

03096



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México



UNAM

MODELO DE UNA BASE DE DATOS BIOLÓGICA APLICADO AL
ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN AMBIENTAL DE LAS DIATOMEAS DE
UN REGISTRO PALEOLIMNOLÓGICO DEL LAGO DE TEXCOCO

T E S I S

que para obtener el grado académico de

Maestro en Ciencias

(Limnología)

Presenta

MARIPILI RAMIREZ NAVA

Director de Tesis: Dra. Margarita Caballero Miranda

Comité Tutorial: Dr. Eberto Novelo Maldonado
Dra. Silvia Castillo Argüero
Dra. Gloria Vilaclara Fatjó
Dr. Javier Carmona Jiménez

México, D.F. 2005



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.

Agradecimientos

Mi infinito agradecimiento a la Dra. Margarita Caballero del Instituto de Geofísica, UNAM porque a lo largo de estos seis años ha sido una persona muy importante que me ha guiado en muchos aspectos de mi vida.

A la Dra. Gloria Vilaclara del Instituto de Geofísica, UNAM porque siempre ha estado ahí para darme el mejor de los consejos.

A la Dra. Silvia Argüero del Laboratorio de Ecología, al Dr. Eberto Novelo y al Dr. Javier Carmona del Laboratorio de Fisiología de la Facultad de Ciencias, UNAM por ayudarme en la estructura de esta tesis.

Al Biol. Marco Antonio Romero del Laboratorio de Ecología, Facultad de Ciencias, UNAM por su ayuda en el diseño de la base de datos.

Al Biol. Diego Olivera por su apoyo y comentarios para la realización de esta tesis.

Al Dr. Arturo Carranza y la Dra. Leticia Hoz, porque su ejemplo de amor y compañerismo marcó mi vida.

A los M. en C. Ángel R., Alejandro R. y Francisco V. por siempre recibirme con una sonrisa.

A la Sra. Aida y a Martín por su amable compañía.

Dedicatorias

A Diego

Te llevé conmigo a todas partes,
como se tararea la letra de una canción
que se ha fijado en la mente.

Y cuando te ausentas,
mis brazos son de tuna
que te cuidan a la distancia.

En lo peor de mí
me descubres presa inagotable,
en donde una y otra vez
el vacío sobreviene embistiendo
como para hacerme caer de nuevo,
pero tú sabes estar a mi lado
con la bondad de tu mirada,
que me arranca del silencio
para regalarme las alas
de este nuevo e inmenso amor.

Por las noches
nos refugiamos de la lluvia
y entre sueños caminamos de la mano.

Entonces todo pasa,
el tiempo pasa,
y también las imperdonables circunstancias,
que no pudimos esquivar.

Ahora sólo te veo sonreír
y tu sonrisa de niño
ahuyenta cualquier tristeza,
y ya no hay más derrotas,
porque como siempre dices,
lo importante es que estamos juntos.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la
UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el
contenido de mi trabajo resposcional.

NOMBRE: Maripati Ramirez Nave

FECHA: 4/11/05

FIRMA: [Firma manuscrita]

A Mis padres porque con su amor me lo han dado todo. Les pido perdón por todos los errores que he cometido y las veces que he sido injusta con ustedes, aún cuando sabía que tenían la razón y que querían lo mejor para mí. Gracias amarme como me aman y porque pese a todo siguen creyendo en mí.

A Julia, porque eres mi luz.

A Laura, Armando, Karla, Gerardo, Fernanda, Daniela, Aranza, Daniel y Diego porque juntos hemos reído tantas veces. Guardo mil fotografías tuyas en mi mente como los más hermosos recuerdos que tengo.

A la Sra. Leticia, Don Luis y Luis Ángel porque me cobijaron con su ternura.

A Gabriela (Gabiñoña), Natalia y Daniel (Cerdófilo), porque aún cuando he estado ausente en muchas ocasiones, saben cuanto los quiero y siempre me brindan su cariño incondicionalmente.

A Celia (Peque), Marco y Emiliano quiéranse siempre.

A Inés porque a lo largo de este tiempo una a la otra nos hemos visto crecer.

A Carlos y Marilú que todos sus sueños juntos se cumplan.

A José Luis porque siempre estarás en nuestro corazón.

A Rodrigo, Aldo, Lalo y Edgar gracias por ser mis amigos.

A Anahí (Anchi), Carlitos (Carlitos), Patricia (Patito), Karina, Rodrigo (Árbol), Armando (Hippie), Araceli (Tico), Jorge (Chino), Noemí (Mimí), Alejandro (Nino), José Ángel (Nirrinín), Alejandra (Aleja), César (Sascuash), Esteban (Marcianito), César (Velde), Esteban (Tripa) y familia, Elidia, Ivan (Mandril), Israel (Don Isra), Itzel (Tizelito), Cristal (Cristalito) y Rafael (Rafa) por aceptarme como soy.

A Osvaldo, Dulce María, Paty, Yuriana e Iván por tantos buenos momentos.

A Rosalina y Elisa gracias por haberme brindado su amistad.

CONTENIDO

Pág.

RESUMEN

I. INTRODUCCIÓN

I.1. Generalidades, diseño y creación de una base de datos relacional.....	1
I.2 Las bases de datos aplicadas al estudio de las diatomeas.....	4
I.3 Principales aspectos de la distribución ambiental de las diatomeas.....	4
I.4 Las diatomeas como indicadoras limnológicas y paleolimnológicas.....	6

II. ANTECEDENTES

II.1 Las bases de datos de diatomeas continentales.....	9
II.2 El Lago de Texcoco, Cuenca de México	
II.2.1 Descripción del sitio de estudio.....	12
II.2.2 Estudios paleolimnológicos en el Lago de Texcoco.....	14
II.2.3 La secuencia estratigráfica TXB.....	15

III. JUSTIFICACIÓN.....	18
-------------------------	----

IV. OBJETIVOS.....	20
--------------------	----

V. MÉTODOS

V.1 Diseño y creación del modelo de la base de datos biológica para diatomeas.....	21
V.2 Distribución ambiental de las especies presentes en el registro TXB.....	29

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VI.1 Modelo de la base de datos.....	31
VI.2 Diseño y creación de la base de datos.....	37
VI.3 Síntesis de información de la distribución ambiental (pH y conductividad) de las diatomeas presentes en el perfil TXB.....	39
VI.4 Reinterpretación paleolimnológica del registro TXB.....	48

VII. CONCLUSIONES.....	51
VIII. CONSIDERACIONES FINALES.....	53
IX. LITERATURA CITADA.....	54
Apéndice I.....	62
Apéndice II.....	65
Apéndice III.....	75

FIGURAS

Pág.

Figura 1. Características generales de las diatomeas.....	6
Figura 2. Ubicación geográfica del Lago de Texcoco, Cuenca de México.....	13
Figura 3. Diagrama de abundancia de diatomeas en la secuencia estratigráfica Texcoco B (TXB).....	17
Figura 4. Esquema del modelo conceptual de la base de datos.....	32
Figura 5. Esquema del modelo lógico y físico de la base de datos.....	36
Figura 6. Gráfica de correlación entre pH y el logaritmo de la conductividad para los 44 sitios...40	
Figura 7. Dendrograma del análisis de clasificación (tipo Joining tree clustering) de los sitios y sus parámetros ambientales (pH y conductividad).....	41
Figura 8. Dendrograma del análisis de clasificación (tipo Joining tree clustering) de los sitios y las especies (presencia / ausencia).....	42
Figura 9. Diagrama del análisis de clasificación divisivo (TWINSPAN) basado en la matriz MSE.....	44
Figura 10. Análisis de componentes de factores (F1 versus F2).....	47

TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Descriptores conservativos y no conservativos.....	23
Tabla 2. Categorías ecológicas para diatomeas de espectro de pH, halobiedad, saprobiedad, tropismo, hábitat.....	27
Tabla 3. Categorías de sistema acuático, pH y conductividad.....	28
Tabla AII.1. Tablas de instancia de las tablas que conforman la BD.....	65
Tabla AIII.1. Número asignado y nombre de las especies de diatomeas presentes en el núcleo TXB.....	75
Tabla AIII.2. Número asignado, nombre y ubicación geográfica de los 44 sitios que se emplearon en los análisis estadísticos.....	76
Tabla AIII.3. Número asignado, autor(es), nombre y año de los reportes a partir de los cuales se obtuvieron los datos ambientales de los 44 sitios.....	77
Tabla AIII.4. Matriz MSA de parámetros ambientales de pH y conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de los 44 sitios empleados en los análisis estadísticos.....	77
Tabla AIII.5. Sistema acuático (SA), código de la conductividad (C) y de pH que se emplearon para la clasificación de los sitios en la base de datos.....	78
Tabla AIII.6. Matriz MSE de sitios con presencia / ausencia de especies similares a las del núcleo TXB.....	79

RESUMEN

Los objetivos de este trabajo consistieron en diseñar y crear el modelo de una base de datos biológica para sintetizar información ambiental obtenida bibliográficamente, con la cual se pudiera analizar la distribución ambiental de las de diatomeas de la secuencia estratigráfica Texcoco B (TXB) mediante los programas Statistica y TWINSpan y que permitiera corroborar una interpretación de los eventos paleolimnológicos en el Lago de Texcoco, Cuenca de México, aún con las limitaciones que implica el hecho de contar únicamente con datos de presencia-ausencia para pH y conductividad eléctrica.

Los análisis indicaron que las especies dominantes *Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith y *Cyclotella meneghiniana* Kützing, las cuales se encuentran distribuidas de manera alternada a lo largo del registro sedimentario, viven en ambientes muy similares con un amplio intervalo de valores de pH y/o conductividad eléctrica (bajos a moderados), pero sin tolerar valores extremos. Posiblemente la única diferencia entre ambas especies se encuentre en la tolerancia a ambientes eutróficos *N. palea* (y quizá también de las especies asociadas), a diferencia de *C. meneghiniana*, que determinó su distribución en el registro TXB. Aunque no se descarta la posibilidad de que adicionalmente otro factor pueda influir en la distribución de las especies dominantes del registro, tal como otra variable no analizada, esto es difícil de evaluar ya que no se cuenta con suficiente información sobre otros parámetros ambientales.

Acorde con los análisis realizados, en este trabajo se corroboró que el Lago de Texcoco los ca. 34 a los 1.2 ka AP de presentó en la mayor parte de su existencia una baja diversidad de especies y condiciones de un lago salobre y alcalino con escasa variación ambiental en relación a las variables de pH y conductividad eléctrica (zonas III-a, III-b y III-c). Sin embargo se pueden diferenciar tres fases con características muy particulares, la primera que corresponde a la zona IV, en la cual las condiciones del lago son las más salobres del registro y se caracteriza por la presencia de dos especies dominantes *Navicula elkab* O. Müller. La segunda es la zona II en la que se presenta la fase de mayor diversidad de especies y posiblemente la más eutrófica del registro. La tercera es la fase que corresponde con la zona I-a, en la cual se presentan condiciones limnológicas más parecidas a las que prevalecieron en épocas recientes.

I. INTRODUCCIÓN

I.1 Generalidades, diseño y creación de una base de datos relacional

En el ámbito de la investigación, particularmente en la Biología, existe la tendencia, cada vez más generalizada, de apoyar la información científica con la utilización de sistemas computacionales (Novelo y Tavera; Koleff, 1997; Castillo, 2000). En este sentido, la mejor manera de lograr una mayor comprensión y utilización más expedita de las fuentes de información científica es teniendo una organización eficiente, y una de las formas que actualmente se encuentran disponibles para lograr esta eficiencia es el desarrollo de bases de datos, cuya gran utilidad se ha comprobado en el manejo y síntesis de información.

Las bases de datos (BD) han sido consideradas por Deen (1985) como "...la más moderna técnica de almacenamiento de datos...". Una BD puede ser definida como una colección generalizada de datos integrados para reducir repeticiones y que refleja las interrelaciones en el mundo real, mediante un sistema computarizado que es capaz de realizar funciones de almacenar, recuperar y actualizar la información, de manera tal que pueda satisfacer las distintas necesidades de los usuarios (Flores, 1981; Deen, 1985; Date, 1987).

Cuando es necesario emplear una gran cantidad de información de manera frecuente, su extracción puede ser lenta y poco práctica; para ello se requiere de un sistema de almacenamiento y consulta de los datos que permita realizar eficientemente esta tarea. Para que una BD pueda llevar a cabo su función, debe cumplir con las siguientes cualidades: independencia, consistencia, redundancia controlada, integridad, seguridad, eficiencia y control de la administración (Date, 1987; Flores, 1981). Del mismo modo, la información en una BD debe manipularse a través de tres formas principales (Flores, 1981):

- Recuperación o consulta. Extracción de información de los registros (sin modificar ni la estructura ni los datos).
- Actualización. Modificación de los registros cuando han cambiado y la incorporación de nuevos atributos.
- Mantenimiento o generación. Modificación o eliminación de la información no utilizada y la incorporación de nuevos registros. Adicionalmente, tener la propiedad de consultarse en línea.

Las DB están integradas por cuatro componentes principales: a) datos, que constituyen la información almacenada; b) hardware, que se compone de volúmenes secundarios de almacenamiento; c) Sistema Manejador de Bases de Datos (Data Base Manager System), en el que se almacenan los datos de forma real y es el sistema que administra todo acceso a la información, y d) usuarios, que incluye a los usuarios terminales y al administrador de la base de datos (Date, 1986 y 1987).

En el modelo relacional, una entidad se define como la abstracción de un objeto del mundo real que es representable y sus propiedades descriptivas se definen mediante atributos; la entidad está representada por columnas o atributos y renglones o tuplas (Date, 1986; Hawryskiewicz, 1994). La arquitectura general de las BD relacionales se caracteriza por presentar toda la información (entidades) en forma de tablas y que conforman sus atributos (Date, 1986; Flores, 1986). Esta información contenida debe tener datos únicos, no redundantes y válidos, los cuales están relacionados entre sí.

La arquitectura de un sistema de BD es la estructura e interconexión de todos sus componentes y se divide en tres niveles generales: 1) interno, o como se almacenan los datos; 2) externo, o la forma en la que cada usuario ve los datos, y 3) conceptual, que funciona como un intermediario entre los dos niveles anteriores. Los niveles de arquitectura, por tanto, están relacionados con las vistas externa, conceptual e interna (Flores, 1981; Date, 1986).

La vista externa se refiere a los distintos propósitos de los usuarios o las vistas de los usuarios individuales al consultar la base de datos; la vista conceptual se considera como un nivel intermediario entre el interno y el externo, es una representación abstracta de toda la base de datos y define sólo una vista de la comunidad de los usuarios; la vista interna o los criterios de diseño representa la totalidad de los datos tal y como fueron almacenados y, por tanto, sólo podrá ser una sola (Bautista, 1992; Date, 1986; Arbiteboul et al., 1995).

En el diseño de una base de datos se deben identificar las necesidades de los usuarios potenciales para definir las tablas y las vistas, delimitar el tipo de información que puede ser consultada y plantear una aplicación particular de acuerdo a los objetivos del proyecto. La metodología descrita por Date (1986) para el modelo relacional incluye la planeación del modelo conceptual, que como su nombre lo indica, permite conceptualizar la información en forma de tablas y las relaciones que existen entre cada una de ellas; estas mismas relaciones se reflejarán en el modelo lógico y posteriormente se utilizan en la creación física de la BD.

En el modelo lógico se diseñan las tablas (en las cuales se almacenan los datos en forma de filas y columnas) de acuerdo con los atributos elegidos, se seleccionan las claves primarias o PK y foráneas o externas o FK (por sus siglas en inglés Primary Key y Foreign Key, respectivamente) para identificar cada registro de manera única, establecer las relaciones entre las tablas y elegir un Sistema Manejador de Bases de Datos para la creación física de la BD, en el cual serán insertados y administrados todos los registros.

Las bases de datos relacionales pueden tener diferentes características dependiendo del área (administrativa, industrial, comercial, social, etc.) en la que sean utilizadas. Sin embargo, nuestro principal interés se enfoca en la creación de una BD relacional en la cual se puedan manejar diferentes datos de diatomeas continentales, es decir, de tipo biológica.

I.2 Las bases de datos aplicadas al estudio de las diatomeas

El creciente interés que los equipos de investigación han mostrado por las diatomeas actuales y fósiles, debido a su gran utilidad como indicadores biológicas, ha hecho que cada vez más se adopten diferentes aplicaciones de la computación en el trabajo de rutina. Por ejemplo, se han desarrollado colecciones y catálogos en formato electrónico, así como programas de cómputo para calcular índices de diatomeas y diversidad (e.g. Lecointe *et al.*, 1993), análisis de imágenes (e.g. Saarinen y Petterson, 2001), un sistema de imágenes para microscopía óptica con alta resolución digital (Wunsam y Bowman, 2001), etc.

Los avances tecnológicos en los sistemas computarizados con los que hoy se cuenta aportan los cimientos para que las bases de datos (BD) continúen siendo cada vez más útiles en el manejo de la información de especies de diatomeas y del ambiente en el que viven. El desarrollo de diferentes aplicaciones nos permite tener futuras expectativas para la creación de nuevas bases de datos cada vez más modernas que podrían representar oportunidades adicionales para el análisis de estructuras morfológicas, colecciones y listados florísticos, identificación taxonómica, etc.

En el presente trabajo, la creación de una BD se aplicará al análisis de un grupo de diatomeas continentales de una columna estratigráfica obtenida en el lago de Texcoco.

I.3 Principales aspectos de la distribución ambiental de las diatomeas

Las diatomeas pertenecen a la División Bacillariophyta, según la clasificación taxonómica de Round *et al.* (1990). Son algas unicelulares con forma de vida generalmente libre, aunque algunas especies suelen vivir en forma de colonias (Figura 1). Se caracterizan por presentar una pared celular rígida de óxido de silicio hidratado (SiO_2), su frústulo está constituido por dos valvas (epivalva e hipovalva), las cuales están unidas por una serie de bandas laterales que en su conjunto se llama cíngulo

(Lee, 1980; Pentecost, 1984; Round *et. al.*, 1990). Los frústulos de las diatomeas presentan ornamentación característica, dependiendo de cada especie (Lee, 1980).

Como grupo, las diatomeas pueden vivir en un amplio intervalo de condiciones ambientales (Dixit *et al.*, 1992): agua dulce, salobre, salina e hipersalina. Cabe señalar que el desarrollo individual de las especies se encuentra restringido a condiciones ecológicas específicas (Gassé *et al.*, 1983), por lo que la composición y distribución de las comunidades de diatomeas en los lagos dependen de la influencia de múltiples factores ambientales, dentro de los cuales destacan los factores físicoquímicos (Lowe, 1974; Stevenson y Pan, 1999; Battarbee *et al.*, 2001). Dentro de éstos se encuentran: la profundidad del cuerpo de agua, la penetración de la luz y el grosor de la zona fótica, la temperatura, el pH, la concentración de nutrimentos y la conductividad eléctrica del agua (Ehrlich, 1995; Battarbee *et al.*, 2001), entre otros.

La forma de vida de las diatomeas está relacionada con la preferencia que muestran por microhábitats específicos (Lowe, 1974), la cual puede ser muy variada, dependiendo de la profundidad de la columna de agua, de su proximidad a la zona litoral, de la penetración de luz, de la disponibilidad de diversos sustratos, etc. (Ehrlich, 1995). Algunas especies viven en la columna de agua como parte del plancton, mientras que otras están asociadas, más o menos estrechamente, a algún tipo de sustrato, como por ejemplo: sedimento, rocas, plantas, etc. Esto ha permitido reconocer distintas comunidades de diatomeas presentes en los lagos (Round *et. al.*, 1990; Cox, 1996), que se han descrito con diversos términos; entre los más referidos se encuentran los siguientes términos: planctónicas, ticoplanctónicas, perifíticas, bentónicas y aerófilas.

