

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

---

---

**“ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN Y DENSIDAD DE LA  
MICROFLORA FICOLÓGICA EN MANANTIALES Y ARROYOS  
DEL PARQUE NACIONAL IZTA-POPO”**

**BIOLOGÍA: ÁREA DE LIMNOLOGÍA**

**T E S I S**

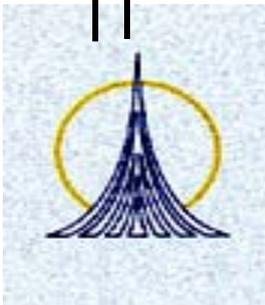
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**B I O L O G O**

**P R E S E N T A**

**YANET LORENA BALBUENA PEDRAZA**

**DIRECTORA DE TESIS: BIÓL. ANGELICA ELAINE GONZALEZ SCHAFF**



**IZTAPALAPA, DISTRITO FEDERAL. ENERO 2007**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## **AGRADECIMIENTOS**

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de Limnología de la FES Zaragoza, bajo la dirección de la Bióloga Angélica Elaine González Schaff

A la Bióloga Angélica Elaine González Schaff por haber dirigido esta tesis, por toda su paciencia, dedicación y compartir sus conocimientos e impulsarme para seguir adelante.

A la Bióloga Luz María Ledesma por los momentos de alegría y trabajo que compartimos durante la carrera y la realización de la tesis.

## DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y todo lo bueno y malo que he aprendido.

A mis papas Cosme y Trinidad por todo su apoyo incondicional, comprensión y esfuerzo para darme la mejor herencia, tener una profesión. Por su paciencia y amor que siempre me han dado.

Con toda mi admiración y respeto a mis hermanos Gladys y Juan Carlos por el cariño, paciencia y apoyo que siempre me han dado.

A mi cuñada Ma. Concepción por todo su cariño y apoyo.

A mis tres sobrinos Juan Carlos, Nayeli y Denzel por su amor.

A mi esposo con todo mi amor, admiración y respeto Dr. Alfonso Martínez por su apoyo y por compartir sus conocimientos y experiencia para concluir este trabajo.

A mis grandes, maravillosos e infinitos tesoros que son mi hija Amanda y el (la) pequeño (a) que viene en camino por que son mis grandes motores para seguir adelante.

Por todo lo que me han enseñado y dado con mucho amor, tolerancia y apoyo incondicional cada miembro de mi familia les dedico este trabajo y les doy infinitas gracias con todo mi amor.

## CONTENIDO

• RESUMEN.....	4
• INTRODUCCIÓN.....	5
• PROBLEMÁTICA.....	11
• JUSTIFICACIÓN.....	11
• OBJETIVO GENERAL.....	12
• OBJETIVOS PARTICULARES.....	12
• ÁREA DE ESTUDIO.....	13
• LOCALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.....	15
• METODOLOGÍA.....	17
• RESULTADOS.....	20
• ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	48
• CONCLUSIONES.....	55
• LITERATURA CONSULTADA.....	56
• ANEXOS .....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura A. Situación geográfica del área de estudio. Parque Nacional Izta-Popo.....15
- Figura B. Distribución de los puntos de muestreo ubicados durante el estudio.....16
- Figura C. Algunos tipos de sistemas acuáticos representativos.....22
- Figura D. Especies de Bacillariophyta identificadas en agua y sedimento.....44
- Figura E. Especies de Bacillariophyta identificadas en agua y sedimento.....45
- Figura F. Especies de Chlorophyta identificadas en agua y sedimento.....47
- Figura 1. Temperatura ambiente en los puntos de muestreo.....22
- Figura 2. Temperatura del agua en los puntos de muestreo.....23
- Figura 3. Potencial de Hidrógeno en los puntos de muestreo. ....23
- Figura 4. Oxígeno Disuelto en los puntos de muestreo. ....24
- Figura 5. Dióxido de carbono en los puntos de muestreo. ....24
- Figura 6. Alcalinidad Total en los puntos de muestreo. ....25
- Figura 7. Dureza del agua debida  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  en los puntos de muestreo. ....25
- Figura 8. Dureza total en los puntos de muestreo. ....26
- Figura 9. Distribución de nutrimentos en algunos sistemas lóticos. ....27
- Figura 10. Composición del sedimento en los puntos de muestreo.....27
- Figura 11. Concentración de biomasa húmeda y biomasa seca en los puntos de muestreo.....28
- Figura 12. Clorofilas encontradas en los puntos de muestreo.....29
- Figura 13. Densidad total de organismos en agua de los puntos de muestreo.....29
- Figura 14. Abundancia y diversidad de microalgas en algunos sistemas lóticos. ....30
- Figura 15. Densidad total en sedimento en los puntos de muestreo.....31
- Figura 16. Abundancia y diversidad de microalgas en el sedimento del Parque Nacional Izta-popo y sus alrededores.....31

## ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1. Criterios de asociación para el coeficiente de correlación.....19
- Tabla 2. Localización de los puntos de muestreo estudiados. ....20
- Tabla 3. Distribución de especies de microalgas identificadas en muestras de agua y sedimento.....32

