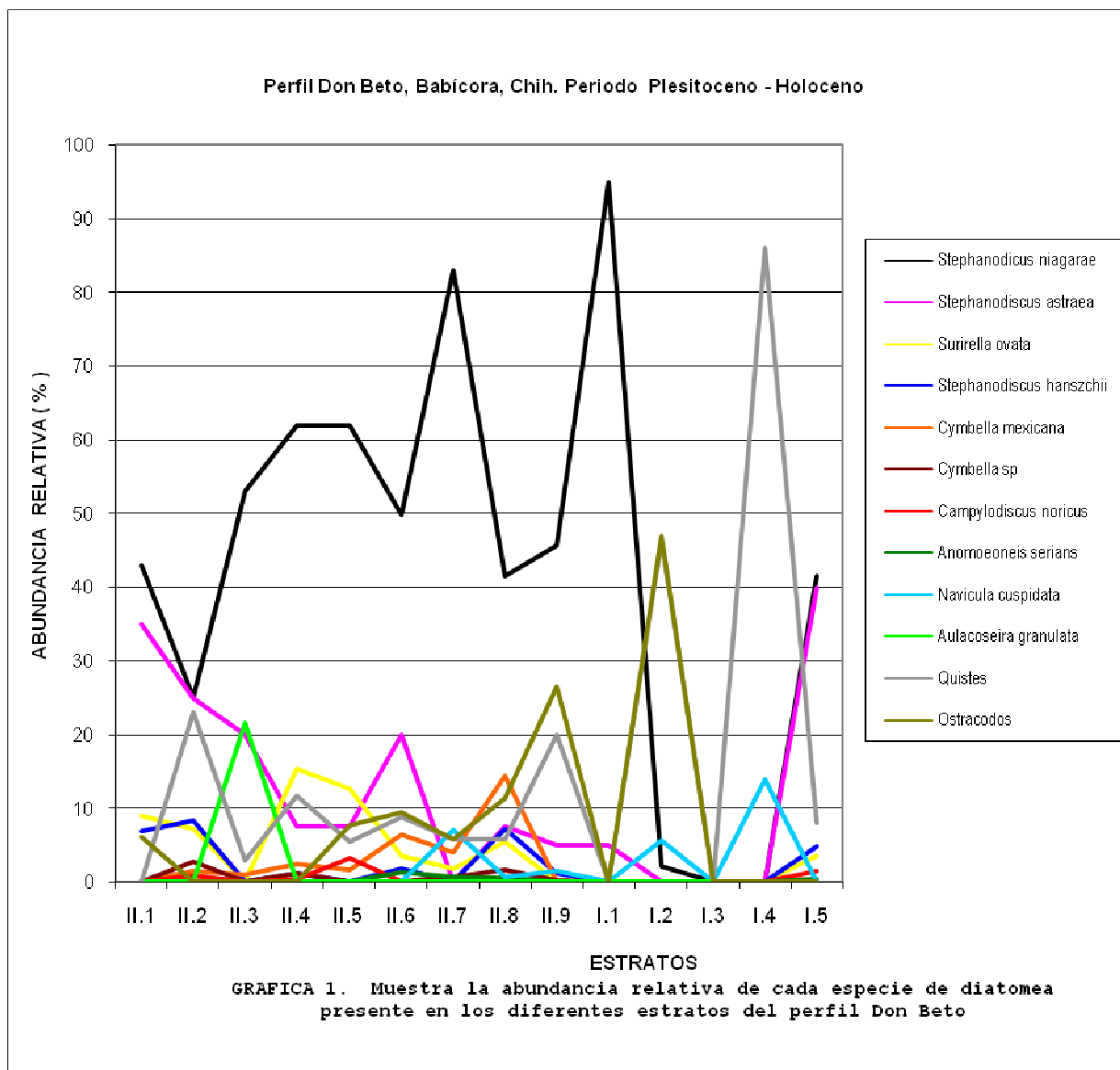
Sp9.- *Navicula cuspidate* (Kutz) (Imagen 9)

Sp10.- *Aulacoseira granulata var. angustissima* ( O: Müller) (Imagen 10)



10

Fig. 1. Abundancia relativa de las especies de diatomeas.