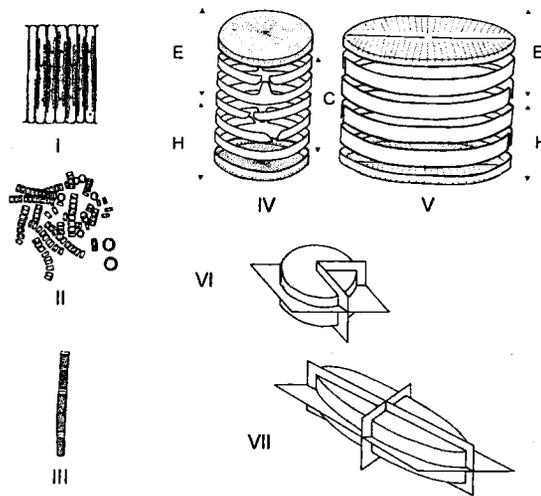


Figura 1. Características generales de las diatomeas. Tres diferentes tipos de colonias de los géneros I) *Fragilaria*, II) *Cyclotella* y III) *Alaucoseira*. Estructura valvar de una diatomea IV) central y V) pennada, constituida por una epivalva (E), hipovalva (H) y cingulo (C). Planos generales de la simetría valvar de las VI) centrales y VII) pennales (Modificado de Hustedt, 1930; Cox, 1996).

I.4 Las diatomeas como indicadores limnológicos y paleolimnológicos

Dado que existe una relación directa entre la composición de especies de un sitio y sus parámetros limnológicos (Gassé *et al.*, 1983; Cumming *et al.*, 1995), las diatomeas han sido ampliamente usadas en estudios relacionados con la evaluación de la calidad del agua en lagos y ríos (Sládecek, 1986; Lepistö, 1990; Dixit *et al.*, 1999; Stevenson y Pan, 1999; Vilaclara-Fatjó *et al.*, 2002), así como en trabajos de reconstrucción de condiciones limnológicas pasadas o paleolimnológicas (Dixit *et al.*, 1992; Gassé, *et al.* 1997; Bradbury, 1999; Battarbee, 2000; Bigler y Hall, 2002). Para este tipo de estudios son especialmente valiosas aquellas especies que presentan intervalos ecológicos estrechos (Gassé *et al.*, 1983), ya que son las más sensibles a los cambios en las condiciones ambientales, particularmente en lo relacionado con la profundidad y la composición química (salinidad y composición iónica) del agua (Gassé

et al., 1997; Fritz *et al.*, 1999). Estas variables (profundidad y composición química del agua) dependen principalmente de: 1) la dilución o concentración de las sales del lago en respuesta a los cambios en el balance precipitación/evaporación y 2) las sales provenientes de la atmósfera y/o de las costras salinas depositadas en la cuenca durante fases áridas previas (Gell y Gassé. 1994).

Los estudios de diatomeas actuales son muy diversos e incluyen listados florísticos (e.g. Gassé, 1986; Vyverman, 1991; Cocquyt, 1998; Lange y Tiffany, 2002), análisis de composición y abundancia a lo largo de gradientes ecológicos (e.g. Fritz *et al.*, 1991; Carney *et al.*, 1994; Davies *et al.*, 2002) y de especies indicadoras de la calidad del agua (e.g. Sládecek, 1973 y 1986; Lepistö, 1990; Dixit *et al.*, 1999; Vilaclara-Fatjó *et al.*, 2002). Gran parte de estos estudios se han concentrado en unas cuantas regiones geográficas (Europa, Estados Unidos y Canadá, partes de África y Australia), por lo que, en su mayoría, estos datos corresponden a condiciones geológicas, limnológicas y climáticas diferentes a las que existen en México (García, 1996).

Los estudios que involucran el uso de diatomeas como indicadores biológicos en la Paleolimnología, definida ésta como una ciencia multidisciplinaria que utiliza información física, química y biológica de los sedimentos para interpretar los cambios que ocurrieron en las condiciones ambientales pasadas en las cuencas lacustres (Frey, 1988; Dixit *et al.*, 1992; Last y Smol, 2001), también son extensos. En el caso de la paleolimnología, los perfiles de composición, distribución y abundancia de las especies de diatomeas a lo largo de una secuencia estratigráfica se interpretan en términos de cambios en las variables fisicoquímicas del un lago (Fritz *et al.*, 1999; Wolin y Duthie, 1999) y éstas, a su vez, pueden correlacionarse con cambios geológicos y variabilidad climática (Gassé, F. 1980; Bradbury, 1989 y 1997; Caballero y Ortega, 1998; Metcalfe, 2000) o con la actividad antropogénica en la cuenca hidrológica (Caballero *et al.*, 2002).

Los estudios paleolimnológicos con base en las diatomeas han permitido inferir cambios climático/ambientales a nivel local, regional o inclusive global y, junto con otros tipos de estudios paleolimnológicos, han permitido documentar las variaciones del clima

durante los últimos 30,000 años (último ciclo Glaciar/Interglaciar), así como proporcionar los cimientos para la elaboración de modelos de circulación atmosférica global, los cuales son una herramienta fundamental para generar panoramas de cambio climático en el futuro (Fritts, 1991; Bradbury, 1999).

En nuestro país, la Cuenca de México ha tenido gran importancia en lo que a estudios paleolimnológicos respecta. Una de las zonas de la cuenca que más interés ha despertado en los investigadores ha sido la parte central (Bradbury, 1971 y 1989; Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1998), en donde se localiza el Lago o subcuenca de Texcoco, que corresponde a la zona de estudio del presente trabajo.

II. ANTECEDENTES

II.1 Bases de datos de diatomeas continentales

Las bases de datos empleadas en el estudio de diatomeas se han desarrollado recientemente, en el último par de décadas, puesto que su creación ha dependido de los avances tecnológicos que los sistemas computacionales han tenido durante este lapso. Muchas de ellas comenzaron como colecciones que posteriormente fueron administradas mediante bases de datos, mientras que en otros casos las bases de datos se diseñaron específicamente para ser aplicadas en diferentes análisis. Debido a ello, todas son muy variadas en cuanto a su enfoque y tipo de aplicación.

La creación de programas de computo como OMNIDIA (http://perso.club-internet.fr/cici/tour_guidefr.htm), desarrollado por la Asociación de Diatomistas de la Lengua Francesa, permitió una sofisticación en la gestión de colecciones de diatomeas, gracias a que el programa tiene un formato parecido a ficheros, en los que pueden almacenarse los registros de familias, géneros, especies, sinónimos, autoridad, año de descripción y referencias. OMNIDIA se encuentra disponible en el idioma Francés y la utilización del programa requiere de su compra. Los registros de las especies se identifican mediante un código único de cuatro letras y se pueden almacenar datos relacionados con las características ecológicas (pH, temperatura, salinidad, estatus trófico, etc.) y micrografías. Contiene 26 tablas que indican los detalles y las particularidades de cada inventario, como número, fecha, cuenca, sitio, temperatura, particularidades entre otros (Lecoite *et al.*, 1993).

Una de las colecciones que actualmente se administra mediante una base de datos es Hanna (http://www.calacademy.org/research/diatoms/hanna_db/searchtaxloc.html), la cual se encuentra en la California Academic of Sciences (CAS) y fue iniciada en 1919 por el Dr. G Dallas Han. En la base de datos Hanna, la información se encuentra en idioma Inglés y su acceso es libre. Los datos que pueden consultarse en ella sobre los *taxa* incluyen nombre del género, especie, variedad, autoridad, identificador y colector,

número de preparación fija, ambiente continental o marino, cuerpo de agua, diatomeas fósiles o recientes, número de publicación, descripción de la localidad y época. La colección contiene registros de 55,000 especímenes identificados en preparaciones fijas, información detallada de 60,000 muestras de diferentes localidades y 8,400 referencias bibliográficas. Este material abarca un amplio espectro de estudio de las diatomeas que va desde agua dulce hasta marina y se extiende a una colección fósil e incluye especies de diferentes países (estado o provincia), incluyendo México. Sin embargo, la BD considera el tipo de ambiente de un modo muy general en las categorías de estuario, litoral, lago salino, etc., sin hacer referencia a los descriptores fisicoquímicos de una manera más detallada en la que se incluyan datos sobre pH, conductividad, alcalinidad, etc.

La base de datos EDDI (The European Diatom Database, <http://craticula.ncl.ac.uk/Eddi/jsp/index.jsp>), desarrollada por la Universidad de Newcastle del Reino Unido, se creó para utilizarse en estudios específicos -como problemas de acidificación del agua, eutroficación y cambio climático-. En esta base de datos puede consultarse información con libre acceso y en el idioma Inglés relacionada con datos taxonómicos, muestras, fecha de colecta parámetros ecológicos (pH, nutrimentos, alcalinidad, máxima profundidad del lago, visibilidad del disco de Secchi, total de carbón orgánico, etc.), fotografías de las especies, publicaciones, reconstrucciones paleolimnológicas y distribución geográfica de las especies.

Otra base de datos aplicada a estudios taxonómicos y ecológicos es la ADIAC (por sus siglas en inglés Automatic Diatom Identification and Classification, <http://rbg-web2.rbge.org.uk/ADIAC/db/adiacdb.htm>); es el resultado de la colaboración entre el Royal Botanic Garden Edinburgh (RBGE) y Steve Juggins del Departamento de Geografía de la Universidad de Newcastle (UNC). La ADIAC se encuentra en idioma inglés y su consulta se puede realizar sin costo. Uno de los aspectos que se explora en esta BD fue la identificación automática de diatomeas mediante el análisis de imagen (Du Buf y Bayer, 2002). Actualmente, la información puede ser consultada simultáneamente a través de ADIAC y EDDI. El sistema manejador de bases de datos

que ADIAC utiliza es PANDORA (el cual soporta el ambiente Windows y se emplea en la investigación para taxonomía y biodiversidad) y los nombres científicos usados en la base de datos se encuentran codificados; en algunos casos se incluye información adicional sobre cambios recientes en la taxonomía. La información que puede ser consultada en la ADIAC está relacionada con imágenes de microscopía óptica, información taxonómica (género, especie y autoridad) y ecológica (hábitat, clasificación de pH y halobiedad). La ADIAC contiene 3400 imágenes publicadas y 2500 no publicadas; en línea pueden consultarse aproximadamente 2300 imágenes de 500 *taxa*.

La Algae Image Database (<http://diatom.acnatsci.org/AlgaeImage/SearchCriteria.asp>), desarrollada en la sección de Ficología del Patrick Center for Environmental Research, fue diseñada para proveer de imágenes de diatomeas útiles en identificaciones taxonómicas. La Algae Image Database se encuentra en idioma Inglés y no tiene costo la consulta de las imágenes de especies de los diferentes ríos de los E.U. y medidas morfométricas (anchura, longitud y número de estrías en 10 μm) de las valvas de diatomeas, las cuales fueron tomadas como parte del trabajo rutinario en el análisis de muestras.

Las bases de datos descritas anteriormente se refieren únicamente a aquellas que han sido creadas específicamente para contener datos sobre diatomeas actuales y continentales, aunque muchas de ellas también contienen información de especies modernas marinas y, en algunos casos, también se incluyen diatomeas fósiles. Los aspectos en común que estas BD tienen en sus diseños son: 1) taxonómicos (generalmente hasta nivel de especie y/o variedad y sinónimos), 2) curatoriales (detalles de preparaciones fijas, número de la muestra, sitio, colector, etc.) y 3) imágenes empleadas en la identificación taxonómica de los *taxa* e inclusive referencias bibliográficas y publicaciones, debido que este tipo de información es esencial para la concepción de bases de datos biológicas. Pese a ello, en algunas ocasiones no se considera el aspecto ecológico, o la información contenida es muy escueta.

II.2 El Lago de Texcoco, Cuenca de México

II.2.1 Descripción del sitio de estudio

La Cuenca de México está localizada entre los 19° 00' y 20° 15' N y los 98° 15' y 99° 30' W, en la porción central de la Faja Volcánica Transmexicana (SRH, 1971); se encuentra rodeada por sistemas montañosos que llegan hasta los ca. 5,450 m s.n.m. (García y Cardoso, 1982).

En la región meridional de la cuenca se localiza la subcuenca de Texcoco (Figura 2), entre los 19° 22' y 19° 37' N y los 98° 54' y 99° 03' W. El Lago de Texcoco es el más extenso del sistema de lagos de la Cuenca de México, en él convergen los afluentes de las otras áreas de la cuenca: Chalco-Xochimilco al sur, Xaltocan-Zumpango al norte, llanos de Apan al noreste. Una de las principales características de Texcoco, asociada a su ubicación dentro del sistema hidrológico de la Cuenca de México, es que posee aguas salobres y alcalinas (SRH, 1971).

La influencia de la compleja orografía y de su altitud variable hace que en la Cuenca de México se presenten tipos climáticos diferentes (Köppen modificado por García, BS₁, Cw₀, Cw₁, Cw_{2b'}, Cw_{2c}, ETH y EFT). Particularmente en Texcoco, el clima es predominantemente semiárido, por lo que se clasifica como BS₁ (Alcocer y Williams, 1996; SRH, 1971).

II.2.2 Estudios paleolimnológicos en el Lago de Texcoco

El Lago de Texcoco fue uno de los primeros y ha sido uno de los principales sitios en el centro de México en donde se han realizado estudios paleolimnológicos (Bradbury, 1971 y 1989; Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1998; Sandoval, 2000). Debido a esto, el lago se ha considerado una de las piezas claves en la elaboración de modelos de cambio climático para el centro del país y es uno de los pocos sitios en México considerados en los modelos de cambio climático a escalas regionales, continentales y hemisféricos (Street-Perrot y Harrison, 1985; Markgraf, 1989; Bradbury, 1997; Metcalfe *et al.*, 2000).

Los estudios que Bradbury realizó en el Lago de Texcoco permitieron inferir cambios en los niveles lacustres de este lago durante el último ciclo glacial/interglaciar en los últimos ca. 30 ka (Bradbury, 1971 y 1989); sin embargo, la estratigrafía de diatomeas que reporta es monótona y el núcleo que trabajó tiene un *hiatus* de sedimentación. Debido a la importancia que posee este sitio en los estudios paleolimnológicos, se decidió dar seguimiento a los trabajos realizados por Bradbury en la década de los 70's, con la idea de lograr obtener un registro más completo para el Lago de Texcoco, que permitiera obtener mayor detalle sobre la evolución del lago (Ramírez-Nava, 2002). Este estudio incluyó el análisis de diatomeas de la secuencia sedimentaria TXB y abarcó el intervalo de los ca. 34,000 a los 1,100 años antes del presente (ca. 34 - 1.1 ka AP), alcanzando una mayor antigüedad y teniendo más horizontes fechados, lo que permite tener mejor resolución en comparación con los registros estudiados por Bradbury (1971 y 1989). Estos estudios también sugirieron cierta variabilidad en el nivel lacustre del Lago de Texcoco, aunque su interpretación paleolimnológica detallada se dificultó debido, en gran parte, a la falta de una metodología que facilitara la integración de la información ecológica de las especies. Es por ello que en este trabajo se propone realizar una nueva interpretación del registro TXB mediante la sistematización de los datos ecológicos de las especies a través del uso de una base de datos para diatomeas, con énfasis en las encontradas en el registro.

II.2.3 La secuencia estratigráfica TXB

El núcleo o secuencia estratigráfica Texcoco B (TXB), de 10.8 m de longitud, pertenece a la zona central del Lago de Texcoco (Figura 2). El estudio que se realizó con base en las diatomeas de este núcleo (Ramírez-Nava, 2002) constó del procesamiento de 33 muestras de sedimento y se identificaron 34 especies. Los datos se reportaron como abundancia total (número de valvas/ gramo de sedimento seco) y relativa (en porcentaje) de acuerdo a los métodos descritos por Battarbee (1986). Con los datos de abundancia relativa se realizó un análisis de clasificación estratigráficamente constreñido (CONISS; Grimm, 1993), a partir del cual se dividió la secuencia en cuatro zonas principales (I, II, III y IV), que se interpretaron como fases paleolimnológicas en el lago durante los poco más de los ca. 34 ka AP que cubre el registro (Figura 3). Las edades en que se presentaron estas fases fueron calculadas con base en cinco fechamientos por ^{14}C realizadas en extracto de polen de los sedimentos (Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1998).

La zonación del registro TXB del Lago de Texcoco se caracterizó principalmente por tener una alternancia de las especies dominantes entre *Cyclotella meneghiniana* Kützing, en casi toda la secuencia, y *Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith, que domina en una parte del núcleo. Esta distribución de las especies dominantes, así como de otras especies asociadas, se interpretó de la siguiente manera (Ramírez-Nava 2002):

La zona IV, la parte más antigua del registro (ca. 34 ka AP - ca. 26 ka AP), indica que el lago fue principalmente somero, alcalino, de salinidad alta y con poca vegetación acuática. Esta fase fue seguida por un periodo de marcadas fluctuaciones con una tendencia general a una disminución del tirante de agua (ca. 26 ka AP - 23 ka AP, zona III-c) y a un incremento en la salinidad que apunta hacia una fase de relativa sequía (ca. 23 ka AP-ca. 19 ka AP, Zona III-b). El registro de diatomeas se vio interrumpido (ca. 19 ka AP-ca. 17 ka AP, Zona III-a) por la presencia una capa de material volcánico. A continuación, se presenta la fase en la que domina *N. palea* (zona II), la cual se interpretó como la de menor salinidad en el registro (ca. 17 ka AP - ca. 14.4 ka AP) con

abundante vegetación acuática y subacuática. Esta menor salinidad plantea un problema de interpretación, dada la gran extensión de Texcoco; una reducción en su salinidad implicaría un aumento considerable en precipitación y un aumento considerable en el tirante de agua, del cual no se tiene evidencia. Por otro lado, la idea de que la reducción en salinidad está asociada a una mayor precipitación entra en conflicto con los registros palinológicos (o de polen), que sugieren que este intervalo fue más seco (Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1998). Debido a esto, dicha fase menos salobre se interpreta de manera alternativa como reflejo de la influencia de aportes estacionales de agua dulce en una época en la que se redujo la extensión del cuerpo de agua principal del Lago de Texcoco, por lo que la secuencia TXB representaría condiciones litorales. En el registro posterior a esta fase de menor salinidad, se detectó un *hiatus* de sedimentación (ca. 14.4 ka AP-ca. 6.1 ka AP), seguido por un periodo (ca. 6.1 ka AP - ca. 1.5 ka AP, zona I-b) en el que hay una pobre preservación de diatomeas, lo que sugiere un lago muy salobre e intermitente. La época más reciente (ca. 1.5 ka AP - ca. 1.2 ka AP, zona I-a) registra una leve recuperación en el nivel lacustre, con condiciones de un lago permanente, somero y de salinidad y alcalinidad elevadas.

Las inferencias que se realizaron sobre las condiciones paleolimnológicas y paleoambientales que prevalecieron en el intervalo que abarcó este estudio (ca. 34 ka - ca. 1.2 ka AP), como en otros estudios de este tipo, se basaron en la información ambiental y ecológica de las especies de diatomeas modernas, en el supuesto de que los hábitos y las preferencias de las especies por ciertas condiciones limnológicas en el pasado son similares a las del presente.