## RESUMEN

El agua es un recurso natural esencial para el desarrollo de todos los organismos. En ella están presentes microorganismos algales que constituyen al primer eslabón de la cadena alimenticia, son productores primarios de oxígeno y funcionan como indicadores del estado trófico del agua. En nuestro país los estudios de microalgas de ambientes marinos y continentales de tipo léntico son abundantes, pero los realizados en sistemas lóticos son escasos. Por lo anterior, se realizó el presente trabajo para estudiar la microflora algal de algunos sistemas lóticos del Parque Nacional Izta-Popo y sus alrededores así como evaluar las condiciones hidrológicas. De Febrero a Octubre de 2001, se recolectaron muestras de agua y de sedimento en puntos seleccionados dentro del Parque Nacional Izta-Popo y sus alrededores. Los parámetros físicos: oxígeno, temperatura y pH fueron medidos *in situ*. Mientras que los parámetros químicos y biológicos: alcalinidad, dióxido de carbono, dureza, nutrimentos, biomasa y densidad algal, cantidad de clorofilas así como la identificación de las microalgas, se realizó en el laboratorio. Se identificaron 65 especies de microalgas que pertenecen a la división de Heterokonthophyta (con 61 especies) y Chlorophyta (con 4 especies). Los géneros mayor representados fueron: *Navícula*, *Diatoma*, *Nitzschia*, *Cocconeis* y *Eunotia*. Algunos puntos de estudio localizados cerca de núcleos poblacionales, mostraron un incremento de los niveles de nutrimentos y de algunos parámetros químicos. Probablemente debido a descargas de agua residuales derivadas de actividades humanas. Los niveles de fosfatos, amonios, nitritos y nitratos, así como los niveles de oxígeno, biomasa y niveles de clorofilas. Indican que los sistemas lóticos estudiados son oligotróficos.

## INTRODUCCIÓN

### Limnología

La limnología es la rama de la ecología que estudia los ecosistemas acuáticos continentales (lagos, lagunas, ríos, charcas, marismas y estuarios), las interacciones entre los organismos acuáticos y su ambiente, que determinan su distribución y abundancia en dichos ecosistemas. El agua es de todos los recursos terrestres el más preciado y gracias a ella es posible la existencia de todo ser viviente. Es el más abundante en el planeta pues ocupa  $\frac{3}{4}$  de su superficie total. Se puede encontrar como un sólido en grandes bloques de hielo (iceberg) inmovilizados en glaciares y en los casquetes polares (ártico y antártico), como gas en la atmósfera en forma de nubes (vapor de agua) y en estado líquido en las depresiones oceánicas donde ocupa un volumen de 1354 millones de Km<sup>3</sup> (**Ambroggi, 1989**). En la República Mexicana se cuenta con 11,592.77 Km de litoral (**Contreras, 1993**). El estudio de las aguas dulces de lagos y ríos se debe a que es un recurso que sólo aumenta ligeramente a través de la desalinización o con un gasto alto de energía, por lo cual es importante conocer la función y estructura de estos sistemas (**Wetzel, 1981**). En los ríos se aprovecha su cauce y corriente desviando o reteniendo sus aguas por medio de bordos, diques ó compuertas para diferentes usos (Ej. obras hidráulicas, riegos de sembradíos, etc.). Las aguas corrientes se denominan sistemas lóticos e incluyen a sistemas hidrológicos en movimiento como los ríos y manantiales. Los sistemas hidrológicos con aguas estancadas o relativamente quietas se denominan sistemas lénticos, e incluyen a lagos, lagunas, presas (**Margalef, 1995**).

Los manantiales presentan características distintas a otros sistemas lóticos como son: el aporte relativamente constante del volumen de agua, escasa variación en la composición química de ésta, temperatura constante y bajas concentraciones de materia orgánica. Además, es común que existan gradientes de iluminación cuando se originan dentro de cuevas o cavidades y por la cobertura vegetal. Estas características de estabilidad en los manantiales contrastan con los cambios bruscos que ocurren en el cauce de un río (**Carmona y Montejano, 1993**). En los ríos, el transporte es horizontal y depende de la disponibilidad de energía, tienen una iluminación igual en todo el sistema y tienen mucho cambio en la composición de organismos ya que son arrastrados por la corriente y no hay regreso, la población de cada tramo del río está influenciada por aguas que han pasado por tramos más altos y han estado en contacto con otras comunidades. El río tiene un flujo turbulento, por lo cual su mecanismo de sedimentación es gradual y conduce a las partículas más finas que son las más importantes en el transporte de materiales retenidos sobre la superficie y son las que llegan más lejos. El río es un sistema convergente de canales, con gran capacidad de intercambio con los ecosistemas terrestres y en el que cualquier forma de análisis conduce a destacar la importancia de un eje horizontal (**Margalef, 1995**).