Los muestreos se iniciaron a una profundidad de 2.3 metros, el primer estrato y el más profundo es el II.1 con una edad de 24,000 años A.P. y presenta como diatomeas dominantes a *Stephanodiscus niagarae*, S. Sp1., *Surirella ovata* y S. Sp2. en orden de abundancia relativa, estas 4 especies son alcalinobionticas, eutróficas, de oligo a mesohalobias, de saproxenas a mesosaprobias, principalmente reofilas y euplanctónicas. En este estrato se encuentra el Ca. como mayor componente siguiendo el Fe. Mn. y Na.

El estrato II.2 se caracteriza por un ligero aumento en la *Stephanodiscus sp2* y la aparición en su pico máximo de alrededor de 5% de *Cymbella* que es perifítica aunque continua como la más abundante la *Stephanodiscus niagarae*.

El estrato II.3 se caracterizó por la presencia ( solo en éste estrato) de *Aulacoseria granulata*. En el estrato II.4 alcanza su pico máximo de abundancia relativa de alrededor de 18% *Surirella ovata* que se caracteriza por ser invernal.

En el estrato II.5 alcanza su pico máximo la *Camphylodiscus noricus* con una abundancia relativa de 5%, ésta especie se caracteriza por ser perifítica y limnófila.

Unicamente en los estratos II.6, II.7 y II.8 se encuentra la especie *Anomoeoneis serians*, alcanzando su pico máximo en el II.6 y disminuyendo hasta desaparecer en el II.8, ésta especie se caracteriza por ser epilítica.

La especie *Stephanodiscus niagarae* permanece como la más abundante disminuyendo un poco en el estrato II.6 y aumentando nuevamente en el II.7 para volver a descender un poco en el II.8.

En el estrato II.8 alcanza su pico máximo *Cymbella mexicana* al 16% de abundancia relativa, ésta especie se caracteriza por ser perifítica y limnófila.

A partir del estrato II.5 aparecen los ostracodos pero en estrato II.9 aumentan hasta un 25% de abundancia relativa y en el I.2 presentan su pico máximo al 100% coincidiendo con la casi ausencia de diatomeas a excepción de *Navicula cuspidata* que es perifítica o bentónica.

En el estrato I.1 alcanza su 100% la especie dominante en casi todos los estratos, la *Stephanodiscus niagarae* disminuyendo drásticamente hasta desaparecer en el I.2 justamente cuando los ostracodos alcanzan su máximo, también en éste estrato se presenta un aumento en el Ca.

Los estratos I.3 y I.4 se caracterizan por la casi total ausencia de diatomeas a excepción de *Navicula cuspidata*, también se presentan estomatoquistes alcanzando su pico máximo en el estrato I.4.

Por último en el estrato I.5 vuelven a aparecer la mayoría de las especies de diatomeas, y los estomatoquistes disminuyen hasta desaparecer.

### ***Stephanodiscus niagarae* (Ehr.)**

**pH:** alcalinobiótica de 6.2 a 9.5, óptimo 8; **espectro de nutrientes:** eutrófica; **espectro halobio:** mesohalobia (rango beta), puede tender a oligohalobia; **espectro saprobio:** mesosaprobio; **espectro de corrientes:** de indiferente a reófila; **habitat general:** lagos; **habitat específico:** euplanctónica; **distribución estacional:** primavera. Las frústulas de ésta diatomea son discoidales, de 18 micras de diámetro, valvas circulares y presentan líneas punteadas radialmente, en el centro una sola hilera y se van ensanchando hasta de 3 o 4 hileras de marcas, cerca de 15 estrias o líneas en 10 micras, éstas líneas alternan con espacios libres, al final de éstos hay una espina prominente. Lo característico de ésta especie es su tamaño, las espinas y las estrias (Round et al., 1990; Gasse, 1986).