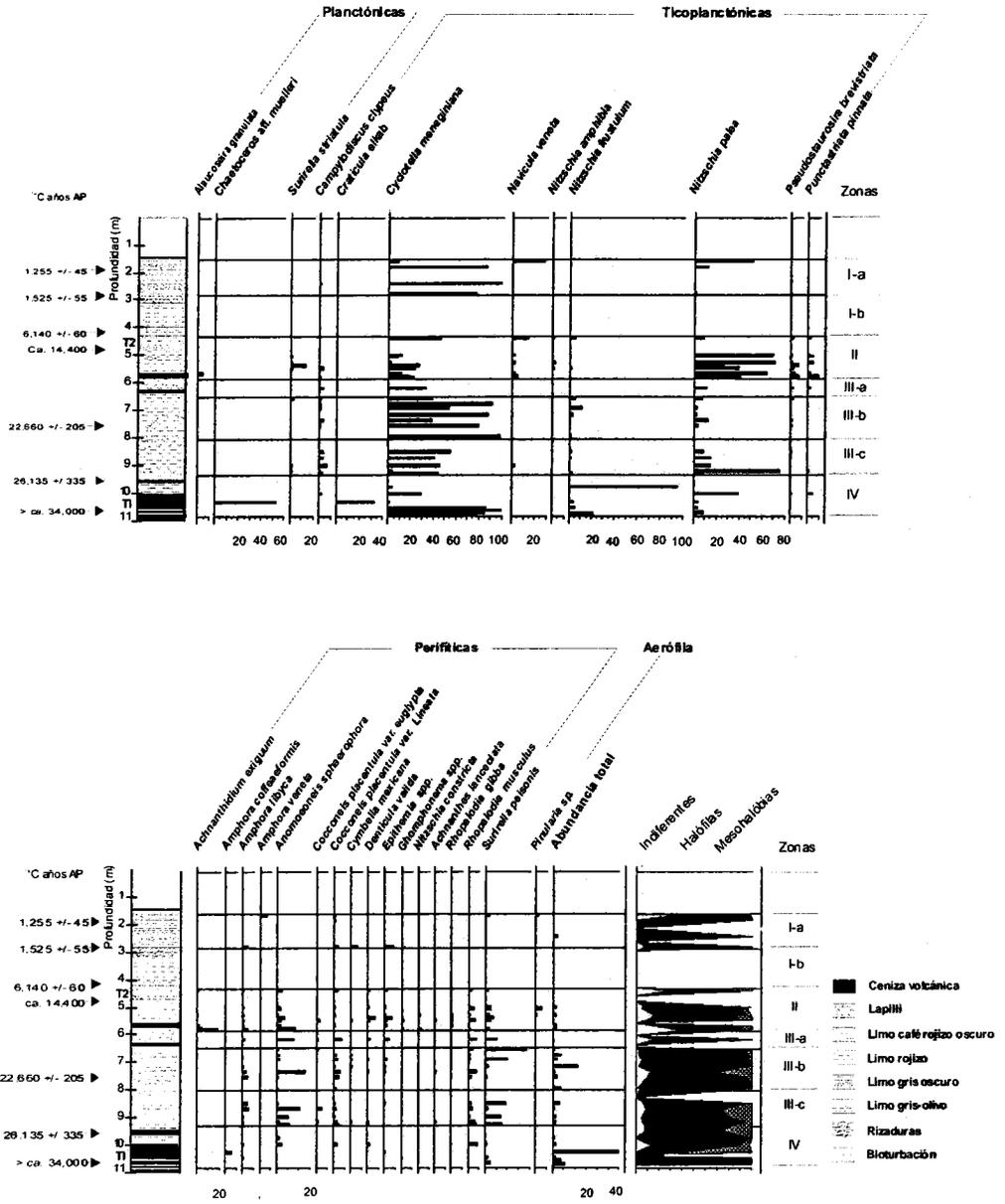


Figura 3. Diagrama de abundancia de diatomeas de la secuencia estratigráfica Texcoco B (TXB). Cinco muestras de sedimento y tefa fueron fechados con ^{14}C . Las tefas identificadas por Ortega y Newton (1998) corresponden a la Tlahuac T1 (Gran Ceniza Basáltica) y la Tlapacoya T2 (Pómez con andesita). Los números inferiores corresponden a la abundancia relativa (%) de las especies. La sumatoria de oligohalobias (indiferentes y halófilas) y mesohalobias muestra la frecuencia de las categorías del espectro de *halobion* (sistema de Kolbe de 1927 modificado por Lowe en 1974) para las especies más abundantes del núcleo TXB (diagrama tomado de Ramírez-Nava, 2002).

III. JUSTIFICACIÓN

En cualquier estudio paleolimnológico, las primeras fases involucran la búsqueda y el análisis de diversas fuentes de información, en donde la vía más asequible generalmente es la consulta de libros y artículos, aunque actualmente –como ya se ha visto, también es posible acceder a diferentes bases de datos.

La información taxonómica, ecológica, de colecciones y catálogos, así como de distribución de las especies, son de gran utilidad para los estudios paleolimnológicos, ya que nos permite tener un mayor conocimiento sobre la ecología de las diatomeas y de los parámetros limnológicos en los que éstas viven, a fin de emplearla en las reconstrucciones ambientales. No obstante la importancia que tiene la revisión de literatura especializada en este tipo de estudios, su consulta constituye un proceso lento y laborioso, ya que es muy extensa y diversa, además de que varía en cobertura geográfica, formato, en el tipo y número de parámetros medidos, en las unidades utilizadas, en los conceptos sobre hábitat y forma de vida de las especies, etc. Con frecuencia, los datos son difícilmente comparables entre sí (esto posiblemente pueda deberse a factores tales como ubicación geográfica, técnicas de muestreo, almacenamiento y manipulación de las muestras, etc.), aunado al hecho de que la descripción de la ecología de las especies presenta huecos considerables en la información que están asociados a la falta de valores para química del agua, nutrimentos y abundancia de especies en los sitios estudiados.

Por otro lado, se requiere consultar bases de datos que se han desarrollado en diferentes países (ver sección II.1), ya que desafortunadamente en nuestro país aún no ha sido creada una BD para diatomeas. Sin embargo, las BD disponibles albergan frecuentemente escasa información relacionada con la ecología de las especies y datos fisicoquímicos, además de que -en muchos casos- el idioma en el que se encuentra la información y/o el costo se vuelven una limitante para su empleo amplio.

El interés por conocer las especies de diatomeas continentales de nuestro país y sus afinidades ecológicas ha sido enfatizado en décadas recientes (Vilaclara-Fatjó *et al.*, 2002, Davies *et al.*, 2002), con el surgimiento de varios equipos de trabajo enfocados a este grupo de algas. Debido a que compartimos este mismo interés y a la importancia que las diatomeas tienen para el "Grupo Universitario de Estudios Paleambientales" de los Institutos de Geofísica y de Geología de la UNAM, consideramos que se requiere trabajar bajo un nuevo enfoque que permita la incorporación de herramientas más modernas y eficientes para el manejo del acervo bibliográfico, así como la organización de los datos que continuamente se están generando en el laboratorio sobre su distribución ambiental. Por ello que creemos que es de suma importancia el hecho de que en el estudio de la ecología de las diatomeas no sólo debería ser relevante la revisión e integración de una amplia literatura correspondiente a otras áreas geográficas, sino también la colecta de datos tomados directamente en campo de acuerdo a las condiciones ambientales que existen en México, puesto que la utilidad de las diatomeas como indicadores limnológicas y paleolimnológicas se fundamenta en tener un buen conocimiento de las afinidades ecológicas de las especies y sus asociaciones, a fin de realizar interpretaciones acertadas a nivel cualitativo o incluso cuantitativo.

El hecho de que la información contenida tanto en la literatura como en las BD consultadas no refleja adecuadamente ni las especies de diatomeas ni las condiciones limnológicas de México, además de la evidente necesidad que tienen los estudiosos de este grupo de algas por que exista una sistematización, disponibilidad y constante actualización de los datos nos ha conducido a proponer el diseño de un modelo de una base de datos biológica, en donde su acervo nos permita futuras aplicaciones para el estudio de la ecología de las diatomeas en México y, en particular, su aplicación a estudios de paleolimnología.

IV. OBJETIVOS

- Diseñar y desarrollar el modelo de una base de datos biológica para sintetizar información ecológica y de las condiciones limnológicas en las que viven las diatomeas continentales modernas.
- Emplear el modelo de la base de datos como una herramienta metodológica en el análisis estadístico para la caracterización de la distribución ambiental de las especies de diatomeas presentes en la secuencia estratigráfica TXB del Lago de Texcoco, Cuenca de México.
- Corroborar las condiciones paleolimnológicas en el Lago de Texcoco de los ca. 3401.2 ka AP con base en la distribución ambiental de las diatomeas de la secuencia estratigráfica TXB.

V. MÉTODOS

V.1 Diseño y creación del modelo de la base de datos biológica para diatomeas

El modelo de la base de datos biológica para la sistematización de los datos sobre distribución y ecología de las diatomeas continentales propuesto en el presente trabajo, se delineó atendiendo a las necesidades de información que se tienen en dichos estudios, así como en el análisis de diatomeas para estudios paleolimnológicos, acorde con nuestra experiencia, tanto en campo como en el laboratorio. Se diseñó y creó un modelo de una base de datos para almacenar y organizar la información de las especies de diatomeas, incluyendo los ambientes en los que crecen actualmente, de manera que estos datos puedan ser analizados mediante el uso de paquetes estadísticos. En el presente estudio se trabajó únicamente con las especies presentes en el registro TXB (ver sección II.2.3).

El proceso de concepción y creación de la base de datos constó de las siguientes fases: 1) diseño del modelo conceptual, 2) criterios que se emplearon en la selección de los atributos y 3) diseño del modelo lógico y físico.

1. Diseño del modelo conceptual. El diseño y la creación del modelo conceptual se basó en la metodología descrita por Date (1986) para el modelo relacional, los cuales se apegaron a los objetivos propios del trabajo. De acuerdo a esto, se definieron los objetos o tablas que el modelo requirió y sus atributos o campos. En la tabla se identificaron los campos que podrían presentar valores únicos para cada registro, es decir, las llaves principales. En cada entidad o tabla se incluyó una llave primaria (denominada Primary Key o PK), que es la columna de una tabla cuya finalidad es la identificación de los registros. La llave primaria se utilizó en otra tabla como llave foránea o externa (denominada Foreign Key o FK) para relacionar o establecer conexión entre las entidades.

El modelado de la base de datos se realizó a través de un Diagrama de Entidad Relación o DER (Hawryszkiewicz, 1994). En el DER se establecieron y especificaron el tipo de relación uno a uno (1:1), uno a varios (1:N) o varios a uno (N:1) y las claves para cada entidad. Los campos de las tablas se especificaron de acuerdo a los criterios que a continuación se describen.

2. Criterios que se emplearon en la selección de los atributos. Se establecieron criterios bajo los cuales se definieron los aspectos de a) clasificación taxonómica, b) descriptores conservativos y no conservativos, c) categorías ecológicas (especies) y d) categorías ambientales (sitios), los cuales se consideraron en el diseño de cada una de las tablas. Estos criterios se enfocaron básicamente en tratar de organizar y estandarizar la información que se maneja en los diferentes reportes ecológicos para diatomeas.

a) Clasificación taxonómica. Se empleó para la descripción de los nombres científicos de las diatomeas continentales la clasificación de Round *et al.* (1990).

b) Descriptores conservativos y no conservativos. La química básica y otros descriptores tróficos del agua se dividieron en descriptores conservativos y no conservativos siguiendo a Margalef (1983). Los descriptores conservativos o de proporcionalidad constante son aquellos cuya concentración a lo largo del tiempo y del espacio en un cuerpo de agua dado varía poco, porque no se ven afectados por la actividad biológica, sólo por fenómenos de dilución / concentración (Margalef, 1983). Los descriptores no conservativos son aquellos que están presentes en pequeñas cantidades en los sistemas acuáticos y se ven afectados –directa o indirectamente- por la actividad biológica, bien porque los organismos los requieren para crecer y reproducirse (Darley, 1982; Margalef, 1983), o porque son afectados por estas mismas actividades, como ocurre con la basificación del pH al tomar CO₂ de la reserva alcalina para la fotosíntesis cuando la alcalinidad es baja (Vallentyne, 1990). Los descriptores conservativos y no conservativos que se emplearon en la delineación de las tablas y sus atributos se seleccionaron de manera que, en conjunto, aportaran un panorama

general de las características limnológicas de un sitio, además de representar los factores ambientales para los cuales las diatomeas se consideran buenas indicadoras (Tabla 1).

Tabla 1. Descriptores conservativos y no conservativos (modificado de Gassé, 1980; Vilaclara-Fatjó, 1991; Vilaclara-Fatjó *et al.*, 1993; Caballero, 1995; Cocquyt, 1998; Vilaclara-Fatjó *et al.*, 2002; y Cuna *et al.*, 2003) que se seleccionaron para el diseño de las tablas de la BD biológica.

Descriptores conservativos			Descriptores no conservativos	
Mineralización total	Sistema carbónico-carbonatos y otros aniones	Cationes	Otros descriptores tróficos	Nutrientes
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Salinidad (g/l) ▪ Conductividad K_{25} ($\mu\text{S}/\text{cm}$) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ pH* ▪ Alcalinidad total o alct (meq/l) ▪ Alcalinidad a la fenolftaleína o alcf (meq/l) ▪ Carbonatos o CO_3^{2-} (meq/l) ▪ Bicarbonatos o HCO_3^- (meq/l) ▪ Sulfatos o SO_4^{2-} (meq/l) ▪ Cloruros o Cl⁻ (meq/l) ▪ Boro o B (meq/l) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dureza total (meqCaCO₃/l) ▪ Calcio (Ca⁺⁺, meq/l) ▪ Magnesio (Mg⁺⁺, meq/l) ▪ Sodio (Na⁺, meq/l) ▪ Potasio (K⁺, meq/l) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Clorofila a (Cia, $\mu\text{g}/\text{l}$) ▪ Oxígeno disuelto (OD, mg/l) ▪ Porcentaje de saturación de oxígeno (%SO, %) ▪ Disco de Secchi (DS, m) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fósforo Reactivo Disuelto (FRD u ortofosfato, mg/l) ▪ Fósforo Total (FT, mg/l) ▪ Nitrato (N-NO₃⁻, mg/l) ▪ Nitrito (N-NO₂⁻, mg/l) ▪ Amonio (N-NH₄⁺, mg/l) ▪ Nitrógeno Disuelto Total (DIN o NID, mg/l) ▪ Silice (Si-SiO₂, mg/l)

* Cuando el nivel trófico es elevado y la reserva alcalina es baja, el pH se comporta como descriptor no conservativo

A pesar de que la temperatura se considera como el tercer factor ambiental de mayor importancia que afecta al crecimiento del fitoplancton (Darley, 1982), en la planeación de la BD se incluyó como un atributo secundario, ya que el diseño se orienta principalmente hacia sitios ubicados en las zonas tropicales, con poca variación relativa en la temperatura.

Los valores de los descriptores registrados en la literatura se incorporaron en la base de datos en forma de valores discretos y en otras ocasiones como intervalos. Sin

embargo, para realizar los análisis estadísticos fue necesario obtener los promedios de los valores, cuando éstos se encontraban en intervalos.

c) Categorías ecológicas. Para el estudio de las diatomeas, frecuentemente se clasifica el ambiente en el que viven en categorías, ya sea de halobiedad, pH, saprobiedad, trofismo o hábitat, con base en los diversos parámetros ecológicos. Estas categorías permitieron definir de manera rápida el intervalo de variación de cada una de las variables mencionadas en el inciso anterior, en las que tiene su óptimo desarrollo cada una de las especies de diatomeas (Shoeman, 1973; Lowe, 1974). Se han definido diferentes sistemas de clasificación; aquellos que más frecuentemente se usan son los de Kolbe (1927) -que indica el contenido de sales (halobiedad)-, Hustedt (1930) -que indica pH-, Sládecek (1973)-que indica la cantidad de materia orgánica en el agua (saprobiología)- y Naumann y Thienemann (en Margalef 1983) -que indica el contenido de nutrientes (trofismo)-, éste último modificado de acuerdo a los valores registrados por Melack y Kilham (1974), Margalef (1983), Lampert y Sommer (1997), Vilaclara *et al.* (2002) y Monroy (2004).

Para el caso en particular del hábitat de las diatomeas, encontramos cierta heterogeneidad en relación a los términos que comúnmente se emplean. Sin embargo se requirió estandarizar la terminología, ya que en el diseño de la BD no puede existir ninguna ambigüedad en la definición de los atributos. Para ello se realizó una revisión bibliográfica en torno a este tema. De acuerdo a distintos autores las diatomeas pueden ser consideradas como diatomeas planctónicas o euplanctónicas aquellas que pasan todo su ciclo de vida suspendidas en la columna de agua de los lagos (Werner, 1977) y su distribución depende de las corrientes y turbulencia (Lowe, 1974; Dixit *et al.*, 1992; Ehrlich, 1995; Cox, 1996; Battarbee *et al.*, 2001); en un sentido amplio, forman la comunidad de las aguas libres (Margalef, 1983).

Las diatomeas pueden ser definidas como ticoplanctónicas en dos formas diferentes: 1) las que tienen una forma de vida bentónica-epifítica y que accidentalmente son arrancadas y mantenidas temporalmente en la columna de agua, y

2) aquellas especies que presentan una parte de su ciclo en el sedimento y otra en la columna de agua (en la época de mezcla del lago); ésta última es la que se apega más a las características típicas de una especie ticoplanctónica. Las diatomeas ticoplanctónicas son planctónicas facultativas y normalmente están asociadas con el *perifiton* (Lowe, 1974; Ehrlich, 1995).

Las especies perifíticas (comunidad "*Aufwuchs*" o litoral) de diatomeas se encuentran sobre los sedimentos del fondo de los cuerpos de agua y objetos sumergidos tales como rocas, madera, plantas y animales, en los que pueden estar fijas o libres (Lowe, 1974; Ehrlich, 1995). El *perifiton* es un término que generalmente se usa para referirse a las algas que viven en algún tipo de sustrato sólido (Darley, 1982). Según Margalef (1983), las comunidades del *perifiton* o *Aufwuchs* son dependientes de las macrófitas y algas filamentosas; sin embargo, para otros autores -como Patrick y Reimer (1966), Lowe (1974), Dixit *et al.*, (1992), Round *et al.* (1990) y Wetzel (2001)- dichas comunidades también pueden crecer sobre un sustrato vivo o muerto y, en este contexto, la comunidad perifítica incluye las subcategorías epipélica (sobre lodo), epilítica (sobre las rocas), epifítica (sobre algas o plantas acuáticas), epizoica (sobre los animales) y epipsámmica (sobre arena). De manera general, la descripción de la subcategoría epifítica es coincidente en la mayoría de los autores, pues éstos refieren que las formas epifíticas típicamente están asociadas con los tallos u hojas de plantas acuáticas o que crecen sobre la superficie de algas filamentosas (Lowe, 1974; Werner, 1977; Darley, 1982), aunque en la terminología antigua se las menciona como aquellas que están sujetas mediante mucilago a diferentes sustratos (Patrick y Reimer, 1966).

Las diatomeas bentónicas o bénticas se encuentran asociadas al sustrato alrededor de los márgenes de los lagos (Battarbee *et al.*, 2001) y en fondos someros; son aquellas que viven sobre el sustrato (Patrick y Reimer, 1966) sin estar fijas a él. Las especies bentónicas son las que se encuentra en el *bentos*, el cual está asociado con el fondo del lago o con la interfase sólida-líquida en los sistemas acuáticos (Margalef, 1983; Wetzel, 2001) y, de acuerdo con Margalef (1983), incluye los organismos que viven en el *psammon* (en arena), *pelon* (en fango), *herpon* (con

movimiento lento que se mantienen agrupados en el sedimento), *placon* (en masas de algas filamentosas fijas), *endobentos* (organismos introducidos en la roca hasta un espesor definido por la penetración de la luz) y *micropecton* (comunidades fijas o incrustadas en minerales o algas en un nivel menor que el *pecton*). En algunos casos, las categorías perifítica y bentónica se traslapan, ya que para autores como Margalef (1983) y Battarbee *et al.* (2001), el *bentos* puede incluir las comunidades que viven en el *epilíton*, *epifíton*, *epipelón* y *epipsammon*; o bien no se consideran, como en el caso de Werner (1977), que únicamente incluye las categorías bentónica y epifítica.

Una última categoría incluye a las diatomeas aerófilas que se caracterizan por vivir en ambientes con exposición ocasional al aire, debido al descenso del nivel del agua (Patrick y Reimer, 1966; Lowe, 1974; Ehrlich, 1995), por lo cual pueden resistir periodos de relativa desecación.

En la revisión de los conceptos ligados con la forma de vida de las diatomeas se determinó que los términos "perifítica" y "bentónica" hacen referencia a ambientes similares. Dado que ambos conceptos indican que las especies habitan en ambientes lacustres someros, indicativos de periodos de descenso de la columna de agua en estudios paleolimnológicos. De esta manera, la categoría perifítica-bentónica se definió para la base de datos de diatomeas para incluir a las categorías perifítica y bentónica en una misma, dado que ambas categorías se asocian con un sustrato. La categoría perifítica abarca las diatomeas epifíticas, epilíticas, epipsammicas, epipélicas y epizoicas (Patrick y Reimer; 1966; Lowe, 1974; Werner; 1977; Margalef, 1983; Dixit *et al.*, 1992; Wetzel, 2001). En tanto que la categoría bentónica incluye las diatomeas que viven en el herpon, psammon y pelon (Patrick y Reimer, 1966; Battarbee *et al.*, 2001; Wetzel, 2001). En la práctica, estas dos formas de vida son difíciles de diferenciar, o bien las especies pueden pasar de una a otra, es por ello que sólo se define una sola categoría abarcando ambas formas de vida.