La limnología ha desarrollado métodos para estudiar los aspectos físicos, químicos y biológicos de las aguas continentales y que facilita la comprensión rápida del agua como ambiente de los organismos que en ella se encuentran. Para llevar a cabo un análisis de agua se deben de tomar en cuenta los aspectos morfométricos (área superficial, profundidad y contorno), la turbidez con la visibilidad del disco de Sechi, la circulación y movimiento del agua a causa del viento, los cambios de temperatura, afluentes y efluentes, la vida animal y vegetal para determinar el tipo y lugares de muestreo. Dentro de los

parámetros físicos y químicos: los gases disueltos como el  $O_2$  y el  $CO_2$  así como los productos de equilibrio:  $H_2CO_3$ ,  $HCO^{-3}$ ,  $CO^{-3}$  participan en los procesos de síntesis y metabolismo celular, por lo cual son determinaciones consideradas como indispensables, al igual que los nutrimentos derivados de nitrógeno y fósforo ya que estos son básicos para llevar a cabo algunas funciones celulares dentro de los organismos presentes en los sistemas hidrológicos; la temperatura y la luz son dos factores que determinan los procesos de fotosíntesis en los productores primarios (fitoplancton), el color del embalse está asociado en ocasiones a grandes cantidades de plancton (dependiendo del estado trófico) de acuerdo a la pigmentación de las algas, bacterias pigmentadas y microcrustáceos. La estructura trófica generadora del metabolismo en los ambientes acuáticos, depende de las comunidades del plancton y determina en gran parte el grado de productividad biológica de los sistemas acuáticos. En México se cuenta con importantes estudios ficológicos realizados en ambientes marinos (**Millán-Núñez et al. 2004**) y continentales (**Oliva-Martínez et al. 2005; Contreras-Espinoza et al. 2005**), estos últimos representan un número menor, en especial aquellos de sistemas lóticos.

**Carmona y Montejano** 1993, realizaron un estudio ficológico en tres manantiales isotérmicos de la Huasteca Potosina. Donde reportan 67 especies algales distribuidas en cinco clases y su relación con los parámetros físico-químicos. 31 especies de Bacillareophyceae siendo la más representada y dos especies de Xantophyceae siendo la menos representada. Los parámetros ambientales que determinaron las formas de crecimiento de estas algas fueron la iluminación y la velocidad de corriente.

**Valadez et al.** 1996, reportaron 100 especies de algas en un estudio realizado en dos manantiales y un río del estado de Morelos. En este estudio, se reportaron 47 especies de Cyanophyceae siendo la más representada y una especie de Xantophyceae siendo la menos representada, pero no se reporta si existe relación entre la presencia de estos dos grupos de algas y los parámetros físico-químicos estudiados.

**Ramírez et al.** 2001, estudiaron la microflora algal del Río La Magdalena en el Distrito Federal y los parámetros químicos y ambientales. En este estudio se reporta la presencia de 72 especies de algas de las cuales 11 fueron registros nuevos para la flora algal del país.

**Ramírez** en 2003, reporta registros de diferentes grupos algales desde 1854 hasta 2003, descripción taxonómica es de 472 especies de algas en la región de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) que comprende la zona del Parque Nacional "IZTA-POPO.

**Ramírez** en 2003, reporta la presencia de 29 géneros de diatomeas en los humedales de Jilotepec-Ixtlahuaca, Estado de México y los parámetros físicos y químicos: pH, temperatura, transparencia, alcalinidad, dureza y oxígeno.

**Oliva-Martínez et al.** 2005, estudiaron las características taxonómicas del grupo de las diatomeas y parámetros físico-químicos en tres humedales del Estado de México. En este estudio se reportan 45 especies y 3 variedades de diatomeas distribuidas en 32 géneros. De las 45 especies, cuatro de ellas fueron registros nuevos para la Faja Volcánica Transmexicana.

## **Plancton**

El plancton se define como un conjunto de organismos tanto vegetales como animales adultos y larvarios, que viven en aguas dulces o marinas flotando o dotados de escasos elementos de locomoción: generalmente presentan un tamaño microscópico (**Wetzel, 1983**). El plancton se clasifica de acuerdo a su naturaleza en partículas con vida y las no vivas. También existen divisiones de acuerdo a su tamaño:

- Ultraplancton menos de 5 micras
- Nanoplancton 5-50 micras
- Microplancton 50-500 micras
- Mesoplancton 0.5-1 mm
- Macroplancton más de 5 mm
- Megaplancton mayor de 1cm

**(Margalef, 1995)**

El zooplancton esta compuesto por huevos de larvas de Espongiarios, Celenterados, Nemertinos, Briozoarios, Poliquetos, Crustáceos, Moluscos, Equinodermos y Peces. En el Holoplancton puede haber Foraminíferos, Radiolarios, Infusorios, Celenterados, Rotíferos, Quetognatos y Crustáceos, y se divide de acuerdo a su vida dentro del plancton.

- Holoplancton pasan toda su vida dentro del plancton.
- Meroplancton pasan una o varias etapas de su ciclo de vida dentro del plancton.

También hay divisiones de acuerdo a la zona en que se distribuyen.

- Nerítico o litoral: son las zonas más cercanas al litoral donde la renovación de nutrientes es mayor.
- Pelágico u oceánico: son las zonas alejadas de las costas.
- Fotoplancton: son las zonas más iluminadas.
- Batipelágico: son las zonas poco iluminados.
- Plancton de la penumbra en zonas oscuras.