***Stephanodiscus astraea* (Ehr)**

**Espectro pH:** alcalinobiótica de 6.4 a 9 , óptimo 8; **espectro de nutrientes:** eutrófica; **espectro halobio:** mesohalobia ( rango beta) tendiendo a oligohalobia; **espectro saprobio:** saproxena; **espectro de corrientes:** de indiferente a reófila; **habitat general:** lagos; **habitat específico:** euplanctónica; Distribución estacional: Primavera. Valvas redondas, de alrededor de 18 micras de diámetro, cóncavas, con una gran zona central con numerosas marcas punteadas y estrías con estigmas, son radiadas desde una estigma en el centro a 3 o 4 en el borde, en los interespacios se encuentra zonas hialinas con una espina muy prominente insertadas al final de la estría, puede haber cerca de 15 por 10 micras, la zona de la periferia posee estrías y una zona hialina en el borde (Round et al., 1990; Gasse, 1986).

***Surirella ovata* (Kutz)**

**Espectro de pH:** alcalífila de 6 a 8.2 ( óptimo de 7 a 8). **Espectro de nutrientes:** eutrófica. **Espectro halobio:** oligohalobia ( indiferente). **Espectro saprobio:** mesosaprobia ( rango beta). **Espectro de corrientes:** reófila. **Habitat general:** lagos. **Habitat específico:** euplanctónica. **Dist. Estacional:** invierno. Valvas ovales, heteropolares ( polos desiguales) con uno ancho y redondeado y el otro agudo, mide de 20 a 32 de largo y de 9 a 19 de ancho. Presenta estrías paralelas cerca de la mitad de las valvas y radiadas en el contorno de 20 a 24 en 10 micras. A lo largo de ambos lados de las valvas hay una quilla marginal que contiene al rafe, éste con una pequeña zona central y nódulos polares, a lo largo de la cara interior de la fisura del rafe hay una serie de poros circulares que conectan al interior (Round et al., 1990; Gasse, 1986)

***Stephanodiscus hantzschii* (Grun.)**

**Espectro de pH:** alcalinobiótica. **Espectro de nutrientes:** eutrófica. **Espectro halobio:** oligohalobia. **Espectro saprobio:** mesosaprobia ( beta). **Espectro de corrientes:** de indiferente a reófila. **Habitat general:** lagos. **Habitat específico:** euplanctónica. **Distribución estacional:** primavera. Valvas circulares, cóncavas, con el centro hundido,

presenta estrias radiadas del centro a la periferia a partir de una pequeña zona central hialina que posee algunos estigmas pequeños, los estigmas de las estrias están formados de manera alternada que da la apariencia de zigzag. Se puede presentar en un rango de diámetro de 5 a 30 micras, las estrias son de 8 a 10 en 10 micras (Round et al., 1990; Gasse, 1986)

#### *Cymbella mexicana* (Ehr)

**Espectro de pH:** alcalífila óptimo de 7 a 8 **Espectro de nutrientes:** eutrófica. **Espectro halobio:** oligohalobia (indiferente). **Espectro saprobio:** de oligo a mesosaprobio. **Espectro de corrientes:** limnófila. **Habitat general:** lagos y estanques. **Habitat específico:** perifítica. **Dist. Estacional:** primavera y verano. Valvas marcadamente dorsoventrales, el margen dorsal fuertemente arqueado y el ventral ligeramente sumido en el centro, el área central es ovoide, pequeña y con una estigma aislada en el centro. Mide de 80 a 165 micras de largo y 24 a 33 micras de ancho. Presenta estrias radiadas, posee unas más cortas interpuestas en el centro y sus estigmas son como bloques rectangulares; los extremos y el centro están libres de estrias, puede poseer e 7 a 8 en 10 micras. El rafe es lateral convirtiéndose en filiforme cerca del extremo próximo y distal, el rafe del extremo próximo es bulboso y del distal se desvía hacia un lado en forma de gancho puntiagudo (Round et al., 1990; Gasse, 1986)