De acuerdo con ésta revisión, las subcategorías que se definieron para el hábitat de las diatomeas incluyen a la planctónica, ticoplanctónica, perifítica-bentónica y serófila (Tabla 2).

Los sistemas de clasificación empleados para las otras categorías ecológicas de pH, Halobiedad, Saprobiedad y Trofismo (de acuerdo con Lowe, 1974; Sládecek, 1973 y 1986, y Vilaclara-Fatjó *et al.*, 2002) se encuentran claramente delimitados (Apéndice I). La terminología que se emplea en estas categorías se utiliza ampliamente en la literatura especializada para diatomeas continentales (Patrick y Reimer, 1966; Lowe, 1974; Gasé 1980 y 1986; Round *et al.*, 1990; Vilaclara-Fatjó *et al.*, 2002), por lo que no requirieron ser reevaluados, como en el caso del hábitat. En la Tabla 2 se muestran las categorías ecológicas seleccionadas para el diseño y la creación de las tablas de la base de datos.

Tabla 2. Categorías ecológicas para diatomeas de espectro de pH, halobiedad, saprobiedad, trofismo y hábitat (modificado de Lowe, 1974; Sládecek, 1973 y 1986 y Vilaclara-Fatjó *et al.*, 2002) que se seleccionaron para la creación de tablas la BD biológica.

Espectro de pH	Halobiedad	Saprobiedad (Limnosaprobiedad)	Trofismo	Hábitat
acidobionte	oligohalobia-halófoba	oligosaprobía	oligotrófica	aerófila
acidófila	oligohalobia-indiferente	alfa-mesosaprobía	oligotrófica-mesotrófica	perifítica-bentónica
circumneutral	oligohalobia-halófila	beta-mesosaprobía	mesotrófica	ticoplanctónica
alcalifila	oligohalobia-mesohaloba	polisaprobía	mesotrófica-eutrófica	planctónica
alcalibionte	mesohalobia	No indicadora de	eutrófica	
No indicadora de pH	mesohalobia-euhaloba	saprobiedad	hipereutrófica	
	euhalobia			
	eurihalobia			

d) Categorías ambientales. Para lograr una mejor identificación de los registros de sitios en la BD, se definieron las categorías ambientales de manera que permitiera una manera rápida de describir el tipo de ambiente de un sitio; esto se logró mediante la combinación de códigos únicos (letras y/o números) para el sistema acuático, el pH y la

conductividad (Tabla 3). En el tipo de sistema acuático se contemplan los ambientes “río”, “humedal” o “ambiente intermitente” y “lago”, con tres subdivisiones conforme la profundidad del mismo. Para pH y conductividad, las categorías son cuantitativas y se dividieron tratando de cubrir el espectro, que va de 0 (ácido) a >9.1 (muy alcalino) y de <80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (baja) a >30,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (muy alta) de pH y conductividad, respectivamente.

De acuerdo con DeNicola (2000) las diatomeas generalmente habitan en aguas con pH mayor a 3.5, por lo que la categorización sólo abarca la escala a partir del cero y números positivos del espectro.

En la descripción de la categoría del sistema acuático se incluye la letra D, que indica que en el reporte no se aportan datos acerca de la profundidad del lago, aunque en otros reportes esta información sí pueda conocerse. En todas las categorías también se incluye un código denominado con la letra N, que indica que no hay datos al respecto.

Tabla 3. Categorías de sistema acuático, pH y conductividad que se emplearon en la creación de las tablas la BD biológica.

Tipo del Sistema Acuático (SA)	Código de SA	Categoría de pH	Código de pH	Categoría de conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (C)	Código de C
Río	R	00<5.5 (ácido)	I	<80 (muy bajo)	1
Humedal o Ambiente Intermitente	H	5.606.5 (ligeramente ácido)	II	800<1,500 (bajo)	2
Lago somero <5 m	A	6.608.5 (neutro)	III	1,5000<3,000 (moderado)	3
Lago somero 5015 m	B	8.609.0 (ligeramente alcalino)	IV	3,0000 <30,000 (alto)	4
Lago profundo >15 m	C	>9.1 (muy alcalino)	V	>30,000 (muy alto)	5
Lago con profundidad desconocida	D	Ningún Dato	N	Ningún Dato	N
Ningún Dato	N				

3. Diseño del modelo lógico y físico. El modelo lógico se diseñó a partir del conjunto de entidades consideradas en el modelo conceptual (ver Diseño del modelo conceptual) y los atributos de las tablas se seleccionaron y estandarizaron de acuerdo con lo expuesto en la sección anterior (ver Criterios que se emplearon en la selección de atributos). Los atributos se especificaron para cada una de las tablas de la base de datos en tablas de instancia. El modelo lógico se empleó como esquema final de la base de datos para la elaboración del modelo lógico en un manejador de bases de datos y se incorporaron los registros.

V.2 Distribución ambiental de las especies presentes en el registro TXB

La base de datos que se creó (ver sección V.1) fue empleada para el análisis de la distribución ambiental de las especies presentes en la secuencia estratigráfica TXB, particularmente de las dos especies dominantes, *Nitzschia palea* y *Cyclotella meneghiniana*, mediante las cuales se delimitaron las zonas a lo largo del perfil TXB. Esto se realizó con el fin de complementar o afinar la interpretación paleolimnológica realizada para el Lago de Texcoco a partir del estudio de las diatomeas del núcleo TXB de Ramírez-Nava (2002).

En el Apéndice III se muestra en forma de tablas la información incorporada en la base de datos de las 32 especies (Tabla AIII.1) y los 44 sitios (Tablas AIII.2) que se compilaron bibliográficamente (Tabla AIII.3). A partir de estos datos se generaron dos matrices de datos la Matriz Sitio-Ambiental o MSA (Tabla AIII.4) de sitios vs. pH y conductividad y la Matriz Sitio-Especie o MSE (Tabla AIII.6) de sitios vs. especies (ausencia / presencia). Las categorías de sistema acuático, pH y conductividad que se definieron para cada sitio se muestran en la tabla AIII.5.

El manejo de las especies y los sitios empleados en los análisis estadísticos, así como también los reportes en los que se basó la información, se realizó a través de la asignación de un número que facilitó su identificación rápida. Este número asignado se utilizó para describir y referir los resultados y las figuras (gráficas y dendogramas).

Como es común que los resultados de los análisis químicos de muestras de agua que se realizan para conocer los valores de los descriptores sean manejados en una multiplicidad de unidades; se requirió que éstos se convirtieran a las mismas unidades para propósitos de una estandarización que facilitara el uso y la comparación de la información en la base de datos. Con la matriz MSA (Tabla AIII.4) se realizó una correlación entre pH y conductividad y entre pH y el logaritmo de la conductividad, empleando el programa Statistica para conocer la correlación entre la variable pH y conductividad. Con este mismo programa se llevó a cabo una clasificación de sitios con base en sus valores de pH y conductividad. Con la matriz MSE (Tabla AIII.6) se realizaron análisis de clasificación divisivos con los programas Statistica y TWINSPAN (Two Way INdicator SPecies ANalysis) y un análisis de componentes principales con el programa Statistica para conocer la distribución de las especies.

La especie número 33 que corresponde a *Denticula valida* (Peducino) Grunow in Van Heurck y la número 34 que corresponde a *Surirella* aff. *peisonis* Pantocsek, debido a que se encuentran en el registro completo (Tabla AIII.1). Sin embargo, en los análisis anteriores que se basaron en las matrices MSA y MSE (Tablas AIII.4 y AIII.6) estas especies no se incluyeron, debido a la falta de datos ecológicos y ambientales.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se dividieron en dos partes, la primera corresponde a la estructura física, características y tipo de información de la base de datos que se generó a través del diseño de los modelos conceptual y lógico. En la segunda parte se muestran los resultados de los análisis estadísticos de las diatomeas modernas y los sitios en los que se presentan las mismas especies que en la secuencia TXB del Lago de Texcoco.

VI.1 Modelo de la base de datos

Modelo conceptual. El modelo conceptual se constituyó siguiendo un diagrama DER en el que se esquematizaron las entidades o tablas, las relaciones y los atributos de la BD.

Las entidades se definieron y nombraron como TAXONÓMICA, SITIO, CURATORIAL, DE ABUNDANCIA RELATIVA, AMBIENTAL, ECOLÓGICA Y BIBLIOGRÁFICA -de acuerdo con la información que se representó en cada una-. En la Figura 4 se muestra el esquema de la conformación del modelo conceptual y las distintas relaciones establecidas (flechas) entre las entidades (rectángulos). Las tablas del modelo conceptual se describen a continuación:

- TAXONÓMICA. Información taxonómica a nivel de familia, género, especie, autoridad de la especie y año.
- SITIO. Información relacionada con los detalles del sitio en el que se encuentran las especies.
- CURATORIAL. Detalles de las muestras a partir de las cuales se elaboran las preparaciones y se realizan las observaciones y conteos de las valvas de las diatomeas.

- **ABUNDANCIA RELATIVA.** Abundancia expresada en porcentajes de las especies de diatomeas reportadas en una preparación. La abundancia y composición de las especies nos permite hacer inferencias sobre el ambiente acuático en el que se encuentran, puesto que las diatomeas son indicadores biológicas.
- **AMBIENTAL.** Información sobre los descriptores fisicoquímicos del sitio.
- **ECOLÓGICA.** Categorías ecológicas (pH, halobiedad, forma de vida, trofismo y saprobiedad) que se usan comúnmente para describir y reportar a las especies de diatomeas que viven bajo ciertas condiciones ambientales.
- **BIBLIOGRÁFICA.** Información relacionada con literatura consultada (artículos, manuscritos, libros, reportes de campo, etc.) sobre la ecología de las especies de diatomeas.

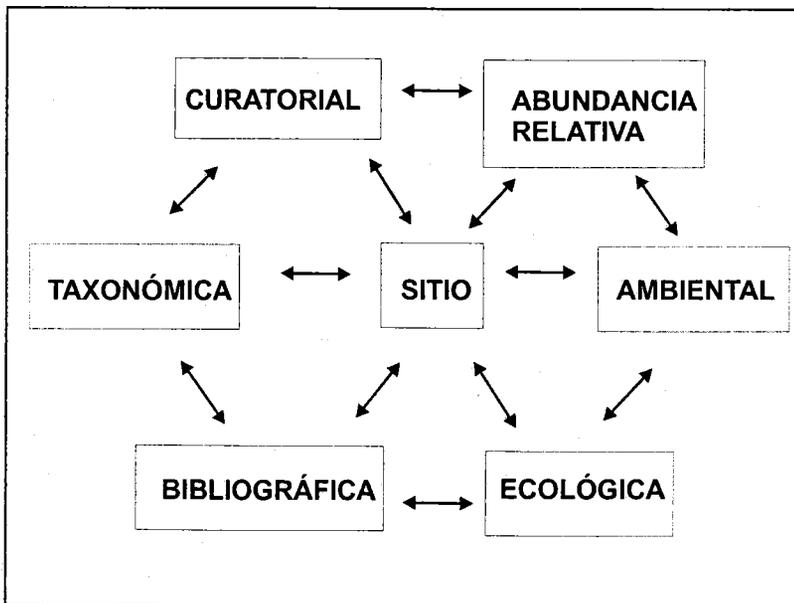


Figura 4. Esquema del modelo conceptual de la base de datos

La relación entre las entidades SITIO, CURATORIAL y TAXONÓMICA es un aspecto estructural de la BD que refleja la identificación taxonómica a partir de observaciones realizadas en las preparaciones fijas de un sitio y los datos tomados directamente de muestreos en el sitio estudiado.

Las tablas CURATORIAL, ABUNDANCIA RELATIVA y AMBIENTAL están ligadas a la diversidad de especies observadas en las preparaciones fijas de un sitio, así como su abundancia relativa en las preparaciones que refleja la preferencia de las diatomeas por ciertas condiciones limnológicas, la relación que existe entre las entidades SITIO, TAXONÓMICA, AMBIENTAL y ECOLÓGICA depende de las condiciones ambientales en que las especies se desarrollan, lo cual se ve reflejado en su forma de vida.

Finalmente, la entidad BIBLIOGRÁFICA corresponde a las publicaciones, manuscritos o reportes de campo realizados en un sitio, de los cuales se extrajeron los datos contenidos en las tablas SITIO, TAXONÓMICA, ECOLÓGICA y AMBIENTAL.

Modelo lógico y físico. La elaboración del modelo lógico se basó en el modelo conceptual (Figura4). El modelo lógico siguió las reglas sugeridas por Codd y las de integridad referencial para una base de datos relacional (Pérez, 2003). Lo anterior garantizó la conservación de la consistencia en la BD y evitó la redundancia de datos.

La validación de los datos, es decir, que cada columna de una base de datos presentara un dominio o conjunto de valores legales para esa columna, se logró a través de la especificación en cada una de las entidades del nombre, tipo y anchura (o número de caracteres) de los campos (atributos que componen una entidad) en un cuadro denominado tabla de instancia (Tabla AII.1). La validación de los datos sirvió para evitar que el usuario introdujera datos incongruentes o erróneos en el campo.

En el diseño de la base de datos también se realizó el proceso de normalización que constó de cuatro etapas denominadas como no normalizada, primera, segunda y

tercera formas normales (Pérez, 2003). La normalización rigió las relaciones entre las entidades, las actualizaciones y el borrado de elementos de las tablas en la BD.

La creación física de la BD –basada en el modelo lógico- se realizó en el SMBD (Sistema Manejador de Bases de Datos) ACCESS, que se encuentra disponible para el sistema operativo Windows (Figueroa, 2002; Sánchez y Carbonell, 2002).

En el SMBD se generó una base de datos vacía y se crearon las tablas (objetos). Se asignó un nombre a cada tabla, se establecieron los atributos y se especificaron los tipos de datos ajustándose al diseño de los modelos conceptual y lógico.

En cada tabla de la BD se especificaron las llaves primarias (columna cuyos valores identifican de manera única a cada fila en una tabla) y foráneas (columna cuyo valor es igual al de alguna clave primaria en una tabla especificada) siguiendo las reglas de integridad referencial. La identificación unívoca para cada llave permitió el establecimiento de las relaciones o las conexiones entre dos o más tablas.

La BD presentó un tamaño menor a 1 MB, su la capacidad para almacenar y manejar datos depende de las características del disco duro en que se encuentre el archivo de la BD y del tipo de registros incorporados. De acuerdo a (Pérez, 2003), el tamaño máximo del archivo de una base de datos en el SMBD Access es de 2 GB menos el espacio necesario para los objetos de sistema.

En la base de datos se incorporaron datos taxonómicos (familia, género, especie, variedad, autor y año) de 33 especies de diatomeas (Tabla AII.1) y las categorías de hábitat en que éstas se encuentran (Tabla 2), 44 sitios (Tabla AII.2), 10 reportes ecológicos (Tabla AII.3) y ambiente (Tabla AIII.4 y Tabla AIII.5). En la figura 5 se muestra el modelo lógico y físico de la BD.

Las consultas (tablas formadas por los atributos de una o más tablas que se utilizaron para ver, modificar y analizar datos de formas diferentes) se realizaron para

elaborar las matrices de datos MSE (Tabla AII.6) y MSA (Tabla AIII.4). Las consultas en la BD facilitaron el manejo de forma simultánea de múltiples datos taxonómicos, de los hábitos y de las condiciones limnológicas específicas por los cuales tienen preferencia las diatomeas de manera individual o para un grupo de ellas- y de los parámetros limnológicos de los sitios. En este sentido, la utilización del modelo de la BD como una herramienta metodológica, permitió la organización de los datos para realizar diferentes análisis mediante los programas Twinspan y Statistica.

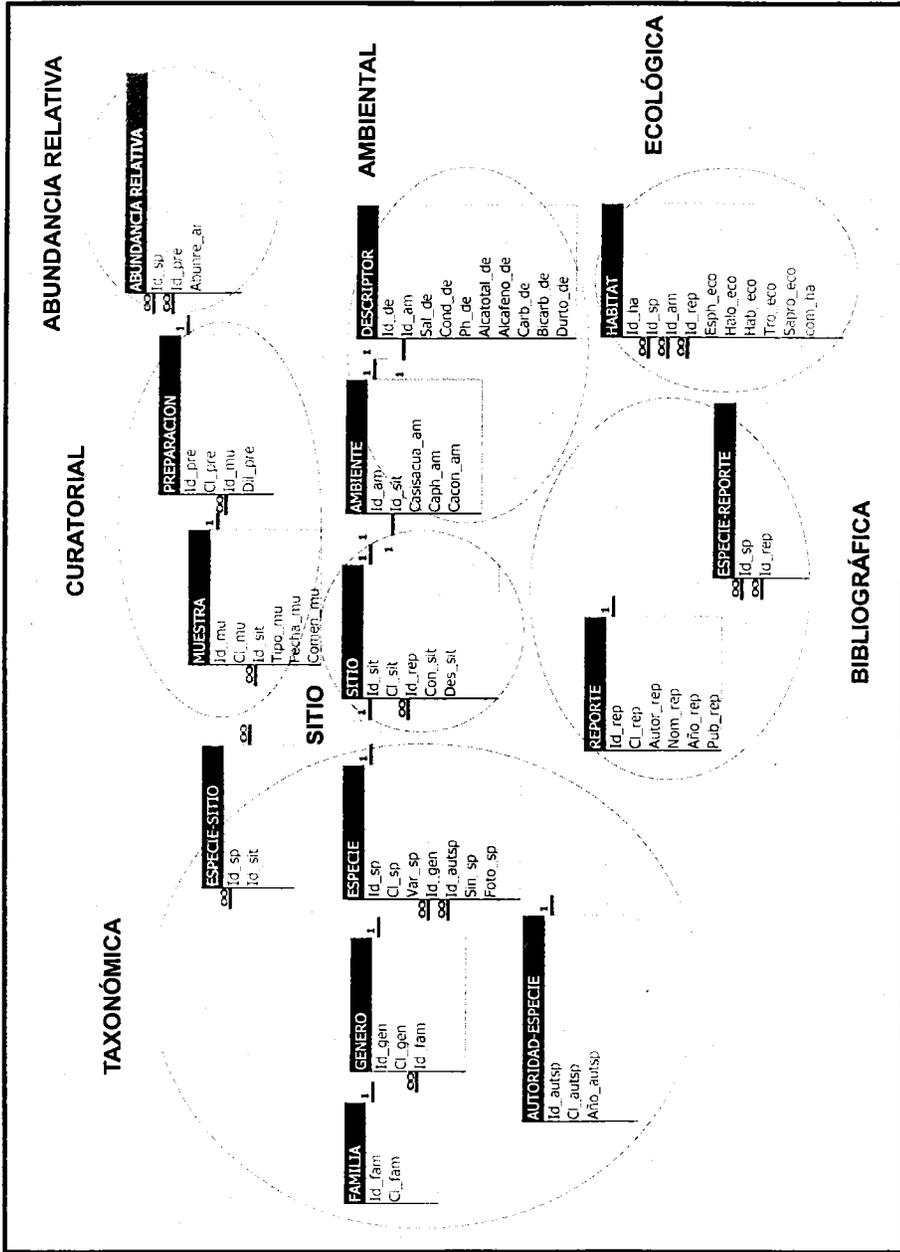


Figura 5. Esquema del modelo lógico y físico de la base de datos

VI.2 Diseño y creación de la base de datos

La estructura del modelo que se desarrolló para la Base de Datos de diatomeas permitió manejar datos taxonómicos, de composición de especies y parámetros limnológicos. En este diseño se ha contemplado la posibilidad de incorporar datos sobre la abundancia de especies; sin embargo, en el presente trabajo dicho aspecto no pudo aplicarse, debido a que en la mayoría de los reportes ecológicos este tipo de información no se documenta, quedando los datos incorporados solamente como ausencia / presencia. No obstante, tal posibilidad queda implementada para el futuro crecimiento de la base.