**(Margalef, 1995)**

## **Fitoplancton**

El fitoplancton se compone de organismos fotosintéticos y sus principales componentes son: algas verdes de la división Chlorophyta, Cyanophyta, Euglenophyta, Chrysophyta y Pyrrohphyta. El fitoplancton es importante ya que realiza el 85% de la fotosíntesis de todo el planeta, además estos organismos constituyen el primer eslabón de las cadenas tróficas seguidos del zooplancton como primeros consumidores (**Hutchinson, 1983**). La determinación de la biomasa del fitoplancton es adecuada para hallar la producción primaria ya que estima el peso de la materia viva en función del crecimiento de la población; ya sea por reproducción de las células ya presentes o por inmigración de nuevos individuos. Existen diferentes métodos para la determinación de la biomasa de fitoplancton, entre ellos se encuentran la densidad (org/lt), la concentración de clorofila (mg/ml) y el peso seco y húmedo (mg/ml). En el primer caso, se mide por recuento directo de los organismos contenidos en la cámara de sedimentación por medio del microscopio invertido; la clorofila se cuantifica por la absorción de luz de un extracto de pigmentos por medio del espectrofotómetro. El peso húmedo y el peso seco se determinan por filtración de la muestra y diferencia de pesos (**Schwoerbel 1975**).

## **Fitobentos**

El fitobentos son todas las microalgas que viven en el sustrato y de acuerdo a su hábitat tiene diferentes divisiones: el perifiton es el crecimiento de la microflora por encima del sustrato y el metafiton son las algas que se encuentran agrupadas en la zona litoral y no están exactamente unidas al sustrato ni son verdaderamente planctónicas, originadas por poblaciones fitoplanctónicas que se agrupan en los macrófitos y restos de la zona litoral a consecuencia del movimiento del agua producido por el viento. El perifiton se subdivide en:

- A) algas epipélicas o flora que se desarrolla sobre los sedimentos (finos, orgánicos).
- B) algas epilíticas que viven sobre superficies de rocas o piedras.
- C) algas epífitas que crecen sobre las superficies de los macrófitos.
- D) algas epizoicas son las que se desarrollan sobre superficies animales.
- E) algas eipsámicas son los organismos específicos que viven sobre la arena o moviéndose por ella.

Las algas bentónicas fijas constituyen muchas veces la biomasa principal de algas en pequeños riachuelos y en lagos someros, ya que en dichas aguas el plancton es muy escaso.

(**Wetzel, 1981**).

## **Microalgas (Clasificación según Hoek van den, 1995 y Lee, 1999)**

### **Cyanophyta = Cyanobacteria**

Se llaman también algas verde-azules y carecen de organelos de doble membrana celular, sus pigmentos son clorofila a y b, ficobiliproteínas y algunos carotenoides. Algunas formas filamentosas son las que predominan y la mayoría son bentónicas. Algunos géneros importantes son: *Anabaena*, *Anabaenopsis*, *Aphanizomenon*, *Lyngbya* y *Oscillatoria*. En la cyanophyta filamentosas las células se ordenan en fila, formando un tricoma cubierto por una vaina de mucílago, se reproducen por fragmentación de los tricomas o esporulación. Las formas cocoidales pueden ser células aisladas o estar unidas en colonias como son:

*Microcystis*, *Gomphosphaeria*, *Chroococcus*, *Aphanocapsa* y *Synechococcus*. La importancia de las cianofitas es que la mayoría de sus géneros tienen la capacidad de fijar nitrógeno molecular y otros tienen capacidad tóxica (*Microcystis aeruginosa*, *M. flosaquae* y *Aphanizomenon flosaquae*) (**González 1988**).

### **Dynophyta**

Llamadas también dinoflagelados o pirrofitas que han poblado más las aguas marinas que las continentales, en el mar producen luminiscencia (*Noctiluca spp*) y son famosas como causantes de las mareas rojas (*Gonyaulax spp*). Uno de sus flagelos produce pequeñas corrientes de agua que les permite moverse y el otro les da movimiento rotatorio, su reproducción es asexual por división binaria. Sus pigmentos son clorofila a y c y piridinina como principal caroteno. Algunos géneros continentales son: *Gymnodinium*, *Glenodinium*, *Peridinium*, *Ceratium* y *Gonyaulax* (**González 1988**).

### **Heterokontophyta (Bacillariophyta)**

Conocidas también como algas pardo-amarillentas deben su color al  $\beta$ -caroteno, algunas xantofilas y clorofila a y c. Pueden ser unicelulares y vivir en colonias o filamentosas. Las clases más importantes son las crisofíceas, las bacilariofíceas o diatomeas y las xantofíceas (**González 1988**). Las Bacilariofíceas o diatomeas están entre las algas microscópicas que más fácilmente se encuentran y reconocen en sistemas lóticos. Algunas de sus características más distintivas son su color pardo dorado debido al  $\beta$ -caroteno y las clorofilas a y c, su pared celular está decorada con hileras de poros con hendiduras y divisiones internas. La pared celular o frústula consta de dos mitades (o valvas) que se sobreponen y se adaptan entre sí (**Darley, 1987**). Las diatomeas se dividen en dos grupos con base en la simetría de las valvas (radial o bilateral) y ambos presentan un ciclo sexual de tipo de meiosis gamética. Las diatomeas céntricas abundan más en aguas marinas y salobres formando largas cadenas filamentosas. Algunos géneros son: *Cyclotella*, *Stephanodiscus*, *Melosira* y *Rhizosolenia*. Las diatomeas pennadas abundan en aguas marinas y aguas dulces y están relacionadas a algún tipo de sustrato, pueden estar fijadas a plantas, animales, rocas o granos de arena. Algunos géneros son: *Nitzschia*, *Navicula*, *Fragilaria*, *Asterionella*, *Synedra*, *Tabellaria* y *Diatoma* (**González 1988**).