#### *Campylodiscus noricus* (Ehr)

**Espectro De pH:** alcalinobióntica de 8.6 a 8.7. **Espectro de nutrientes:** eutrófica. **Espectro halobio:** mesohalobia. **Espectro saprobio:** mesosaprobio. **Espectro de corrientes:** limnófila. **Habitat general:** lagos y estuarios. **Habitat específico:** perifítica. Valvas subcirculares convexas a lo largo y cóncavas a lo ancho lo cual da una forma como de silla de montar. Presenta estrias bi o multiseriales que contienen en su interior numerosos poros. El rafe es submarginal y ocupa toda la circunferencia de la cara valvar (Round et al., 1990; Gasse, 1986)

#### *Anomoeoneis seriens* (Breb.)

Espectro de pH: de acidobiontica a acidófila. Espectro de nutrientes: oligotrófica. Espectro halobio: eurihalobia. Espectro saprobio: mesosaprobia. Espectro de corrientes: limnófila. Habitat general: lagos. Habitat específico: perifítica. Frústulas lineales lanceoladas, con valvas simétricas elípticas y con los extremos en punta, las valvas presentan estrias cortas y delicadas transversas las cuales se interrumpen por varios espacios hialinos que no coinciden, el resultado es un patrón longitudinal en zigzag. Presenta una zona hialina en el centro. El rafe es recto y extremos rectos con un pequeño nódulo en cada uno, cerca del rafe no hay estrias lo que crea una línea hialina a su largo. Las valvas miden de 20 a 31 micras de largo y de 7 a 9 micras de ancho, presenta 24 estrias en 10 micras (Round et al., 1990; Gasse, 1986)

#### ***Navicula cuspidata* (Kutz)**

Espectro de pH: alcalífila ( de 7 a 8.5). Espectro de nutrientes: eutrófica. Espectro halobio: oligohalobia (indiferente). Espectro saprobio: mesosaprobia rango beta. Espectro de corrientes: limnófila. Habitat general: lagos y estanques. Habitat específico: perifítica. Dist. Estacional.: otoño. Valvas simétricas en tres planos, de 88 a 126 micras de largo y 20 a 34 de ancho, son elongadas visualmente atenuadas hacia los polos (lanceolada) y con los polos o ápices redondeados. Presenta estrias finas o hileras de estigmas transversales en la valva, paralelas y radiadas aproximadamente de 15 a 17 en 10 micras. Hay una zona central sin estrias ni ornamentación, totalmente lisa. El rafe es axial, fino, bien definido y recto, y con nódulos centrales y polares pequeños (Round et al., 1990; Gasse, 1986)

#### ***Aulacoseira granulata* (Ehr.)**

Espectro de pH: alcalífila. Espectro de nutrientes: eutrófica. Espectro halobio: oligohalobia. Espectro saprobio: de meso a oligosaprobia. Espectro de corrientes: limnófila. Habitat general: lagos. Habitat específico: euplanctónica. Dist. Estacional: primavera. Valvas más largas que anchas, cilíndricas, con una longitud de 10 a 23 micras, y un diámetro de 4 a 10 micras. Se le pueden observar areolas grandes y toscas de 10 a 15 hileras en 10 micras. Las células terminales presentan grandes espinas a veces desiguales que se incrustan en la valva adyacente pareciendo romperla. Esta especie se distingue en la



vista angosta por la presencia de largos estigmas alineados para formar una hilera longitudinal (Round et al., 1990; Gasse, 1986)

## ANALISIS DE RESULTADOS

Como se puede observar en los resultados, tabla y figura 1, la especie de mayor abundancia relativa y dominante en casi todos los estratos fue *Stephanodiscus niagarae*, continuando en orden de a.r. la *Stephanodiscus hanzschii*, S del lago dejando como zonas menos profundas aquellas que eran de más profundidad. *S. astraea* y *Surirella ovata*. La presencia de éstas especies indica que el habitat del paleolago de Babícora en la sección de Don Beto era alcalino, eutrófico, salobre, de aguas profundas y con influentes en sus laderas hace 23,000 años A.P. , subsecuentemente éste lago sufrió varios cambios, el primero de ellos hace aprox. De 19 a 17, 000 años A.P. en el que al parecer descendió la temperatura permitiendo el aumento de *Surirella ovata*. Otros cambios ocurrieron cuando aparece en su pico máximo *Camphylodiscus noricus* en el estrato II.5 (en un 5%) porque al ser una especie perifítica indicaría una disminución en la profundidad.