En la fase de diseño de la base de datos se realizó una revisión bibliográfica para establecer los criterios a partir de los cuales se definieron a los atributos de las entidades del modelo conceptual y lógico. Esta revisión permitió, así mismo, documentar la ecología de las diatomeas del registro TXB. Durante dicha revisión bibliográfica pudimos abordar la problemática que implica el uso de diferente terminología y la falta de información sobre aspectos ecológicos y ambientales de las diatomeas. El desarrollo del modelo nos ayudó a establecer, clarificar y unificar conceptos que se utilizan en la ecología de las diatomeas. A continuación se discuten los argumentos con base en los cuales se seleccionaron los atributos de las entidades.

Clasificación taxonómica. La clasificación taxonómica de las diatomeas ha ido cambiando a lo largo del tiempo, ya que se han establecido diferentes criterios y corrientes de clasificación basadas en observaciones detalladas de la estructura valvar y ornamentación. Entre las clasificaciones taxonómicas más reconocidas para el grupo de las diatomeas se encuentran las de Hustedt (1930), Simonsen (1979), Round *et al.* (1990) y Van Heurck *et al.* (1995).

En el presente trabajo, la parte taxonómica del modelo de la base de datos se apega a la clasificación taxonómica de Round *et al.* (1990), debido a que se encuentra entre las más extensamente referidas por los diatomólogos y a que incluye las más

recientes modificaciones de la División Bacillariophyta (Williams y Round, 1987; Stormer *et al.*, 1999; Lange-Bertalot, 2001). Además, también es reconocida por el Código Internacional de Nomenclatura Botánica (<http://rbg-web2.rbge.org.uk/ADIAAC/db/adiacdb.htm>).

Las sinonimias de las especies constituyen uno de los retos que deben considerarse en el diseño y desarrollo de bases de datos biológicas, ya que éstas implican el encauzamiento de recursos hacia la constante actualización de los nombres científicos. Sin embargo, dado que la BD se orienta hacia un enfoque ambiental/ecológico, las sinonimias se manejan como parte de las características generales de la especie, sin la intención de ahondar en la problemática que las mismas implican. Cabe señalar que, en el futuro, no se descarta la idea de replantear a las sinonimias como un aspecto importante en el crecimiento de la BD.

Descriptorios conservativos y no conservativos. En la revisión bibliográfica que se realizó observamos que es poco común que en la literatura se incluyan listados completos de parámetros fisicoquímicos (con sus respectivos valores) en los que se encuentran los taxa de diatomeas. Los descriptorios fisicoquímicos que se reportan en la literatura raramente se encuentran en las mismas unidades y/o incluyen el mismo número de parámetros; los que se reportan más consistentemente son el pH y la conductividad eléctrica. Lo anterior limita la posibilidad de tener una detallada documentación de las condiciones limnológicas en las que habitan las diatomeas local y/o regionalmente, y también hace muy difícil la utilización de este tipo de datos en otros estudios. Es por dicha razón que únicamente se utilizaron los parámetros pH y conductividad eléctrica para el análisis de la distribución de las especies del núcleo TXB.

Categorías ecológicas y ambientales. Durante la revisión bibliográfica se observó que en gran parte de la literatura se emplean diferentes términos para describir los hábitos de las diatomeas, especialmente en lo que se refiere a la forma de vida. Es común que se usen distintas clasificaciones para describir las categorías ecológicas de las diatomeas, lo cual hace que en muchas ocasiones éstas no puedan ser

comparables entre sí. En el caso del hábitat o forma de vida, diferentes autores hacen referencia a distintos conceptos para describir la forma de vida de las diatomeas, por lo cual consideramos necesario que se evaluaran los conceptos involucrados en la definición de las categorías de la forma de vida conocidas como planctónica, ticolanctónica, perifítica, bentónica y aerófila

Es importante señalar que, en la actualidad, se requiere de nuevos trabajos sobre diatomeas que profundicen en su ecología y ambiente. Dichos trabajos, además de contener los listados diatomológicos, deben de incluir un mayor número de parámetros limnológicos y una estandarización en cuanto a los que se miden y las unidades en que se reportan. Todo esto con el fin de tener una visión más integral de este grupo de organismos y que, además, permita la elaboración de otros estudios con diferentes enfoques biológicos.

VI.3 Síntesis de información de la distribución ambiental (pH y conductividad) de las diatomeas presentes en el perfil TXB.

La base de datos de diatomeas nos facilitó la elaboración de matrices de datos para sintetizar la información sobre las especies presentes en el registro TXB. Los resultados se presentan en las figuras 6-9 y hacen referencia a las 32 especies de diatomeas del registro TXB (Tabla AIII.2) y los 44 sitios en que éstas se presentan empleados para reallizar la síntesis (Tabla AIII.1).

Los sitios en los que se presentan especies similares a las del registro TXB (Tabla AIII.2) corresponden principalmente a zonas geográficas, de latitud tropical a sub0tropical, esto es, latitud similar a la de México, destacando los sitios situados en África. De los 44 sitios incluidos en la base de datos, 19 corresponden a sitios en África, 6 en Asia, 1 en Europa, 1 en Sudamérica y 17 a México (Norteamérica).

Análisis de Correlación. El análisis de correlación realizado entre las variables pH y conductividad eléctrica para los 44 sitios, (Tabla AIII.4) que arroja un valor de $r = 0.44$ ($p < 0.05$). Este análisis se repitió entre el pH y el logaritmo de la conductividad (Figura 6), y en este caso el valor de r resultó ser más alto, $r = 0.75$ ($p < 0.05$). En ambos análisis se observa que existe una correlación positiva entre ambas variables, pero ésta es más clara cuando se realiza el análisis usando el logaritmo de la conductividad, dando un valor de r más alto. En la figura 6 se pueden localizar a los sitios de menor pH y menor conductividad eléctrica hacia la parte inferior izquierda y aquellos con valores mas altos de ambas variables hacia la parte superior derecha, apreciándose el gradiente que existe en estos dos parámetros entre los 44 sitios.

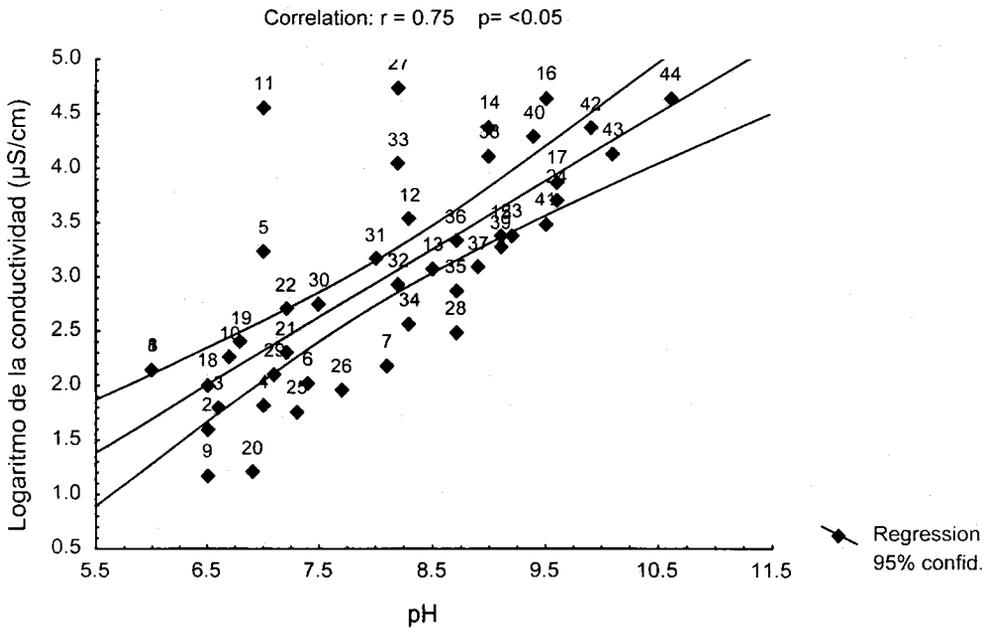


Figura 6. Gráfica de correlación entre pH y el logaritmo de la conductividad para los 44 sitios, basada en la matriz MSA (Tabla AIII.4).

Análisis de Clasificación tipo Joining tree clustering. Con la matriz MSA de sitios vs. parámetros ambientales (Tabla AIII.4), se realizó un análisis de clasificación (tipo *Joining tree clustering*). El dendograma obtenido muestra una clasificación de los sitios en cinco grupos MSA-I a MSA-V que siguen el gradiente de conductividad eléctrica entre los sitios (Figura 7).

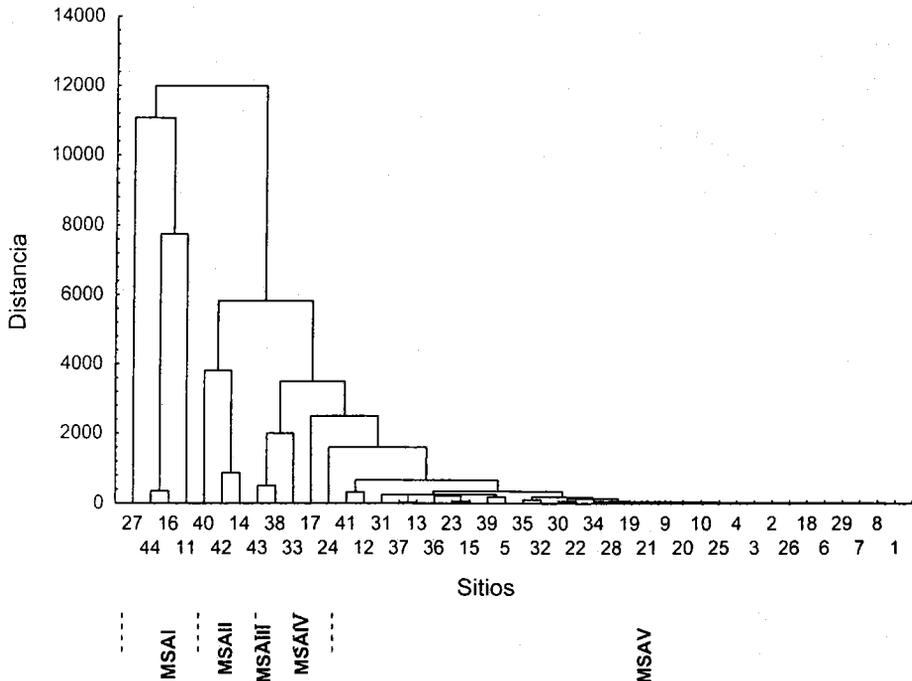


Figura 7. Dendrograma del análisis de clasificación (tipo *Joining tree clustering*) de los sitios y sus parámetros ambientales (pH y conductividad eléctrica), se basado en la matriz MSA (Tabla AIII.4). En la figura se muestra los cinco grupos MSA-I a MSA-V de sitios.

El grupo MSA-I representa la división principal en el dendrograma, donde se separan cuatro sitios (27, 44, 16, 11), que son los de mayor conductividad eléctrica. Al localizar estos sitios en la figura 6 se puede apreciar claramente que es la alta conductividad eléctrica, más que el valor de pH, lo que caracteriza a estos sitios. El grupo MSA-II incluye tres sitios (40, 42 y 14) que son los siguientes en

conductividad eléctrica. El grupo MSA-III, formado por tres lagos (43, 38 y 33) y el grupo MSA-IV, con dos (17 y 24), siguen en el gradiente de conductividad eléctrica. El resto de los sitios (32) quedan juntos en el grupo MSA-V, y representan los ambientes de menor conductividad eléctrica.

Con la matriz MSE de sitios vs especies se realizó otro análisis de clasificación (tipo *Joining tree clustering*). El dendrograma obtenido (Tabla AIII.6) muestra una clasificación de los sitios con base en las especies presentes en ellos. La clasificación divide a los sitios en los grupos MSE-I a MSE-IV (Figura 8), los cuales presentan entre 9 y 12 sitios cada uno.

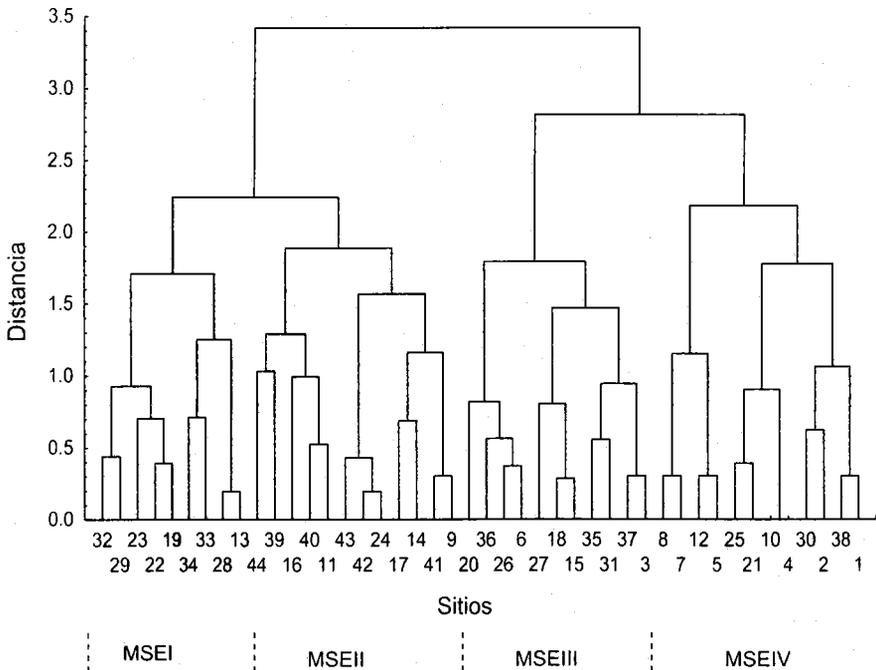


Figura 8. Dendrograma del análisis de clasificación (tipo *Joining tree clustering*) de los sitios y las especies (presencia / ausencia), basado en la matriz MSE (Tabla AIII.6). Los sitios se encuentran divididos en los grupos MSE I-IV.

De los cuatro grupos formados (Figura 8) el grupo MSE-II, con 12 sitios, concentra a los lagos de mayor conductividad eléctrica. Estos 12 sitios corresponden a los lagos clasificados en los grupos MSA-I a MSA-IV (Figura 7), que en la figura 6 se agrupan hacia la parte superior derecha de la grafica, confirmando que este grupo se forma con los lagos de mayor conductividad eléctrica. Los grupos restantes, MSE-I, MSE-III y MSE-IV (Figura 8), contienen un total de 32 lagos, los cuales corresponden en su mayoría al grupo MSA-V (Fig 7) y representan a los de menor conductividad eléctrica que en la figura 6 se localizan hacia la parte inferior izquierda. Únicamente los sitios 27, 33 y 38 se salen de este patrón, ya que estos sitios tienen alta conductividad eléctrica, por lo que son incluidos en los grupos MSA-I y MSA-III de la figura 7, pero en este análisis quedan dentro de los grupos que contienen los sitios de baja conductividad (MSE-I, MSE-III y MSE-IV, Figura 8).

Análisis de clasificación TWINSPAN. La matriz MSE de datos sitios vs. ausencia / presencia de especies (Tabla AIII.6) también fue analizada mediante el programa *TWINSPAN* (Figura 9). En el dendograma obtenido se definieron 3 grupos de sitios denominados como MSEs1- MSEs-3 y 4 grupos de especies denominados como MSEe 1a, 1b, 2, 3 y 4. En ambos grupos se presenta un elemento aislado (*outlier*) que corresponde con el sitio 44 y la especie *Navicula elkab* O. Müller.

El grupo MSEs-3 contiene 7 sitios y junto con el sitio aislado o *outlier* (sitio 44) concentran ocho sitios de alta conductividad eléctrica. Esta clasificación correlaciona con los grupos detectados en las clasificaciones anteriores ya que estos ocho sitios pertenecen a los sitios MSA-I a MSA-IV, (Figura 7) y MSE-II, (Figura 8), en donde se concentran los sitios de alta conductividad eléctrica. En este análisis, en el grupo MSEs-3 (Figura 9) quedaron excluidos los sitios 14, 17, 27, 33 y 38 que también tienen alta conductividad eléctrica y que en la Figura 7 pertenecen a los grupos que concentran este tipo de sitios: MSA-I a -IV. Por otro lado, en este análisis, los grupos MSEs-1 y MSEs-2 (Figura 9) concentran a los sitios de menor conductividad eléctrica que correlacionan con los sitios MSA-V (Figura 7) y MSE-I, MSE-III y MSE-IV (Figura 8).

En cuanto a la clasificación de las especies (Figura 9), en éste análisis se separa la especie *N. elkab* (*outlier*) y se formaron cuatro grupos (MSEe-1 a MSEe-4), con el grupo MSEe-1 dividido en dos subgrupos MSEe-1a y MSEe-1b. La especie *N. elkab* únicamente se localiza en el sitio 44, que es uno de los de mayor conductividad eléctrica y que en nuestra base de datos solo contiene a esta especie, razón por la que ambos (especie y sitio) son identificados como aislados o *outliers*. Los grupos de especies MSEe-1b que incluyen a *Achnanthes lanceolata* (Brébisson) Grunow in Cleve y Grunow y *Punctastriata pinnata* (Ehrenberg) Williams y Round y MSEe-3 que incluyen a *Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson, *Achnantheidium exiguum* (Grunow) Czarn, *Rhopalodia musculus* (Kützing) O. Müller, *R. gibberula* (Ehrenberg) O. Müller, *Nitzschia frustulum* (Kützing) in Cleve y Grunow y *Campylodiscus clypeus* Ehrenberg contienen a las seis únicas especies que están presentes en los sitios de mayor conductividad eléctrica del grupo de sitios MSEs-3, aunque también pueden estar en otros sitios. Estas especies son *Anomoeoneis sphaerophora* (Ehrenberg) Pfitzer, *Punctastriata pinnata*, *Rhopalodia musculus*, *R. gibberula*, *Nitzschia frustulum* y *Amphora lybica* Ehrenberg. Los grupos de especies MSEe-1a, MSEe-2 y MSEe-4 no están presentes en los sitios de alta conductividad eléctrica del grupo de sitios MSEs-3 (Figura 9). Los grupos de especies MSEs-2 y MSEs-4 están, además, mejor representados en el

grupo de sitios MSEs-2, mientras que el grupo de especies MSEe-1a está mejor representado en el grupo de sitios MSEs-1.

En términos ecológicos lo que esta clasificación nos aporta es que las seis especies de los grupos MSEe-1b y MSEe-3, junto con *Navicula elkab* son las especies tolerantes a los valores mas altos de conductividad eléctrica, mientras el resto de las especies (grupos MSEe1a, MSEe-2 y MSEe-4) no lo son. Las especies de los grupos MSEe-1a, MSEe-2 y MSEe-4 (que están ausentes del grupo de sitios de alta conductividad MSEs-3) parecen estar mejor representadas en alguno de los grupos de sitios ya sea el MSEs-1 o el MSEe-2, pero en términos ecológicos no se puede diferenciar a los sitios que forman estos dos grupos, ya que en ambos grupos existen sitios con un amplio rango de valores tanto de pH como de conductividad eléctrica (si bien excluyen los valores más altos de conductividad eléctrica, como ya se explicó). Debido a esto no es posible traducir la distribución de las especies entre estos grupos de sitios a preferencias ecológicas. En realidad estas especies parecen tener una distribución amplia en el espectro de pH y conductividad, excluyendo tan solo los valores extremos de conductividad eléctrica. Cabe mencionar que las especies más importantes del registro de TXB, *Cyclotella meneghiniana* y *Nitzschia palea* están juntas en el grupo de especies MSEe-2, por lo que se infiere que ambas especies tienen una amplia distribución en cuanto a valores de pH y conductividad eléctrica, pero no son tolerantes a los valores mas altos de conductividad eléctrica.