### **Euglenophyta**

Son algas con una organización compleja, pueden ser células desnudas y grandes con uno a tres flagelos, contienen cloroplastos discoidales, estrellados o en forma de banda. Presentan clorofila a y b,  $\beta$ -carotenos y xantofilas. Contienen gránulos de almacén de carbohidratos (1,3-  $\beta$  glucanos) que son llamados gránulos paramilón. Son capaces de cambiar de forma durante la locomoción. Su reproducción es asexual por división longitudinal, habitan en lagunas ricas en materia orgánica. Algunos géneros son: *Euglena*, *Phacus*, *Trachelomonas* y *Strombomonas* (González, 1988).

### **Chlorophyta**

Se llaman también algas verdes, son unicelulares de vida colonial y filamentosa, sus pigmentos son la clorofila a y b que enmascaran a los carotenos y xantofilas. En los cloroplastos almacenan almidón como reserva, algunas clorofíceas son desnudas pero la mayoría poseen pared celular formada por dos o más capas, una interna celulósica y la

externa pectínica. Su reproducción es asexual por división celular, así como por zoosporas móviles o no móviles y por fragmentación de las colonias o filamentos; es frecuentemente con gametos de dos o cuatro flagelos y puede ser por isogamia o por anisogamia, las colonias están rodeadas por mucílago. Algunos géneros son: *Volvox*, *Eudorina*, *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Golenkinia*, y *Closterium* (**González 1988**).

## **PARQUES NACIONALES**

Los parques nacionales surgen de 1935 a 1939 y se definen como: “un área relativamente grande donde existen uno o varios ecosistemas que no han sido alterados por la explotación y ocupación humana, en él las especies vegetales, animales, lugares y hábitats geomorfológicos tienen interés científico, educativo y recreativo. Contienen un paisaje natural que cuenta con las medidas necesarias para prevenir o eliminar la explotación y ocupación del área y hacer respetar sus características propias que han conducido a su creación. Se permite la entrada a los visitantes bajo condiciones especiales para inspiración del individuo, con fines educativos, culturales y recreativos (**Vargas, 1984**). Durante el sexenio gubernamental 1994-2000, se creó la Secretaría de Estado del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca con el objetivo de administrar el aprovechamiento ordenado de los recursos naturales y la protección ambiental en el marco del desarrollo sustentable. Ante la reforma de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, el Instituto Nacional de Ecología (INE) asume nuevas tareas que amplifican sus ámbitos de incumbencia. En ese sentido el INE tiene a su cargo los instrumentos básicos de regulación y gestión ambiental como son, entre otros, la declaratoria y manejo de áreas naturales protegidas. Nuestro país, junto con otro número reducido de naciones poseen más del 50% de toda la riqueza biótica del planeta. La vegetación natural, como expresión sintética de todos los factores ambientales, se ha desarrollado en México a través de casi todas las posibilidades: desde las selvas perennifolias, bosques templados y fríos, bosques mesófilos y desiertos. Por efecto de los cambios inadecuados o incontrolados en el uso del suelo, la deforestación es la principal causa de destrucción de hábitats. La alteración drástica de las condiciones ecológicas provoca la pérdida de biodiversidad. En ello resulta fundamental el establecimiento de objetivos y políticas claras, y la multiplicación de actores y de mecanismos de financiamiento ([www.planeta.com](http://www.planeta.com) 2006). Entre las montañas del territorio nacional las denominadas Iztaccíhuatl y Popocatepetl destacan por su perfil geográfico y situación inmediata la una de la otra. Por lo que se declara al Parque Nacional Izta-Popo como sitio de belleza natural protectora y museo de la flora y la fauna comarcadas. Esta área natural se localiza sobre el Sistema Neovolcánico Transmexicano, situado geográficamente en la Sierra Nevada que se originó durante el terciario por actividad volcánica. El volcán Iztaccíhuatl debido a las varias erupciones a las que estuvo sujeto fue el resultado de las superposiciones de corriente de lava. El Popocatepetl es más antiguo y se formó sobre los restos del volcán Nexpayantla destruido primero por la erosión y después por el surgimiento del nuevo cono (**Vargas, 1984**).