Lo mismo parece haber sucedido en el estrato II.6 hace de 16 a 15,000 años A.P. con la presencia de *Anomooneis serians* que es preferentemente epilítica, y en el II.8 con la presencia de *Cymbella mexicana* que es preferentemente perifítica y limnófila coincidiendo con una disminución de *Stephanodiscus niagarae* que es preferentemente planctónica, éstos pequeños cambios coinciden con una pequeña disminución en el Mn. y el Ca. aunque el Fe. y el Na permanecen estables.

En el estrato I.1 al parecer se recupera la profundidad del cuerpo de agua al disminuir las especies epilíticas y perifíticas y aumentar las especies planctónicas principalmente *Stephanodiscus niagarae*, que alcanza su máxima distribución al mismo tiempo que alcanza su máximo el Ca.

Pero los dos cambios más importantes ocurrieron en el estrato I.2 hace de 10 a 9,000 años A.P. donde desaparecen los registros de todas las diatomeas y llegan a su pico máximo los ostracodos y los estomatoquistes, y en el I.3 y I.4 donde de llegan a su máximo los quistes y *Navicula cuspidata*. Esto podría explicar un descenso drástico del nivel del agua ,

caracterizado por la especie de *Navicula cuspidata* y por los quistes que son estructuras de resistencia, esto ocurrió hace de 9 a 5000 años A.P.

Los estomatoquistes son estructuras de resistencia que son producidos por Crisoficeas en condiciones desfavorables para ellas como pueden ser un ciclo de baja alcalinidad o disminución del nivel del agua.

Por lo que se ha podido observar, éste antiguo lago era de ligero a salobre y alcalino, ya que la mayoría de las diatomeas toleran importantes rangos de salinidad, son alcalinobiónticas o alcalífilas, al presentarse una fase de crecimiento de estomatoquistes podemos inferir que las Crisoficeas ( de preferencia salobre) desarrollaron sus estructuras de resistencia al encontrarse con una fase de baja alcalinidad o agua más dulce (Lozano-García, 1993.), aunque también se ha observado una alta producción de estomatoquistes cuando desciende el nivel del agua ya que se alteran las condiciones fisicoquímicas tales como la alcalinidad, conductividad, temperatura y la productividad ( por el eje-luz), ésta última se incrementa a causa de que los nutrientes se encuentran más disponibles a lo largo de la columna de agua ( Hutchinson, 1975).

Basándonos en lo anterior pero tomando ahora la referencia de la presencia de *Navicula cuspidata* de preferencias dulceacuícolas con el aumento de los quistes, podría pensarse en la posibilidad de un incremento de agua dulce sin disminución de la alcalinidad ya que *Navicula* es alcalífila, sin embargo ésta especie tolera un amplio rango de salinidad y sus preferencias mesosaprobias podrían indicar más bien una disminución en el nivel del agua y un aumento en la oxidación de materia orgánica. Esta última inferencia se corrobora al observarse una disminución en el nivel de Mn y de Ca, con un pequeño aumento de Na y Ka y según Lozano, G.1993, el Na puede aumentar cuando disminuye el nivel del agua y hay tendencia a la aridez.

Correlacionando las observaciones anteriores con los trabajos previos de Ortega-Ramirez (1990) en éste mismo lago podemos inferir más claramente una disminución en el nivel del agua en el Holoceno inferior ( 10-6000 años A.P.), su estudio sedimentológico, mineralógico, abundancia de saprolitos, microflora, carbon y tejido vegetal indican para este periodo condiciones pantanosas, disminución de la precipitación y aumento de la evapotranspiración potencial alcanzando el máximo de aridez hacia los 6000 años A.P.