Análisis de Componentes Principales. Con la matriz MSE de sitios vs. especies (Tabla AII.6) también se realizó un análisis de componentes principales con el programa *Statistica* (Figura 10), mediante el cual se distingue un grupo de 6 especies que son *Cyclotella meneghiniana*, *Gomphonema parvulum* (Hornemann) Brébisson, *Nitzschia frustulum*, *N. amphibia*, *Staurosira construens* (Ehrenberg) Williams y Round y *Epithemia adnata* que correlaciona con los valores más bajos del eje del Factor 1 y el resto de las especies se distribuyen más o menos homogéneamente a lo largo de los valores medios a altos del eje del Factor 1.

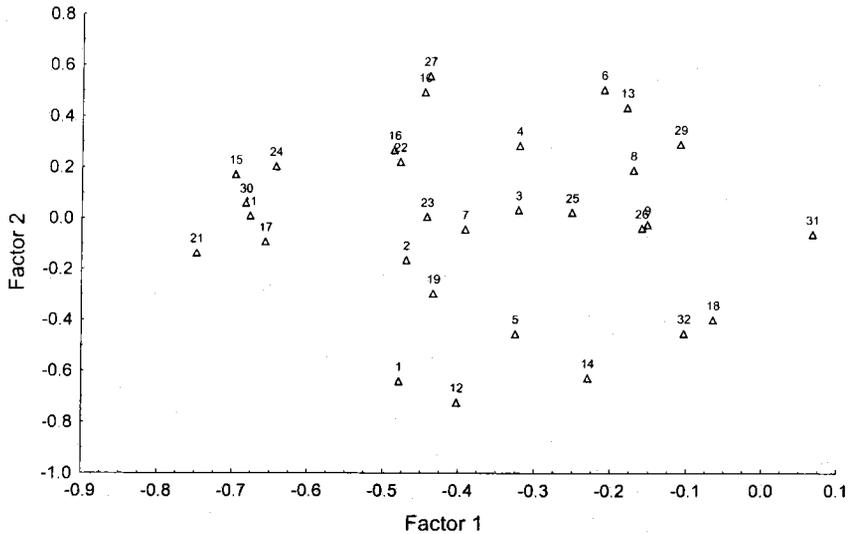


Figura 10. Análisis de componentes de factores (F1 versus F2), basado en la matriz MSE (Tabla AIII.6). El análisis se realizó con base en la ausencia y presencia de las 32 especies en los 44 sitios.

Al tratar de correlacionar este grupo de 6 especies con los grupos de especies formados en el análisis de clasificación TWINSpan no se observa una buena correspondencia entre ellos, ya que estas 6 especies con bajos valores del Factor 1 no se aglutinan en un solo grupo sino en tres, cuatro en el grupo de especies MSEe-2, una en el MSEe-3 y otra en el MSEe-4 (Figura 9). Tomando en cuenta que cuatro de las 6 especies se concentran en el grupo MSEe-3 y una en el MSEe-4, y que ambos grupos se caracterizan por contener especies no tolerantes a los valores más altos de conductividad eléctrica, se puede inferir que este grupo de 6 especies se caracteriza por la misma tendencia a no tolerar altos valores de conductividad eléctrica; sin embargo esta explicación es difícil de sostener dado que las otras especies pertenecientes a los grupos MSEe-3 y MSEe-4 (Figura 9) no son incluidos en el grupo de especies con valores bajos en el eje del Factor 1. Esto hace difícil aventurar una explicación ecológica, en términos de la distribución de estas especies por su afinidad a ciertos valores de pH o conductividad eléctrica. Quizás sea otra la variable ecológica

que esté separando a este grupo de 6 especies del resto de las especies en la matriz, pero dado que no se cuentan con más datos ecológicos, no es posible identificarla. En este grupo de 6 especies con valores bajos en el eje del Factor 1 se encuentra una de las dos especies importantes en el registro TXB, *C. meneghiniana*. Este análisis es el único de los que se realizaron en el cual se separa a *C. meneghiniana* de la otra especie dominante en el registro, *N. palea*.

VI.4 Reinterpretación paleolimnológica del registro TXB

En Ramírez-Nava (2002) el registro paleolimnológico TXB del lago de Texcoco se dividió en cuatro zonas, con base en un análisis de clasificación realizado con la abundancia relativa de cada especie y su distribución a lo largo de la secuencias del núcleo, siendo la zona IV la más antigua (Figura 3).

Las zonas IV, III y I del registro están dominadas por la presencia de *Cyclotella meneghiniana*, mientras que la zona II tiene como especie dominante a *N. palea*. Esto marca a la zona II como una zona muy diferente del resto del registro. Con base en los análisis de clasificación realizados previamente se puede inferir que ambas especies tienen una distribución amplia en cuanto a pH y conductividad eléctrica, pero que no toleran valores extremadamente altos de conductividad eléctrica. Solo el análisis de componentes principales se separa a *C. meneghiniana* junto con otras 6 especies del resto de las diatomeas presentes en el registro TXB, pero no es claro a cual parámetro ecológico puede obedecer esta separación. Es probable que otro gradiente ecológico que no sea ni el pH ni la conductividad eléctrica sea responsable de esta división. Esta información no facilita la interpretación paleolimnológica del registro, pues ambas especies dominantes tienen una distribución similar y muy amplia, haciendo difícil comprender que factor ecológico caracteriza a la zona II del resto del registro.

Analizando las especies de menor abundancia en el registro TXB se puede observar que además de *C. meneghiniana* y *N. palea*, *Amphora libyca*, *Campylodiscus*

clypeus Ehrenberg, *Cocconeis placentula* var. *lineata* (Ehrenberg) Van Heurk, *Epithemia adnata*, *E. turgida*, y *Surirella* aff. *peisonis* Pantocsek están presentes en todas las zonas del registro, y son por lo tanto las especies características del registro TXB. En la zona IV están presentes las especies *Amphora coffaeiformis* (Agardh) Kützing, *Navicula elkab* y *Chaetoceros* sp. En el caso de *N. elkab* es una especie identificada en todos los análisis de clasificación como la más tolerante a las condiciones de mayor conductividad eléctrica en la base de datos. Su presencia en la zona IV del registro TXB sugiere que esta parte de la secuencia representa la etapa de mayor conductividad eléctrica.

Por otro lado la zona II, la única en la que domina *N. palea* en el registro TXB, se caracteriza por tener una mayor diversidad de especies entre las que se encuentran *Achnantheidium exigum*, *Alaucoseira granulata*, *Pseudoturosira brevistriata*, *P. pinnata*, *Nitzschia constricta*, *N. amphibia* y *Rhopalodia gibba*. En la zona I vuelve a dominar *C. meneghiniana*, pero esta zona tiene menor diversidad que las otras zonas. Las especies *Anomoeoneis sphaerophora*, *Denticula valida* (Pedicino) Grunow in Van Heurck, *Pseudostaurosira brevistriata* y *Rhopalodia musculus*, que se distribuyen en todas las otras zonas no están presentes en la zona I. De estas cuatro especies, dos (*A. sphaerophora*, *R. musculus*) pertenecen al grupo de especies identificado en los análisis de clasificación como aquellas de afinidad a los ambientes de mayor conductividad eléctrica, y en realidad ninguna otra especie de este grupo se distribuye en la zona I, lo que hace suponer que la etapa correspondiente a la zona I representa una leve disminución en la conductividad eléctrica del lago de Texcoco.

En términos de la interpretación paleolimnológica del registro TXB, los análisis estadísticos realizados utilizando las matrices generadas con la base de datos de diatomeas potencialmente podrían haber proporcionado información útil para la interpretación del registro. Sin embargo, la presentación de los datos solo como ausencia / presencia y la limitante a incluir solo dos variables ecológicas (pH y conductividad eléctrica) limitaron esta posibilidad. De los análisis realizados se concluye que las dos especies dominantes en el registro tienen una distribución en

cuanto a pH y conductividad eléctrica bastante similar. Si bien con los análisis realizados se identifica un grupo de seis especies como las más afines a los ambientes de más alta conductividad eléctrica, su distribución en el registro no es consistente con las asociaciones por zonas, y prácticamente en cada zona hay por lo menos una de estas especies indicadoras de alta conductividad, lo que sugiere que Texcoco fue, a lo largo de su historia, un sitio de elevada conductividad eléctrica y por lo tanto de características salobres. La presencia de *N. elkab* en la base del registro (zona IV) identifica esta etapa como la de más alta la conductividad eléctrica. La ausencia de especies del grupo identificado en los análisis de clasificación como con mayor afinidad a los ambientes de elevada conductividad eléctrica sugiere una leve disminución de este parámetro hacia la cima (zona I).

La naturaleza del intervalo marcado por la zona II permanece poco clara. En Ramírez-Nava (2002) se sugería que esta fase representaba un intervalo en que el sitio de estudio estaba fuera del límite del lago principal, y por lo tanto más susceptible a la influencia de aportes de ríos o manantiales que localmente disminuían la salinidad del cuerpo de agua. Sin embargo los resultados de los análisis estadísticos aquí presentados, nos indican que hay poca diferencia entre la distribución de las especies características de la zona II con respecto a estos parámetros de pH y conductividad eléctrica en comparación con el resto de las especies en el registro, por lo que esta primera interpretación no es sostenida a la luz del presente trabajo. Es por ello que proponemos ahora que sea otro factor, no ligado necesariamente a cambios en los valores de pH y conductividad eléctrica en el cuerpo de agua. Un factor posible puede ser el nivel de nutrientes del lago, ya que *N. palea* es frecuentemente reportada como una especie de ambientes eutróficos, pero esta propuesta debe ser validada.

VII. CONCLUSIONES

- El modelo de la base de datos propuesto permite la sistematización de los datos, en donde se organizan, almacenan y clasifican los datos existentes sobre diatomeas continentales modernas y de igual manera se brinda un espacio a la continua generación de nuevos datos.
- El modelo de la base de datos es una contribución a la conformación de un acervo biológico, en el cual se pueda registrar la distribución ambiental y ecología de especies modernas de diatomeas continentales, con especial interés en reportar a estas conforme a las condiciones climáticas y limnológicas que se presentan en México.
- El manejo ordenado de los datos de distribución ecológica de diatomeas modernas a través de la utilización de un sistema de base de datos, visto como una herramienta metodológica, facilita y apoya las interpretación paleolimnológica y permite generar matrices sobre la cuales se pueden realizar análisis estadísticos.
- El gradiente principal que se detecta mediante los análisis estadísticos entre los 44 sitios incluidos en la base de datos es la conductividad eléctrica, la cual esta correlacionada positivamente con el pH de los sitios.
- Los análisis de clasificación son consistentes en separar un grupo de ocho sitios como aquellos de mayor conductividad eléctrica.
- Los análisis de clasificación identifican a *Navicula elkab* como una especie que se presenta de manera muy clara sólo en el sitio de mayor conductividad eléctrica de la base de datos.
- Los análisis de clasificación detectan un grupo de seis especies como las más tolerantes a estos ambientes de mayor conductividad eléctrica. Grupos MSEe-1b (*Achnanthes lanceolata* y *Punctastriata pinnata*) y MSEe-3 (*Epithemia adnata*,

Achnanthydium exiguum, *Rhopalodia musculus*, *R. gibberula*, *Nitzschia frustulum* y *Campylodiscus clypeus*).

- Las especies dominantes *Nitzschia palea* y *Cyclotella meneghiniana*, distribuidas de manera alternada a lo largo del registro sedimentario TXB, viven en ambientes muy similares de pH y conductividad, dentro de un amplio rango de valores para ambas variables, pero sin tolerar los valores más extremos.
- Los resultados obtenidos apoyan la idea de que en el Lago de Texcoco prevalecieron condiciones limnológicas con poca variación de pH y conductividad eléctrica durante los últimos ca. 34 ka AP, siendo la primera etapa del registro (zona IV) la que represente el momento de más alta conductividad eléctrica del registro por tener la presencia de *N. elkab* y que la zona I que carece de especies "indicadoras" de alta conductividad eléctrica, represente una etapa valores menores de esta variable.
- No queda clara la naturaleza del intervalo representado por la zona II. Es posible que sea otro factor, no ligado a cambios en los valores de estos parámetros ambientales en el cuerpo de agua, el cual determinó la composición y abundancia de las especies en las zonas paleolimnológicas del registro TXB. Las especies *Nitzschia palea* y *Cyclotella meneghiniana* pueden habitar en un amplio intervalo de ambientes, posiblemente la única diferencia en términos ecológicos es que *N. palea* tolera a ambientes eutróficos.
- El comportamiento de los parámetros pH y conductividad en las cuencas hidrológicas de los sitios puede estar influenciado por otros parámetros físicos (temperatura), química (infiltración de elementos, reserva alcalina, etc) y biológicos (actividad de los organismos) e inclusive por la actividad antropogénica (ganadería, cultivos, desechos industriales, etc.), los cuales no pueden ser identificados en este estudio debido a que no son reportados en la literatura.

VIII. CONSIDERACIONES FINALES Y PERSPECTIVAS

- Es importante que se realicen estudios a nivel global y especialmente en México en los cuales se generen datos de parámetros limnológicos, para que de esta manera se pueda conocer y documentar las condiciones ambientales en las que las diatomeas viven y ahondar en su ecología de manera sistemática.
- Otros de los usos potenciales que ofrece el modelo, dependiendo de la disponibilidad y calidad de los datos, se encuentran en la elaboración de estudios de abundancia, composición de especies, caracterización y comparación de floras de diatomeas, acervo curatorial y de micrografías y análisis multivariados de parámetros limnológicos en sitios diferentes, entre otros.
- El uso de la base de datos, aún con las limitaciones de sólo usar datos de presencia usencia y de pH conductividad, permitieron hacer una reinterpretación mas objetiva de las características que dominaron en Texcoco durante los últimos 34, si los datos disponibles fueran mas completos la calidad de esta interpretación seria mucho mejor.

IX. LITERATURA CITADA

- Alcocer J. y Williams W. 1996. Historical and recent changes in Lake Texcoco, a saline lake in Mexico. *International Journal of Salt Lake Research* **5**: 45061.
- Arbiteboul S., Hull R. y Vianu V. 1995. *Foundations of Databases*. Addison-Wesley.
- Battarbee, R. 1986. Diatom analysis. En: Battarbee R. Ed. *Handbook of Holocene Palaeoecology*. John Wiley and Sons.
- Battarbee R. 2000. Paleolimnological approaches to climate change, with special regard to the biological record. *Quaternary Science Reviews* **19**: 1070124
- Battarbee R., Jones V., Flower R., Cameron N., Bennion H., Carvalho L. y Juggins S. 2001. Diatoms. En: Smol P., Birks J. y Last W. Eds. *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*. Vol. 3. Kluwer Academic Publishers, 265-280.
- Bautista A. 1992. Una metodología para el diseño de una base de datos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Bigler C. y Hall R. 2002. Diatoms as indicators of climatic and limnological charge in Swedish Lapland: a 1000lake calibration set and its validation for paleoecological reconstructions. *Journal of Paleolimnology* **27**: 970115.
- Bradbury J. 1971. Paleolimnology of Lake Texcoco, Mexico evidence from diatoms. *Limnology and Oceanography* **16**: 180-200.
- _____. 1989. Late Quaternary lacustrine paleoenvironments in the Cuenca de Mexico *Quaternary Science Reviews* **8**: 75-100.
- _____. 1997. Sources of glacial moisture in Mesoamerica. *Quaternary International* **43/44**: 97-110.
- _____. 1999. Continental diatoms as indicators of long-term environmental change. En: Stormer E. y Smol P. Eds. *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Ed. Cambridge University Press, 169-182.
- Caballero M. 1995. *Late Paleolimnology of Lake Chalco, The Basin of México*. Ph.D. Tesis Univ. Of Hull, UK. 286 pp.
- Caballero M. y Ortega B. 1998. Lake levels since about 40,000 years Ago at Lake Chalco, near Mexico City. *Quaternary Research* **50**: 69-79.

- Caballero M., Ortega B., Valadez F., Metcalfe S., Macías J. y Suguiera Y. 2002. Sta. Cruz Atizapán; a 220ka lake level record and climatic implications for the late Holocene human occupation in the Upper Lerma Basin, Central Mexico. *Paleography, Paleoclimatology, Paleoecology* **186**: 217-235.
- Carney H., Hunter D. y Goldman C. 1994. Seasonal, Interannual, and long-term dynamics of planktonic diatoms oligotrophic Lake Tahoe. En: Kocioclek J. Ed. *Proceedings of the 11 th International Diatom Symposium*. California Academy of Sciences, 621-629.
- Castillo A. 2000. Estudios florísticos sobre vegetación costera del Golfo y Caribe de México: un enfoque metodológico a partir de bases de datos. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 148 pp.
- Cocquyt C. 1998. *Diatoms from the Northern Basin of Lake Tanganyika*. Bibliotheca Diatomologica 39. J. Cramer. Berlin.
- Cox E. 1996. *Identification of Freshwater Diatoms from Live Material*. Chapman y Hall.
- Cumming B., Wilson S., Hall R. y Smol J. 1995. *Diatoms from British Columbia (Canada) Lakes and Their Relationship to Salinity, Nutrients and Other Limnological Variables*. Bibliotheca Diatomologica 31. J. Cramer. Berlin.
- Cuna E., Vilaclara G. y Caballero M. 2003. Las diatomeas del Nevado de Toluca, México. Congreso de Ficología Yucatán, Mérida 7014 Abril 2003.
- Darley W. 1982. *Algal Biology: a physiological approach*. Blackwell Scientific Publications.
- Davies S., Metcalfe S., Caballero M. y Juggins S. 2002. Developing diatom-based transfer functions for Central Mexican lakes. *Hidrobiología* **467**: 199-213.
- Date J. 1986. *Introducción a los sistemas de base de datos*. Addison-Wesley Iberoamerica.
- Date J. 1987. *Base de datos. Una guía práctica*. Addison-Wesley Iberoamerica.
- Deen M. 1985. *Fundamentos de los sistemas de bases de datos*. Gustavo Gill.
- DeNicola D. 2000. A review of diatoms found in highly acidic environments. *Hydrobiologia* **433**: 111-122.
- Dixit S., Smol J., Kingston J. y Charles D. 1992. Diatoms. Powerful indicators of Environmental Change. *Environ. Sci. Technol.* **26**: 23032.

- Dixit S., Smol J., Charles D., Hughes R., Paulsen S. y Collins G.. 1999. Assessing water quality in the lakes of the northeastern United States using sediments diatoms. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **56**:131-152.
- Du Buf H. y Bayer M. 2002. *Automatic diatom identification*. Word Scientific.
- Ehrlich A. 1995. *Atlas of the inland water diatom flora of Israel*. The Israel Academy of Sciences and Humanities. Israel.
- Figuroa J. 2002. *Guías y textos de cómputo. Manejador de bases de datos Access*. DGSCA, UNAM.
- Flores I. 1981 y 1986. *Arquitectura de bases de datos*. El Ateneo. México.
- Frey D. 1988. What is Paleolimnology? *Journal of Paleolimnology* **1**: 508.
- Fritts H. 1991. Reconstruction Large-Scala Climatic patterns for Free0Rin Data. University of Arizona.
- Fritz S., Juggins S., Battarbee R. y Engstrom D. 1991. Reconstruccion of past changes in salinity and climate using a diatom0base transfer function. *Nature* **352** Agosto.
- Fritz S., Cumming B., Gassé F. y Laird K. 1999. Diatoms as indicators of hydrologic and climatic change in saline lakes. En: Stormer E. y Smol P. Eds. *The diatoms: applications the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, 41-72.
- García E. 1996. Diversidad climático vegetal en México. En: *Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México*. CONABIO-UNAM, 15-27.
- García E. y Cardoso M. 1982. Vegetation and climate in the Basin of México. En: *Latin American Regional Conference IGU, Brazil*. Instituto de Geografía UNAM, 19-25.
- Gassé F. 1980. *Flore des diatomée lacustres Plio0Pléistocenes du Gadeb (Ethiopie). Systématique Paleoeologie, Biostratigraphie*. Revue Algologique. Memoire 3.
- Gassé F y Tekaia F. 1983. Transfer functions for estimating paleoecological condicions (pH) from East African diatoms. *Hydrobiologia* **103**: 85-90.
- Gassé F. 1986. *East African diatoms. Taxonomy, ecological distribution*. J. Cramer. Berlín.
- Gassé F., Barker P., Gell P., Fritz S. y Chalié F.. 1997. Diatom0inferred salinity in paleolakes: an indirect tracer of climate change. *Quaternary Science Reviews* **16**: 547-563.