## PROBLEMÁTICA

En su gran mayoría, los parques nacionales carecen de planes de manejo operativos, de personal y de presupuesto suficientes (a veces ni siquiera simbólico). El único instrumento de protección es el decreto de su establecimiento, lo que equivale a que muchas veces existan sólo en el papel y que sea su inaccesibilidad el único freno al avance incontenible de los frentes de colonización y de la frontera agropecuaria o urbana. La creación, financiamiento, administración y descentralización de parques nacionales es un instrumento crítico para la protección de la biodiversidad y el mantenimiento de un gran número de funciones ambientales vitales. Los recursos hídricos que nacen en el Parque Nacional son originados principalmente por el deshielo de los glaciares y la precipitación pluvial, abundante en la región, por arriba de los 1000 mm anuales. Las corrientes superficiales pueden ser permanentes o intermitentes, éstas últimas son innumerables durante la época lluviosa. Es importante hacer notar que todos estos escurrimientos superficiales de la Sierra Nevada, conforman las trayectorias fluviales, subcuencas y cuencas hidrológicas que permiten la vida humana y la actividad económica en un sin número de asentamientos, desde el México central -la región más poblada del país- hasta las desembocaduras de los mismos. El Parque Nacional Izta-Popo, sufre como todas las áreas naturales protegidas de nuestro país, un proceso de deterioro causado por la presión que ejercen las poblaciones aledañas para el aprovechamiento de los recursos, razón por la cual, la protección y conservación de los ecosistemas de la Sierra Nevada son estratégicos y de seguridad nacional ([www.planeta.com](http://www.planeta.com) 2006).

## JUSTIFICACIÓN

Los sistemas hidrológicos identificados en el Parque Nacional Izta-Popo y su zona de confluencia son importantes porque forman parte del paisaje natural y tiene funciones esenciales en el ecosistema. El cauce de estos sistemas representa una importante fuente de abastecimiento de agua para los pobladores de la región; ya que es utilizada para uso doméstico, consumo humano, actividades agrícolas, etc.

Existe un número limitado de reportes sobre algas continentales en nuestro país, especialmente aquellas de los sistemas lóticos (**Valdez et al. 1996**). Por lo tanto, es importante el estudio de los grupos algales de los sistemas hidrológicos de tipo lótico encontrados en los manantiales y arroyos del Parque Nacional Izta-Popo y su zona de confluencia.

Otro aspecto que reviste de importancia el estudio de los grupos algales, es por que representan al primer eslabón de las cadenas tróficas y son los productores primarios del oxígeno (**Hutchinson, 1983**), y además funcionan como indicadores del estado trófico del agua.

Por todo lo anterior, se realizó el presente trabajo con el fin de contribuir al estado del conocimiento de la microflora algal en los sistemas lóticos del Parque Nacional Izta-Popo y su zona de confluencia y conocer las características físicas y químicas del sitio en cuestión.

## **OBJETIVO GENERAL**

Analizar la microflora algal y la relación con los parámetros hidrobiológicos de algunos arroyos y manantiales del Parque Nacional "Izta-Popo" y su zona de confluencia.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

1. Estimar la abundancia y diversidad de microalgas planctónicas y bentónicas de la zona de estudio.
2. Calcular la biomasa de fitoplancton en función del peso seco y peso húmedo de las microalgas planctónicas en la zona de estudio.
3. Calcular la concentración de clorofila A, B y C así como feofitina derivada de clorofila del fitoplancton.
4. Determinar parámetros físicos y químicos como: potencial de hidrógeno (pH), temperatura, oxígeno, bióxido de carbono, alcalinidad, dureza y concentración de nutrimentos (amonio, nitritos, nitratos y fosfatos); en la zona de estudio.

## ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo se realizó en el Parque Nacional “Izta – Popo”, decretado como tal el 8 de noviembre de 1935 y su zona de confluencia. Se localiza en el eje Neovolcánico Transversal y cubre aproximadamente un área de 46 000 hectáreas, abarca los límites de los Estados de México, Puebla y Morelos. Cubre parte de los Municipios de Tlalmanalco, Amecameca, Atlautla y Ecatzingo (México), los Municipios de Huejotzingo, San Salvador el Verde, Domingo Arenas, San Nicolás de los Ranchos, Tochímilco (Puebla) y el Municipio de Tetela del Volcán (Morelos, Fig. A). Su localización geográfica lo sitúa entre los meridianos 98°35' y 98°42'40" de longitud oeste y entre los paralelos de 18°59' y 19°15'30" de longitud norte (**Vargas, 1984**). Su altitud va desde los 3600 msnm hasta los 5452 msnm. Presenta dos tipos de clima: ETH (muy frío con lluvia en verano, temperatura media anual menor de 2°C bajo cero, mes más caliente menor de 0°C) y C (w"2) (semifrío, subhúmedo, temperatura media anual de 5-12°C, mes más frío de 3-18°C). La vegetación contempla el pinar abierto, bosque de oyamel, pradera subalpina y pradera alpina. Su fauna diversa cuenta con: el conejo de la montaña (teporingo especie endémica en peligro de extinción), ardillas, coyotes, musarañas, armadillos, conejos, zopilotes, gavilanes, lagartijas y víbora de cascabel (**INEGI 2001; Vargas, 2001**). A partir de los 4,500 msnm se percibe la presencia de glaciares. En el Popocatepetl se presentan tres glaciares al noroeste del cráter, con una masa de hielo que cubre aproximadamente 72 ha. Los glaciares son más numerosos en el Iztaccíhuatl aunque más pequeños, cubren por todo unas 76.9 ha. El aumento de la temperatura a escala mundial ha hecho retroceder los glaciares y algunos se han extinguido.