## CONCLUSIONES

Con los datos obtenidos se puede observar que el lago de Babícora en Chihuahua, pasó a lo largo de su vida por varios cambios representados por las variaciones en las asociaciones de diatomeas y los elementos químicos presentes en los sedimentos.

Los sedimentos del lago presentaron varias especies de diatomeas, la mayoría alcalinobiónticas y algunas alcalinófilas, también la mayoría eutróficas, mesohalobias y mesosaprobias, presentó tanto euplanctónicas, como perifíticas y tanto reófilas como limnófilas. Con todos esos datos se puede concluir que el lago de Babícora fue durante la mayor parte de su vida profundo, ligeramente salobre, con buena calidad de nutrientes, alcalino y con influentes, como lo indica también la presencia de Ca, Mg, Mn, y Fe que se encuentran con mayor abundancia en éste tipo de aguas.

Sin, embargo éste lago empezó a sufrir cambios paulatinos, como son, fases de disminución del nivel de agua indicados por la presencia de diatomeas perifíticas como son *Camphylodiscus noricus*, *Anomoeoneis serians* y *Cymbella mexicana*, con la respectiva disminución de diatomeas planctónicas como fue la más abundante de éste lago durante gran parte de su vida, la *Stephanodiscus niagarae*, pero el cambio más significativo ocurrió hace aprox. De 9 a 10,000 años, en el que disminuyeron hasta desaparecer casi todas las diatomeas aumentando drásticamente los ostrácodos y quistes de Crisófitas que son estructuras de resistencia, y disminuyendo el Ca, Mn, y Mg con el respectivo aumento de Na y K que indica desecación, por lo que se asume que el lago se convirtió en un pantano seco. Las causas pueden ser variadas, como puede ser un periodo de actividad ígnea importante, un cambio climático, o bien puede suponerse un fenómeno normal en la Naturaleza llamado sucesión en el cual tanto el ambiente como las especies de animales y vegetales son sustituidos por otros, en el caso de un lago en fondo se “rellena” poco a poco de sedimento, sobre todo tratándose de cuencas abiertas en las que por alguna causa los influentes pueden depositar mayor cantidad de material por mayor erosión circundante, la columna de agua disminuye y se incrementa la evaporación, a lo largo de mucho tiempo puede quedar una gran cantidad de sedimento y poco agua, incluso hasta desaparecer.



## REFERENCIAS

- Ager, D. 1993. The new catastrophism: the importance of events in Geological Cambridge: 231 p.p.
- Aldridge, F., Schelske, C. and Hunter, J. 1993. Nutrient limitation in a hypereutrophic Florida Lake. Arch. Hydrobiol. 127(1): 21-37.
- Battarbee, R. Flower, R. and Stevenson, A. 1985. Lake acidification in Galloway: paleoecological test of competing hypotheses. Nature 314 28:350-353.
- Bradbury, J.P. 1971. Paleolimnology of lake Texcoco, México. Evidence from diatoms. Limnology and Oceanography. 16 (2).
- Bradbury, J.P. 1975. Diatom stratigraphy and human settlement in Minnesota. Spec. Pap. Geol. Soc. Am. U.S.A. 171: 1-74.
- Bradbury, J.P. 1977. Holocene and late Pleistocene Diatom stratigraphy in lake Chalco, México. Resúmenes del Tercer Encuentro de Botánica y Paleolimnología. INAH-SEP. México. p 22.
- Bradbury, J.P. 1988. Fossil Diatoms and Neogene Paleolimnology. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 62: 299-316.
- Brugam, R.B. 1980. Diatom Stratigraphy of Kirchner Marsh, Minnesota. Quat. Res. 13: 133-146.
- Cholnoky, B.J. 1968. Die Ökologie der Diatomeen in Binnengewässern. Cramer, Lehere. 699pp.
- Dennis, S. Anderson, Davis and Berge. 1986. Relationships between diatom assemblages in lake surface-sediments and limnological characteristics in southern Norway. In: Diatoms and lake acidity. Battarbee, S. Junk. Publishers.
- Fernandez, M.R. 1999. Estudio de las Asociaciones de Diatomeas Fósiles de El Arenal, Jalisco. México. Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de licenciatura. 70 pp.-
- Flower, R.J. and R.W. Battarbee, 1984. Diatom Evidence for Recent Acidification for Two Scottish lochs. Nature 305 (5930): 130-133.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen ( para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Biol.. Inst. De Geogr. UNAM. 246 p.