- Gell P. y Gassé F. 1994. Relationships between salinity and diatom flora from some Australian saline lakes. En: Kociolek J. Ed. Proceedings of the 11 th International Diatom Symposium. California Academy of Sciences, 631-647.
- Grimm E. 1993. *Tilia Graph 2.1*. Illinois State Museum, Springfield.
- Hawryszkiewicz T. 1994. *Análisis y diseño de bases de datos*. Limusa.
- Hill M. 1979. TWINSPAN. A FORTRAN program for averaging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and the attributes. Ecology and Systematics. Cornell University Ithaca, New York.
- Hustedt F. 1930. *Die Kieselalgen. Deutschlands, Österreichs und der Schweiz*. Vol. I-III. Koeltz Scientific.
- Kolbe R. 1927. *Zur Ökologie, Morphologie, und Systematik der Brackwasser Diatomeen*. [The ecology, morphology and systematics of the brackish water diatoms]. Pflanzenforschung. (Jena) 7: 1-146.
- Koleff P. 1997. *Introducción a las bases de datos en la Biología comparada contemporánea*. Facultad de Ciencias. UNAM. México.
- Lampert W. y Sommer U. 1997. *Limnoecology: The Ecology of Lakes and Streams*. Oxford University Press.
- Lange-Bertalot H. 2001. *Diatoms of Europe. Vol. 2. Navicula sensu stricto 10 Genera Separated from Navicula sensu lato Frustulia*. A.R.G. Ganter Verlag K.G. Germany.
- Lange C. y Tiffany M. 2002. The diatom flora of the Salton Sea, California. *Hydrobiologia* 473: 179-201.
- Last W. y Smol. J. 2001. An introduction to basin analysis, coring, and chronological techniques used in paleolimnology. En: Last W y Smol J. Eds. Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques. Vol. 1. Kluwer Academic Publishers, 1-5.
- Lee R. 1980. *Phycology*. Cambridge University Press.
- Lecoite C., Coste M. y Prygiel J. 1993. "Omnidia": software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. *Hydrobiologia* 269-270: 509-513.
- Lepistö L. 1990. Some Centric Diatoms as Indicators of Water Quality in Finnish Lakes. En: Simola H. Ed. Proceedings of the tenth International Diatom Symposium. Koenigstein, 499-504.

- Lozano-García S. y Ortega-Guerrero B. 1998. Late Quaternary environmental changes of the central part of the Basin of Mexico; correlation between Texcoco and Chalco basins. *Review of Paleobotany and Palynology* **99**: 77-93.
- Lowe R. 1974. *Environmental requirements and pollution tolerance of freshwater diatoms*. National Environmental Research Center.
- Margalef R. 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona.
- Markgraf E. 1989. Paleoclimates in Central and South America pollen. *Quaternary Science Reviews* **8**: 1-24.
- Melack J. y Kilham P. 1974. Photosynthetic rates of phytoplankton in East African alkaline, saline lakes. *Limnol. Oceanogr.* **19**: 743-755.
- Metcalfe S., O'Hara S., Caballero M. y Davies S. 2000. Records of Late Pleistocene-Holocene climatic change in Mexico – a review. *Quaternary Science Reviews* **19**: 699-721.
- Monroy E. 2004. Hidrología del embalse de Valle de Bravo, México. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México. 98 pp.
- Novelo E. y Tavera R. 1993. *A computerized information system for phycological floras*. (No publicado).
- Ortega-Guerrero, B. y A. Newton. 1998. Geochemical characterisation of late Pleistocene-Holocene Tefra layers from the Basin of Mexico, Central Mexico. *Quaternary Research* **50**: 90-106.
- Patrick R. y Reimer C. 1966. *The diatoms of the United States*. The Academy of Natural Sciences of Philadelphia.
- Pentecost A. 1984. *Introduction to Freshwater Algae*. Richmond Publishing. England.
- Pérez C. 2003. *Domine Microsoft. Access 2002/2000*. Alfaomega. México.
- Ramírez-Nava M. 2002. *Cambios paleolimnológicos en el Lago de Texcoco durante los últimos ca. 34,000 años con base al análisis de diatomeas*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. 43 pp.
- Round F., Crawford R. y Mann D. 1990. *The diatoms. Biology y Morphology of the genera*. Cambridge University Press.

- Saarinen T. y Petterson G. 2001. Image analysis techniques. En: Last W y Smol J. Eds. Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Vol. 2. Physical and Geochemical Methods. Kluwer Academic Publishers, 14-27.
- Sánchez D. y Carbonell I. 2002. *Microsoft Access 2002*. McGraw-Hill. España.
- Sandoval A. 2000. Análisis polínico y consideraciones paleoambientales de un sondeo en el exlago de Texcoco, Cuenca de México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, UNAM. 198 pp.
- SRH (Secretaría de Recursos Hidráulicos). 1971. *Estudio agrológico especial del Ex-Lago de Texcoco*, Estado de México. SRH. México.
- Sládeček V. 1973. *System of water Quality from the Biological Point of view*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Sládeček V. 1986. Diatoms as Indicators of Organic Pollution. *Acta hydrochim. Hydrobiol.* **14**: 555-566.
- Simonsen R. 1979. *The Diatom System: Ideas on Phylogeny*. J. Cramer.
- Shoeman F. 1973. *A systematical and ecological study of the diatom flora of Lesotho with special reference to the water quality*. V y R. Pretoria.
- Stat Soft. 1998. *Statistica for Windows*. Statistica II, StatSoft, Inc. Tulsa.
- Stevenson R. y Pan Y. 1999. Assessing environmental conditions in rivers and streams with diatoms. En: Stormer E. y Smol J. Eds. *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, 11-40.
- Steet-Perrott F. 1985b. Temporal variations in lake levels since 30,000 yr B.P. –a index of the global hydrological cycle. Hansen J. and Takahashi T. Eds. En: *Climate Processes and Sensitivity. American Geophysical Union* 118-129.
- Stormer E y Smol P. 1999. *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press
- Vallentyne J. 1990. *Introducción a la Limnología. Los lagos y el hombre*. Omega. Barcelona.
- Vilaclara-Fatjó G. 2001. Datos Lago Verde, Tuxtlas Ver. (No publicados).
- Vilaclara-Fatjó G. 2002. Datos Santa María del Oro (No publicados).
- Vilaclara-Fatjó G. 2003. Datos Zirahuén (No publicados).

- Vilaclara G., Gómez N. y Oliva G. 1991. Estudio de las algas del Lago Atexcac, Puebla. Manuscrito 1991-1992.
- Vilaclara G., Chávez M., Lugo A., González H. y Gaytán M. 1993. Lagos cràter. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **25**: 435-440.
- Vilaclara-Fatjó G., Chávez-Ortega M. y Lugo-Vázquez A. 2002. Valores guía de calidad de aguas continentales naturales y contaminadas con materia orgánica según el sistema de saprobios. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* **5**: 14-19.
- Vyverman W. 1991. *Diatoms from Papua New Guinea*. Bibliotheca Diatomologica 22. J. Cramer. Berlin.
- Werner D. 1977. *The biology of diatoms*. Botanical Monographs. Vol. 13. University of California Press.
- Wetzel R. 2001. *Limnology. Lake and River Ecosystems*. Academic Press.
- Williams D. y Round F. 1987. Revision of the genus *Fragilaria*. *Diatom Research* **2**: 267-288.
- Wolin J. y Duthie H. 1999. Diatoms as indicators of water level change in freshwater lakes. En: Stormer E. y Smol J. Eds. *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, 183-202.
- Wunsam S. y Bowman J. 2001. Economical digital photomicroscopy. *Journal of Paleolimnology* **25**: 399-403.

SITIOS WEB

Base de datos ADIAC (Automatic Diatom Identification and Classification).

<<http://rbg-web2.rbge.org.uk/ADIAC/db/adiacdb.htm>> [Consulta: 13 de octubre de 2005]

Algae Image Database.

<<http://diatom.acnatsci.org/AlgaeImage/SearchCriteria.asp>> [Consulta: 13 de octubre de 2005]

International Code of Botanical Nomenclature. Electronic version.

<<http://www.bgbm.fuberlin.de/iapt/nomenclature/code/SaintLouis/0001ICSLContents.htm>> [Consulta: 11 de Diciembre de 13 de octubre de 2005]

Base de datos EDDI (The European Diatom Database).

<<http://craticula.ncl.ac.uk/Eddi/jsp/index.jsp>> [Consulta: 13 de octubre de 2005]

Base de datos *Hanna*.

<http://www.calacademy.org/research/diatoms/hanna_db/searchtaxloc.html>

[Consulta: 13 de octubre de 2005]

Base de datos OMNIDIA

<http://perso.club-internet.fr/clci/tour_guidefr.htm> [Consulta: 13 de octubre de 2005]

Apéndice I

Glosario de términos de categorías ecológicas para diatomeas continentales

Espectro de *Halobion* (Halobiedad). Es un concepto relativo a la concentración de sales en el agua. La clasificación que aquí se presenta está basada en la modificación de Lowe (1974) al sistema de Kolbe (1927).

- Oligohalobia. Especie que viven en ambientes de agua dulce con concentraciones de sales (Sólidos Disueltos Totales o SDT) menores de 500 mg/l, se divide en:
 - ◆ Halófoba. Especie que sólo tolera muy bajas concentraciones de sales.
 - ◆ Indiferente. Especie que tolera ambientes con bajas concentraciones de sales.
 - ◆ Halófila. Especie que prefiere ambientes con relativamente altas concentraciones de sales (hasta 500 mg/l).
- Mesohalobia. Especie que vive en ambientes salobres con concentraciones de sales de 500 a 30,000 mg/l.
- Euhaloba. Especie que vive en ambientes con concentraciones de sales de 30,000 a 40,000 mg/l.
- Eurihaloba. Especie que vive en ambientes con un amplio intervalo de concentraciones de sales, no es indicadora de halobiedad.

2. Espectro de pH. Este concepto hace referencia a los intervalos de pH que se emplean para describir la distribución de las especies de diatomeas (modificación de Lowe 1974, al sistema de Hustedt, 1930).

- Acidobionte. Especie que vive en ambientes con pH por debajo de 7, su óptimo desarrollo lo tiene en aguas con pH por debajo de 5.5.
- Acidófila. Especie que vive en ambientes con pH no superior a 7, su óptimo desarrollo lo tiene en aguas con pH por debajo de 7.
- Circumneutral (o indiferente). Especie que presenta su óptimo desarrollo en ambientes con pH alrededor de 7.
- Alcalífila. Especie que vive en ambientes con pH alrededor de 7, su óptimo desarrollo lo obtiene en aguas con pH un poco superior a 7.

- Alcalibionte. Especie que vive en ambientes con pH por encima de 7, únicamente habita en aguas alcalinas.
- No indicadora de pH. Especie que puede vivir en ambientes con un amplio intervalo de pH (concepto que no debe confundirse con indiferente *sensu* Hustedt, 1930).

3. Saprobiedad. Es un concepto relativo a la cantidad de materia orgánica, ya sea de origen autóctono o alóctono, en un cuerpo de agua. Dado que el tema de la base de datos son las diatomeas continentales, que usualmente no se encuentran en aguas altamente contaminadas, hemos restringido los niveles usados a los de la Limnosaprobiedad (saprobiedad de aguas naturales poco cargadas de materia orgánica), dejando de lado los de la Eusaprobiedad (modificado de Sládecek, 1973).

- Oligosaprobio. Nivel en donde se da una oxidación completa de la materia orgánica debido a que hay poca materia orgánica.
- Mesosaprobio. Nivel donde la oxidación de la cantidad de materia orgánica es intermedia, se divide en:
 - ◆ Beta-mesosaprobio. Nivel con débil contaminación de origen orgánico.
 - ◆ Alfa-mesosaprobio. Nivel con mayor contaminación orgánica. En parte coincide con la eutrofia en la clasificación trófica (basada en la concentración de nutrimentos).
- Polisaprobio. Nivel que se caracteriza por procesos de putrefacción y degradación de materia orgánica en medio anóxico; el oxígeno usualmente está ausente o bien está presente en muy bajas concentraciones.
- No indicadora de saprobiedad. Especie que tolera intervalos amplios de concentraciones de materia orgánica en descomposición, es decir, aquella que se encuentra en cantidades importantes en más de tres niveles saprobios. En el sistema de saprobios, serían aquellas especies con valor indicador I_i de 1 y 2.

4. Trofismo. Es un concepto que hace referencia al nivel de nutrimentos disponibles para la productividad primaria; tiene varios indicadores que pueden ser clorofila principalmente tipo a, densidad y biomasa de fitoplancton (Margalef, 1983; Vilaclara-Fatjó *et. al.*, 2002).

- Oligotrófica. Adjetivo referente a especies adaptadas a medios con baja concentración de nutrimentos en la zona fótica. Usualmente, estas condiciones implican alta transparencia, Disco de Secchi de más 4 m, menos de 5 $\mu\text{g/l}$ de contenido de clorofila a (Margalef 1983; Vilaclara *et al.*, 2002).
- Mesotrófica. Adjetivo referente a especies adaptadas a condiciones intermedias de cantidad de nutrimentos en la zona fótica. La cantidad de clorofila es superior a 5 $\mu\text{g/l}$, con máximos variables dependiendo de múltiples factores (aunque, en algunos casos, puede ser de hasta 20 $\mu\text{g/l}$); las demás variables también son intermedias entre la oligo- y la eutrofia.
- Eutrófica. Adjetivo referente a especies adaptadas a condiciones altas en la cantidad de nutrimentos en la zona fótica. La cantidad de clorofila es superior a aproximadamente 50 $\mu\text{g/l}$ o, a veces, algo inferior (a partir de 20 $\mu\text{g/l}$), dependiendo de las condiciones del cuerpo de agua, hasta 300 $\mu\text{g/l}$; otra variable indicativa a la que estas especies se encuentran adaptadas a bajas transparencias, usualmente inferiores a 2 m (Monroy, 2004).
- Hipereutrófica. Adjetivo referente a especies adaptadas a condiciones de muy altas cantidades de nutrimentos en la zona fótica. Las especies indicadoras de estas condiciones habitan en sistemas acuáticos con un contenido mayor de 300 $\mu\text{g/l}$ (e inclusive hasta 500 $\mu\text{g/l}$, o más, habiéndose reportado valores tan altos como 5000 $\mu\text{g/l}$ en lagos africanos someros alcalinosódicos) de clorofila a (Melack y Kilham, 1974; Lampert y Sommer, 1997).

Apéndice II

All. 1. Tablas de instancia de las tablas que conforman la BD.

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción del campo	Tamaño del campo	Formato	Máscara de entrada	Nuevos valores	Título	Valor predeterminado	Regla de validación	Texto de validación	Requerido	Indexado
Id_fam	Autonumérico	Id de la Familia (PK)	Entero largo			Incrementalmente	Id Familia					Si (Sin duplicados)
Cl_fam	Texto	Clave de la Familia. Escribir la primera letra del nombre con mayúscula y el resto con minúsculas	22	>< (Mayúsculas y Minúsculas)			Clave Familia				Si	Si (Con duplicados)

Tabla: FAMILIA

Descripción: Familias de diatomeas

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción del campo	Tamaño del campo	Formato	Máscara de entrada	Nuevos valores	Título	Valor predeterminado	Regla de validación	Texto de validación	Requerido	Indexado
Id_gen	Autonumérico	Id del Género (PK)	Entero largo			Incrementalmente	Id Género					Si (Sin duplicados)
Cl_gen	Texto	Clave del Género. Escribir la primera letra del nombre con mayúscula y el resto con minúsculas	18	>< (Mayúsculas y Minúsculas)			Clave del Género				Si	Si (Con duplicados)
Id_fam	Número	Id de la Familia (FK)	Entero largo			Incrementalmente	Id Familia				Si	Si (Con duplicados)

Tabla: GÉNERO

Descripción: Géneros de diatomeas

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción del campo	Tamaño del campo	Formato	Máscara de entrada	Nuevos valores	Título	Valor predeterminado	Regla de validación	Texto de validación	Requerido	Indexado
Id_sp	Autonumérico	Id de la Especie (PK)	Entero largo			Incrementalmente	Id Especie					Si (Sin duplicados)
Cl_sp	Texto	Clave de la Especie	15	< (Minúsculas)			Clave Especie				Si	Si (Con duplicados)
Var_sp	Texto	Variedad de la Especie	15	< (Minúsculas)			Variedad				No	Si (Con duplicados)
Id_gen	Autonumérico	Id del Género (FK)	Entero largo			Incrementalmente	Id Género					Si (Sin duplicados)
Id_autsp	Autonumérico	Id de Autoridad de la Especie (FK)	Entero largo			Incrementalmente	Id de Autoridad de la Especie					Si (Sin duplicados)
Sin_sp	Memo	Sinonimia de la Especie					Sinonimia				No	Si (Con duplicados)
Foto_sp	Objeto OLE	Fotografía de la Especie					Fotografía				No	

Tabla: ESPECIE

Descripción: Especies de diatomeas

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción del campo	Tamaño del campo	Formato	Máscara de entrada	Nuevos valores	Título	Valor predeterminado	Regla de validación	Texto de validación	Requerido	Indexado
Id_autsp	Autonumérico	Id de Autoridad de la Especie (PK)	Entero largo			Incrementalmente	Id Autoridad Especie					Si (Sin duplicados)
Cl_autsp	Texto	Clave de la Autoridad de la Especie	50	>< (Mayúsculas y Minúsculas)			Clave Autoridad Especie				Si	Si (Con duplicados)
Año_autsp	Número	Año de la Autoridad	Entero	Número general	0000		Año				No	Si (Con duplicados)

Tabla: AUTORIDAD-ESPECIE

Descripción: Autoridad de la Especie

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción del campo	Tamaño del campo	Formato	Máscara de entrada	Título	Valor predeterminado	Regla de validación	Texto de validación	Requerido	Indexado
Id_sit	Autonumérico	Id del Sitio (PK)	Entero largo			Id Sitio	0				Si (Con duplicados)
Cl_sit	Texto	Clave del Sitio	30			Clave Sitio				Si	Si (Con duplicados)
Id_rep	Número	Id del Reporte (FK)	Entero largo			Id Reporte				Si	Si (Con duplicados)
Con_sit	Texto	Continente en el que se encuentra el Sitio	12	>< (Mayúsculas y Minúsculas)		Continente	"Norteamérica"		Africa Or Asia Or Centroamérica Or Europa Or Norteamérica Or Oceanía Or Sudamérica	Si	Si (Con duplicados)
Des_sit	Memo	Descripción del Sitio		>< (Mayúsculas y Minúsculas)		Descripción				No	No

Tabla: SITIO

Descripción: Sitio en el cual se reportan especies de diatomeas

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción del campo	Tamaño del campo	Formato	Máscara de entrada	Título	Valor predeterminado	Regla de validación	Texto de validación	Requerido	Indexado
Id_sp	Número	Id de la Especie (PK)	Entero largo	0		Id Especie	0			Si	Si (Con duplicados)
Id_sit	Número		Entero largo			Id Sitio	0			Si	No

Tabla: ESPECIE-SITIO

Descripción: Especies presentes en un sitio

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción del campo	Tamaño del campo	Formato	Máscara de entrada	Título	Valor predeterminado	Regla de validación	Texto de validación	Requerido	Indexado
Id_am	Autonumérico	Id del Ambiente (PK)	Entero largo			Id Ambiente					Si (Sin duplicados)
Id_sit	Número	Id del Sitio (FK)	Entero largo			Id Sitio	0			Si	Si (Con duplicados)
Casacu_a_am	Texto	Categoría del tipo de sistema acuático	32			Sistema acuático	"Humedal"		Río Or Humedal Or Lago somero menor a 5m Or Lago somero 5-15m Or Lago profundo mayor a 15m Or Lago con profundidad desconocida Or Ningún dato	Si	Si (Con duplicados)
Caph_a_m	Texto	Categoría de pH	12			Categoría pH	6.6-8.5		Menor de 5.5 Or 5.6-6.5 Or 6.6-8.5 Or 8.6-9.0 Or Mayor de 9.1 Or Ningún dato	Si	Si (Con duplicados)
Cacon_a_m	Texto	Categoría de conductividad (µS/cm)	12			Categoría conductividad (µS/cm)	1500-3000		Menos de 80 Or 80-1500 Or 1500-3000 Or 3000-30000 Or Mas de 30000 Or Ningún dato	Si	Si (Con duplicados)