- Gasse, F. y F. Tekaia, 1982. Tentative Definition , Comparision and Interpretation of Fósil Diatom Assemblages from Eastern Africa. *Acta Geol. Acad. Sci. Hung.* 25 (1-2): 135-147.
- Hakanson, L. and Jansson, M. 1983. *Principles of Lake Sedimentology* . Springer-Verlag. New York.
- Haworth, E.Y. 1977. The Sediementas of Lake George (Uganda).V. The Diatom Assemblages in Relation to the Ecological History. *Arch. Hidrobiol.* 80(2): 200-215.
- Hutchinson, E. 1977. *A treatise of Limnology*. Vol.1 part. 2. Wiley-Interscience Publication.
- Kjemperud, A. 1981. Diatom changes in the Sediments of Basins Prossesing Marine/Lacustrine Transitions in Frosta Nord- Trondelag, Norway. *Boreas.* 10: 27-38.
- Lohman, K.E. 1960. The Ubiquitous Diatom: A Brief Survey of the Present Knowledge. *Amer. Jour. Sci.* 258: 180-191.
- Lozano-García, M.S. 1993. Lake Pleistocene and Holocene Paleoenvironments of Chalco Lake, Central México. *Quaternary Research* 40: 332-342.
- Margalef, R. 1957. Sedimento, Bentos Profundo y Paleolimnología. *Limnología* 20: 919-961.
- Metcalfe,S. and O'hara, S. 1992. Sensibilidad de Lagos Mexicanos a Alteraciones del Medio Ambiente: ejemplos del eje Neovolcánico. *Dep.. of Geografia . Ing. Hidráulica México.*
- Metcalfe,S. 1988. Modern Diatom Assemblages in Central México: the role of water chemistry and other environments factors as indicated by TWISPANA and DECORANA. *Freshwaters Biology* 19: 217-233.
- Ortega- Ramírez, 1995 a. Los paleoambientes holocénicos de la Laguna de Babícora, Chihuahua, México. *Geofis.. Intern.* 34 (1): 107-116.
- Ortega- Ramírez, 1995 b. Correlación estratigráfica de los depósitos cuaternarios de la Laguna de Babícora, Chihuahua, México. *Geofis..* 34 (1): 117-129.
- Patrick,R. y C.W. Reimer. 1966. *The Diatoms of the United States, Exclusive of Alaska and Hawaii*. Vol. 1 (Monogr.,13) Acad. Nat. Sci. Phila., 688 pp.
- Persson, 1937. Manganese requeriments and carbon source in Chorella. *Nature* 176: 209-210.



- Rico, R., L. Martínez, M.R. Fernández y G. Vilaclara., 1995. Los Lagos Muertos de México. p: 195-209. in: G. De la Lanza y J.L. García ( comp.) Lagos y Presas de México. Centro de Ecología y Desarrollo de México. 320.pp.
- Rico, R., P.L. Sánchez, L. Ma. De la L. Hernández, N.S. Vega y R. Fernández, 1998. Diatomeas Fósiles de Babícora Chihuahua , México. Perfil Don Beto. VI Congreso Nacional de Paleontología. Puerto Vallarta, Jalisco. México. Sociedad Mexicana de Paleontología. Unión Mexicana para Estudios del Cuaternario y U.N.A.M. México.
- Round, F.E. , R.M. Crawford y D.G. Mann, 1990. The Diatoms: Biology and Morphology or the Genera. Cambridge University Press. London. 747 pp.
- Schrader, H.J. 1973. Proposal for a Standarized Method of Cleanning Diatom-Bearing Deep-Sea and Land-Exposed Marine Sediments. Nova Hedwigia. 403-409.
- Swain, F. Non Marine Organic Geoquemistry. Cambridge Univ. Press.