Tabla: AMBIENTE

Descripción: Ambiente de un sitio

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción del campo	Tamaño del campo	Formato	Máscara de entrada	Título	Valor predeterminado	Regla de validación	Texto de validación	Requerido	Indexado
Id_de	Autonumérico	Id de Descriptor (PK) Descriptor fisico-quimico	Entero largo			Id Descriptor					Si (Sin duplicados)
Id_am	Número	Id de Ambiente (FK)	Entero largo			Id Ambiente	0			Si	Si (Sin duplicados)
Sal_de	Texto	Salinidad (g/l o ppt o g/Kg)	15			Salinidad (g/l)	0			No	Si (Con duplicados)
Cond_de	Texto	Conductividad (µS/cm)	15			Conductividad (µS/cm)	0			No	Si (Con duplicados)
Ph_de	Texto	pH	11			pH	0			No	Si (Con duplicados)
Alcatotal_de	Texto	Alcalinidad total (meq/l)	15			Alcalinidad total (meq/l)	0			No	Si (Con duplicados)
Alcaleno_de	Texto	Alcalinidad a la Fenolfaleina (meq/l)	15			Alcalinidad Fenolfaleina (meq/l)	0			No	Si (Con duplicados)
Carb_de	Texto	Carbonatos (meq/l)	15			Carbonatos (meq/l)	0			No	Si (Con duplicados)
Bicarb_de	Texto	Bicarbonatos (meq/l)	15			Bicarbonatos (meq/l)	0			No	Si (Con duplicados)
Durto_de	Texto	Dureza total (meqCaCO3/l)	15			Dureza total (meqCaCO3/l)	0			No	Si (Con duplicados)
Sulf_de	Texto	Sulfatos (meq/l)	15			Sulfatos (meq/l)	0			No	Si (Con duplicados)
Cloro_de	Texto	Cloruros (meq/l)	15			Cloruros (meq/l)	0			No	Si (Con duplicados)
Boro_de	Texto	Boro (meq/l)	15			Boro (meq/l)	0			No	Si (Con duplicados)
Ca_de	Texto	Calcio (meq/l)	15			Calcio (meq/l)	0			No	Si (Con duplicados)
Mag_de	Texto	Magnesio (meq/l)	15			Magnesio (meq/l)	0			No	Si (Con duplicados)
So_de	Texto	Sodio (meq/l)	15			Sodio (meq/l)	0			No	Si (Con duplicados)
Pota_de	Texto	Potasio (meq/l)	15			Potasio (meq/l)	0			No	Si (Con duplicados)

Tabla: DESCRIPTOR

Descripción: Descriptor fisico-quimico

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción del campo	Tamaño del campo	Formato	Máscara de entrada	Título	Valor predeterminado	Regla de validación	Texto de validación	Requerido	Indexado
Fosreadi_de	Texto	Fósforo Reactivo Disuelto o PRD, Fosfatos u Ortofosfatos (mg/l)	15			PRD (mg/l)	0			No	Si (Con duplicados)
Fosfotal_de	Texto	Fósforo Total o PT (mg/l)	15			PT (mg/l)	0			No	Si (Con duplicados)
Nitratos_de	Texto	Nitratos o NO ₃ (mg/l)	15			NO ₃ (mg/l)	0			No	Si (Con duplicados)
Nitritos_de	Texto	Nitritos o NO ₂ (mg/l)	15			NO ₂ (mg/l)	0			No	Si (Con duplicados)
Amo_de	Texto	Amonio o NH ₄ ⁺ (mg/l)	15			Amonio (mg/l)	0			No	Si (Con duplicados)
Nitotal_de	Texto	Nitrógeno Total o NT (mg/l)	15			NT (mg/l)	0			No	Si (Con duplicados)
Silice_de	Texto	Oxido de silice o SiO ₂ (mg/l)	5			SiO ₂ (mg/l)	0			No	Si (Con duplicados)
Clorofila_de	Texto	Clorofila (µg/l)	6			Clorofila (µg/l)	0			No	Si (Con duplicados)
Oxidi_de	Texto	Oxígeno disuelto (mg/l)	9			Oxígeno disuelto (mg/l)	0			No	Si (Con duplicados)
Porsatox_de	Texto	Porcentaje de saturación de oxígeno (%)	8			Porcentaje de saturación de oxígeno (%)	0			No	Si (Con duplicados)
Discose_de	Texto	Disco de Secchi (m)	11			Disco de Secchi (m)	0			No	Si (Con duplicados)
Com_eco	Memo	Comentarios		><:" Sin Descripció n"		Comentarios				No	Si (Con duplicados)

Tabla: DESCRIPTOR (Continuación)

Descriptor: Descriptor fisico-quimico

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción del campo	Tamaño del campo	Formato	Máscara de entrada	Nuevos valores	Título	Valor predeterminado	Regla de validación	Texto de validación	Requerido	Indexado
Id_ha	Autonumérico	Id de Hábitat (PK)	Entero largo			Incremental	Id Hábitat					Si (Sin duplicados)
Id_sp	Autonumérico	Id de la Especie (FK)	Entero largo				Id Especie	0				Si (Con duplicados)
Id_amb	Número	Id del Ambiente (FK)	Entero largo				Id Ambiente	0				Si (Con duplicados)
Id_rep	Número	Clave del Reporte (FK)	Entero largo				Clave Reporte	0				Si (Con duplicados)
Esp_ha	Texto	Espectro de pH	13	><"Sin Descripción"			Espectro pH			Acidobionte Or Acidófila Or Circumneutral Or Alcalifilia Or Alcalibionte Or No indicadora	No	Si (Con duplicados)
Halo_ha	Texto	Halobiedad	23	><"Sin Descripción"			Halobiedad			Eurihaloba Or Oligohaloba- Halófila Or Oligohaloba- Indiferente Or Oligohaloba- Halófila Or Oligohaloba- Mesohaloba Or Mesohaloba Or Mesohaloba- Euhaloba Or Euhaloba	No	Si (Con duplicados)
Hab_ha	Texto	Habitat	20	><"Sin Descripción"						Aerófila Or b- Bentónica Or Ticoplanctónica Or Planctónica	No	Si (Con duplicados)
Tro_ha	Texto	Trofismo	24	><"Sin Descripción"			Trofismo			Oligotrófica Or Oligotrófica- Mesotrófica Or Mesotrófica Or Mesotrófica- Eutrófica	No	Si (Con duplicados)

Tabla: HABITAT

Descripción: Hábitos de las diatomeas

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción del campo	Tamaño del campo	Formato	Máscara de entrada	Nuevos valores	Título	Valor predeterminado	Regla de validación	Texto de validación	Requerido	Indexado
id_rep	Autonumérico	Id del Reporte (PK)		Entero largo		Incrementalmente	Id Reporte					Si (Sin duplicados)
Cl_rep	Texto	Clave del Reporte. Números para un mismo reporte con diferente localidad. Letras para diferentes reportes con el mismo año	15	> (Mayúsculas)			Clave Reporte				Si	Si (Con duplicados)
Autor_re_p	Memo	Nombre del Autor (es) del Reporte		>< (Mayúsculas y Minúsculas)			Autor (es) Reporte				Si	Si (Con duplicados)
Norm_rep	Memo	Nombre del Reporte		>< (Mayúsculas y Minúsculas)			Nombre Reporte				Si	Si (Con duplicados)
Año_rep	Número	Año del Reporte	Entero		0000 (4 números obligatorios.)		Año				Si	Si (Con duplicados)
Pub_rep	Si/No	¿Publicado?					¿Publicado?				Si	No
Det_rep	Memo	Detalles del Reporte		>< (Mayúsculas y Minúsculas)			Detalles Reporte				No	No
Tabla: REPORTE												
Descripción: Reporte de las especies												

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción del campo	Tamaño del campo	Formato	Máscara de entrada	Título	Valor predeterminado	Regla de validación	Texto de validación	Requerido	Indexado
id_sp	Número	Id de la Especie (PK)	Entero largo			Id Especie	0			Si	Si (Con duplicados)
id_rep	Número	Id del Reporte (PK)	Entero largo			Id Reporte				Si	No

Tabla: ESPECIE-REPORTE

Descripción: Especies de un reporte

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción del campo	Tamaño del campo	Formato	Máscara de entrada	Nuevos valores	Título	Valor predeterminado	Regla de validación	Texto de validación	Requerido	Indexado
Id_mu	Autonúmero	Id de la Muestra (PK)	Entero largo				Id Muestra					Si (Sin duplicados)
Cl_mu	Texto	Clave de la Muestra	13				Clave Muestra				Si	Si (Con duplicados)
Id_sit	Número	Id del Sitio (FK)	Entero largo				Id Sitio				Si	Si (Con duplicados)
Id_de	Número	Id del Descriptor (FK)	Entero largo				Id Descriptor				Si	Si (Con duplicados)
Tipo_mu	Texto	Tipo de Muestra	14				Tipo de Muestra				No	No
Fecha_mu	Fecha/Hora	Fecha en que se realizó el muestreo					Fecha				No	No

Tabla: MUJESTRA

Descripción:

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción del campo	Tamaño del campo	Formato	Máscara de entrada	Nuevos valores	Título	Valor predeterminado	Regla de validación	Texto de validación	Requerido	Indexado
Id_pre	Autonumérico	Id Preparación (PK)	Entero largo				Id Preparación					Si (Sin duplicados)
Cl_pre	Texto	Clave Preparación	8				Clave Preparación				Si	Si (Con duplicados)
Id_mu	Número	Id Muestra (FK)	Entero largo				Id Muestra	0			Si	Si (Con duplicados)
Dil_pre	Texto	Dilución de la Preparación	5				Dilución				No	No

Tabla: PREPARACION

Descripción: Preparación en la que se observan las valvas

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción del campo	Tamaño del campo	Formato	Máscara de entrada	Nuevos valores	Título	Valor predeterminado	Regla de validación	Texto de validación	Requerido	Indexado
Id_sp	Número	Id de la Especie (PK)	Entero largo				Id Especie	0			Si	Si (Con duplicados)
Id_mu	Número	Id de la Muestra (PK)	Entero largo				Id Muestra	0			Si	No

Tabla: ABUNDANCIA-RELATIVA

Descripción: Abundancia relativa de las valvas de diatomea

Apéndice III

Tabla AIII.1. Número asignado y nombre de las especies de diatomeas presentes en el núcleo TXB.

Número	Nombre
1	<i>Achnanthes lanceolata</i> (Brébisson) Grunow in Cleve & Grunow
2	<i>Achnanthidium exiguum</i> (Grunow) Czarn
3	<i>Alaucoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen
4	<i>Amphora veneta</i> Kützing
5	<i>Amphora coffeaeformis</i> (Agardh) Kützing
6	<i>Amphora libyca</i> Ehrenberg
7	<i>Anomoeoneis sphaerophora</i> (Ehrenberg) Pfitzer
8	<i>Campylodiscus clypeus</i> Ehrenberg
9	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehrenberg) Grunow
10	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> (Ehrenberg) Van Heurk
11	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing
12	<i>Cymbella affinis</i> Kützing
13	<i>Cymbella mexicana</i> (Ehrenberg) Cleve
14	<i>Chaetoceros</i> aff. <i>muelleri</i> Lemmermann
15	<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson
16	<i>Epithemia turgida</i> (Ehrenberg) Kützing
17	<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing
18	<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Brébisson
19	<i>Navicula veneta</i> Kützing
20	<i>Navicula elkab</i> O. Müller
21	<i>Nitzschia frustulum</i> (Kützing) in Cleve & Grunow
22	<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith
23	<i>Nitzschia constricta</i> (Kützing) Grunow in Cleve & Grunow
24	<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow
25	<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> (Grunow in Van Heurk) Williams & Round
26	<i>Punctastriata pinnata</i> (Ehrenberg) Williams & Round
27	<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller
28	<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehrenberg) O. Müller
29	<i>Rhopalodia musculus</i> (Kützing) O. Müller
30	<i>Staurosira construens</i> (Ehrenberg) Williams & Round
31	<i>Staurosira capucina</i> (Desmazières) Williams & Round
32	<i>Surirella striatula</i> Turpin
33	<i>Denticula valida</i> (Pedecino) Grunow in Van Heurck
34	<i>Surirela</i> aff. <i>peisonis</i> Pantocsek

Tabla AIII.2. Número asignado, nombre y ubicación geográfica de los 44 sitios que se emplearon en los análisis estadísticos.

Sitio				
Número	Nombre	Ubicación geográfica	Región	Reporte
1	Río Herero	07° 00' N y 39° 15' E	Africa	3
2	Webi Shebelle River	07° 00' N y 39° 15' E	Africa	3
3	Río Waghi	144°21' E y 5°47' S	Asia	4
4	Río Tongo	143°42' E y 6°01' S	Asia	4
5	Wadi Kalou	11° 35' N y 42°20' E	Africa	3
6	Zempoala río	19° 03' N y 99°19' W	Norteamérica	1
7	Río Bulolo	146°44° E y 7°22' S	Asia	4
8	Gadeb	07° 00'N y 39°15' E	Africa	3
9	Mt Giluwe	143°055' E y 6°03'S	Asia	4
10	Mt Hagen	143°055' E y 6°03'S	Asia	4
11	SpringOfed wadi	11°53' N y 41°42' E	Africa	3
12	Hanlé	11°36' N y 39°37' E	Africa	3
13	Kenke Swamp	04° 40' S y 34° 40' E	Africa	3
14	Gawani	11° 40' N y 40°40' E	Africa	3
15	Jalapango	19° 31' N y 98° 57' W	Norteamérica	1
16	Artemia	19° 32' N y 98° 59' W	Norteamérica	1
17	Lago Recreativo	19° 31' N y 98° 58' W	Norteamérica	1
18	Lago Compila	19° 03' N y 99°19' W	Norteamérica	1
19	Lago Tecocomulco	19° 50' N y 98°21' W	Norteamérica	1
20	Lago Kainga	144°12' E y 5°42' S	Asia	4
21	Lago Verde	18° 36' N y 95° 20' W	Norteamérica	6
22	Lago Zumpango	19° 46' N y 99°07' W	Norteamérica	1
23	Lago Chalco	19° 15' N y 99° 55' W	Norteamérica	1
24	Lago Kilotes	8°30' N y 38° 40' E	Africa	3
25	El Sol	19° 10' N y 99°45' W	Norteamérica	5
26	Zempoala lago	19° 03' N y 99°19' W	Norteamérica	1
27	Lago Salton Sea	33° 30' N y 116°00' W	Europa	7
28	Lago Lugembe	0°27' N y 30° 17' E	Africa	3
29	Zirahuén	19° 21' N y 101° 46' W	Africa	8
30	Lago Tanganyika	03° 20' S y 29°031° E	Sudamérica	2
31	Santa Ma. del Oro	21° 22' N y 104° 33' W	Sudamérica	9
32	Lago Baringo	0° 31' N0 36° 01' E	Africa	3
33	Atexcac 3	21° 21' N 104° 33' E	Norteamérica	10
34	Lago Ziway	07° 51' N y 38° 42' E	Africa	3
35	Quechulac	19° 21' N y 97° 21' W	Norteamérica	10
36	La Preciosa	19° 21' N y 97° 22' W	Norteamérica	10
37	Aljojuca	19° 05' N y 97° 32' W	Norteamérica	10
38	Alchichica	19° 24' N y 97° 24' W	Norteamérica	10
39	Lago Lagano	07°32' N y 7° 43' E	Africa	3
40	Lago Abiyata	07° 33' N y 38° 27' E	Africa	3
41	Lago Turkana	02° 25' N y 35° 50' E	Africa	3
42	Lago Shala	07° 24' N y 38° 23' E	Africa	3
43	Lago Embagai	00°56' S y 35° 49' E	Africa	3
44	Lago Elmenteita	00° 25' N y 36° 12' E	Africa	3

Tabla AIII.3. Número asignado, autor(es), nombre y año de los reportes a partir de los cuales se obtuvieron los datos ambientales de los 44 sitios.

Número	Autor (es)	Reporte	
		Nombre	Año
1	Caballero, M.	<i>Late Paleolimnology of Lake Chalco, The Basin of México</i>	1995
2	Cocquyt, C.	<i>Diatoms from the Northern Basin of Lake Tanganyika</i>	1998
3	Gassé, F.	<i>East African diatoms. Taxonomy, ecological distribution</i>	1986
4	Vyverman W.	<i>Diatoms from Papua New Guinea</i>	1991
5	Cuna E., G. Vilaclara & M. Caballero	<i>Las diátomeas del Nevado de Toluca, México</i>	2003
6	Vilaclara G.	<i>Sin descripción. Datos Lago Verde, Tuxtlas Ver.</i>	2001
7	Lange C. y M. Tiffany	<i>The diatom flora of the Salton Sea, California</i>	2002
8	Vilaclara, G.	<i>Sin descripción. Datos Zirahuén</i>	2003
9	Vilaclara, G.	<i>Sin descripción. Datos Santa María del Oro</i>	2002
10	Vilaclara G., M. Chávez, A. Lugo, H. González y M. Gaytán	<i>Comparative description of crater-lakes basic chemistry in Puebla State, México</i>	1993

Tabla AIII.4. Matriz Sitios-Ambiente o MSA de parámetros ambientales de pH y conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de los 44 sitios empleados en los análisis estadísticos.

Número del sitio	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Número del sitio	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
1	6.0	140	23	9.2	2420
2	6.5	40	24	9.6	5000
3	6.6	63	25	7.31	58
4	7.0	65	26	7.7	91
5	7.0	1720	27	8.2	55170
6	7.4	105	28	8.7	308
7	8.1	153	29	7.1	126
8	6.0	140	30	7.5	565
9	6.5	15	31	8.0	1468
10	6.7	180	32	8.2	855
11	7.0	36000	33	8.2	11000
12	8.5	3400	34	8.3	370
13	8.5	1200	35	8.7	750
14	9.0	24000	36	8.7	2150
15	9.1	2360	37	8.9	1225
16	9.5	44100	38	9.0	13000
17	9.6	7500	39	9.1	1900
18	6.5	102	40	9.4	19323
19	6.8	250	41	9.5	3080
20	6.9	16	42	9.9	23135
21	7.2	200	43	10.1	13500
22	7.2	507	44	10.6	43750

Tabla AIII.5. Sistema acuático (SA), código de la conductividad (C) y de pH que se emplearon para la clasificación de los sitios en la base de datos.

Número del Sitio	Código de SA	Código de C	Código de pH	Número del Sitio	Código de SA	Código de C	Código de pH
1	R	2	II	23	A		V
2	R	1	II	24	A	4	V
3	R	1	III	25	B	1	III
4	R	1	III	26	B	2	III
5	R	3	III	27	B	5	III
6	R	2	III	28	B	2	IV
7	R	2	III	29	C	2	III
8	H	2	II	30	C	2	III
9	H	1	II	31	C	2	III
10	H	2	III	32	C	2	III
11	H	5	III	33	C	4	III
12	H	4	III	34	C	2	III
13	H	2	III	35	C	2	III
14	H	4	IV	36	C	4	IV
15	H	3	V	37	C	2	IV
16	H	5	V	38	C	4	IV
17	H	4	V	39	C	3	V
18	A	2	II	40	C	4	V
19	A	2	III	41	C	3	V
20	A	1	III	42	C	4	V
21	A	2	III	43	C	4	V
22	A	2	III	44	C	4	V

Tabla AIII.6. Matriz Sitios-Especies o MSE de sitios con presencia / ausencia de especies similares a las del núcleo TXB.

Especies	Sitios																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
11	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1
12	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
16	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
17	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1
18	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
19	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1
22	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1
25	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
27	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(Continuación Tabla AIII.6)

Especies	Sitios																					
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1		0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
9	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
17	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
21	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0		1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
27	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
28	0		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
30	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0