## APENDICE 1

### PARÁMETROS ECOLÓGICOS UTILIZADOS EN LOS ESTUDIOS CON DIATOMEAS FÓSILES Y RECIENTES.

Las diatomeas son afectadas por muchos parámetros en el medio ambiente, es probable que toda una combinación de factores limiten su distribución, varios investigadores han designado “rangos espectrales” para designar parámetros fisicoquímicos particulares, y son los siguientes: por Rico (1998).

#### 1.- Espectro de pH

- acidobióticas: especies que se presentan en pH por debajo de 7 y mejor aún debajo de 5.5
- acidófilas: se presentan en un pH alrededor de 7 y mejor poco debajo de 7.
- indiferentes: se desarrollan mejor alrededor de 7.
- alcalinófilas: se presentan en un pH alrededor de 7 pero su óptimo es por encima de 7.
- alcalinobióntes: se presentan sólo en aguas alcalinas.

#### 2.- Espectro de nutrientes

- eutróficas: se presentan en aguas con concentraciones grandes de nutrientes.
- mesotróficas: se presentan en aguas con concentraciones moderadas de nutrientes.
- oligotróficas: se presentan en aguas con bajas concentraciones de nutrientes.
- distróficas: se presentan en aguas ricas en materiales húmicos.

#### 3.- Espectro halobio

- polihalobia: formas marinas, se presentan en concentraciones de sales de entre 30 000 a 40 000 mg/l.
- mesohalobia: formas de agua salobre, concentraciones salinas de 500 a 30000 mg/l. de 10 000 a 30 000 es rango alfa, y de 500 a 10 000 es rango beta.
- oligohalobia: formas de agua dulce que se presentan en concentraciones salinas de menos de 500 mg/l.
- eurihalobia: se presentan en un amplio rango de concentraciones salinas ocupando dos o más espectros.

#### 4.- Espectro saprobio

- polisaprobias: se presentan en una zona de degradación y putrefacción, el oxígeno está casi ausente.
- mesosaprobias: se presentan en zonas en donde la oxidación de materia orgánica se está llevando a cabo, fuerte contaminación por nitrógeno en forma de aminoácidos ( rango alfa), concentración débil de nitrógeno en forma de amoníaco ( rango beta).
- oligosaprobias: se presentan donde la oxidación de compuestos biodegradables es completa y alta concentración de nutrientes orgánicos.
- saprófilas: se presentan en aguas contaminadas pero también en aguas limpias.
- saproxenas: se presentan en aguas limpias pero también en contaminadas.
- saprofóbicas: se presentan en aguas que no han estado expuestas a contaminantes.

#### 5.- Espectro de Corrientes

Limnobiónticas: características de aguas quietas.

- Limnófilas: viven en aguas quietas pero se pueden encontrar ocasionalmente en aguas con movimiento.
- Indiferentes: se presentan en ambas.
- reobiónticas: viven solo en aguas con movimiento.

#### 6.- Habitat general: Marino, Estuarinas, Lagos, Pozas, Ríos, Manantiales.

#### 7.- Habitat Especifico: microhabitat.

- euplanctónicas: normalmente suspendidas en el agua, su distribución depende de las corrientes.
- ticoplanctónicas: asociadas con habitats terrestres o perifíticos, pero frecuentemente suspendidas en el agua.
- perifíticas: se presentan sobre el sustrato o sobre objetos sumergidos pero nunca penetrándolos. Aquí tenemos. Epipélicas( sobre lodo), epilíticas (sobre piedras), epidébricas (madera), epifíticas (plantas), epizoicas ( animales), fijadas ( sésiles) y sin fijar ( libres).

8.- Espectro de temperatura:

- eutérmicas: viven en aguas cálidas por encima de 30 grados C.
- mesotérmicas: formas de agua templada, entre 15 y 30 grados C.
- oligotérmicas: formas de aguas frías, entre 0 y 15 grados C.