Se produce gran filtración de agua que va a alimentar corrientes subterráneas, los ecosistemas de la Sierra efectúan los procesos que permiten la recarga de acuíferos y mantos freáticos que abastecen buena parte de la zona metropolitana de la Ciudad de México y del Valle de Puebla-Tlaxcala. La distribución altitudinal de los recursos hídricos se caracteriza por una pendiente pronunciada en su curso alto, arriba de los 4,500 msnm, cada vez más atenuada conforme descienden. A la altura del parteaguas, la precipitación cae en forma de nieve o granizo, ello permite la formación de hielo o glaciares que sufren un proceso de eliminación paulatina. Debajo de la cota mencionada y hasta los 4000 m los escurrimientos son incipientes, a partir de los vértices de los glaciares donde comienza el deshielo, escurriéndose aguas abajo; en esta zona aparecen los primeros manantiales. Por debajo de los 4000 m los arroyos adquieren velocidad y volumen y los manantiales son más abundantes. Debajo de los 3500 m las aguas ejercen una fuerte erosión en el terreno ya que su caudal es la suma de los deshielos y las precipitaciones. Entre 2500 m y 2300 m los arroyos depositan todos los azolves arrastrados a lo largo de su trayectoria, formando abanicos aluviales. En esta zona encontramos la mayoría de los aprovechamientos del agua para regadío agrícola, generación de energía eléctrica y uso doméstico en los asentamientos humanos. El parte aguas de la Sierra Nevada es el origen que divide las aguas tributarias del Océano Atlántico (Golfo de México) de las del Océano Pacífico, formando dos de las más importantes cuencas de nuestro país y varias subcuencas que abastecen comunidades y municipios que rodean el Parque Nacional.

Hacia la parte occidental descienden gran cantidad de arroyos que van a desembocar al norte de la Sierra Nevada en la antigua zona lacustre de la Subcuenca Chalco y Lago de

Texcoco, los cuales a través del Gran Canal del Desagüe son tributarios del Río Tula y a su vez éste del Pánuco que desemboca en el Golfo de México. Hacia el sur de la Sierra Nevada, las corrientes que descienden, contribuyen a formar el Río Cuautla que alimenta la Subcuenca del Río Nexapa tributaria de la Cuenca del Balsas. En la vertiente oriental los escurrimientos del macizo montañoso conforman la Subcuenca del Atoyac tributaria también de la Cuenca del Balsas, misma que desemboca en el Océano Pacífico ([www.planeta.com](http://www.planeta.com) 2006). En la figura B se muestra una representación gráfica de la distribución de los puntos de muestreo.

## LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

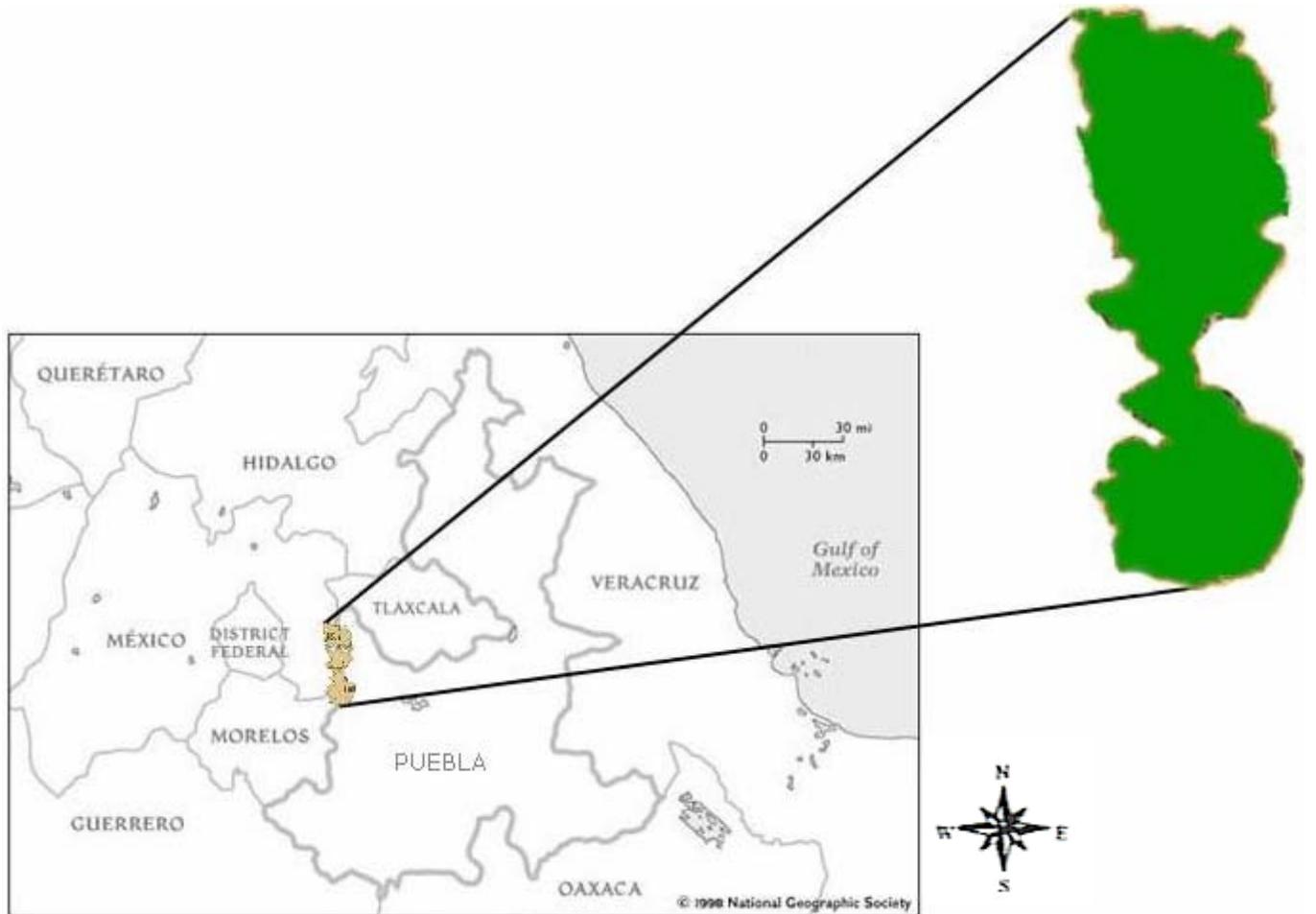
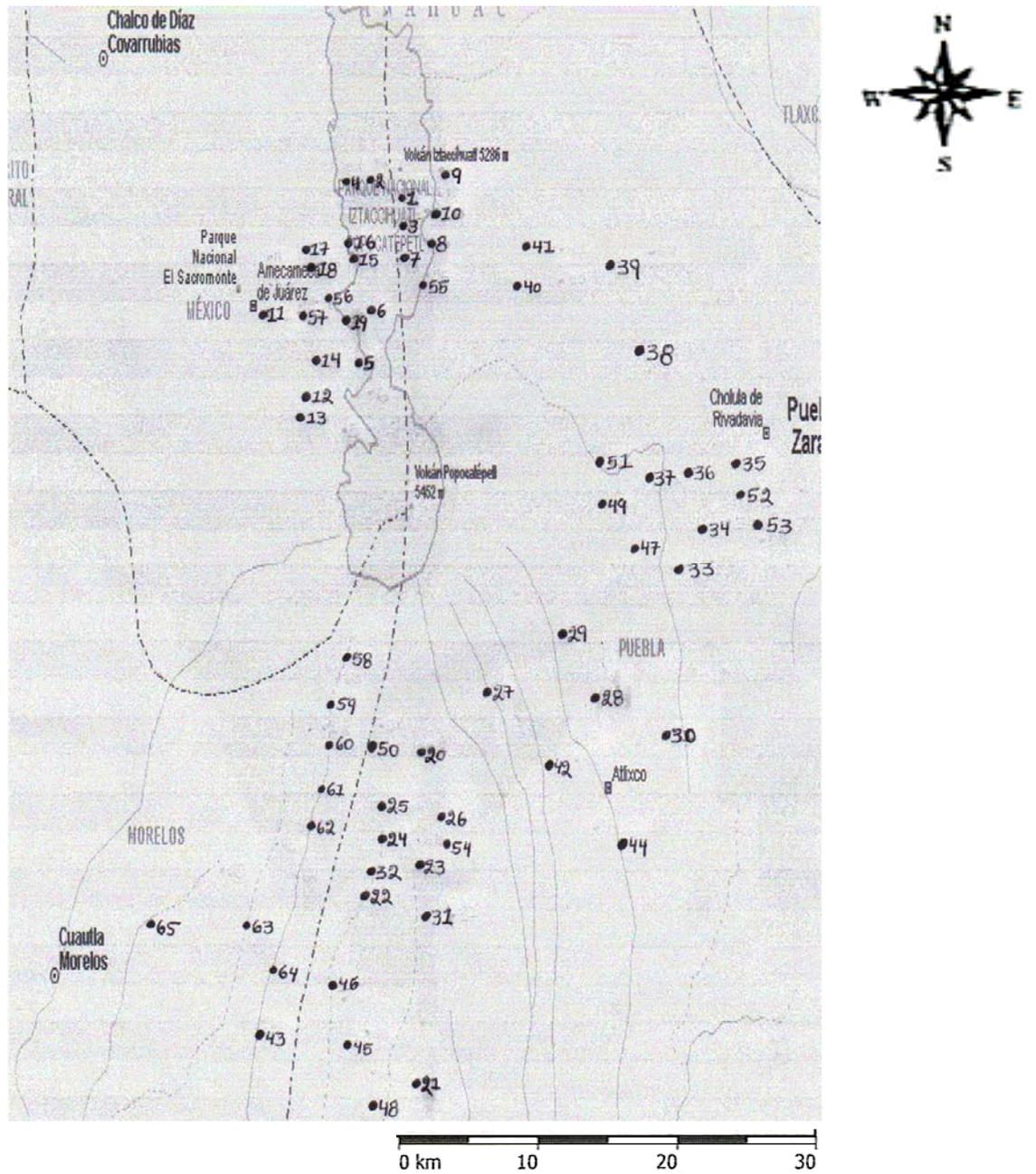


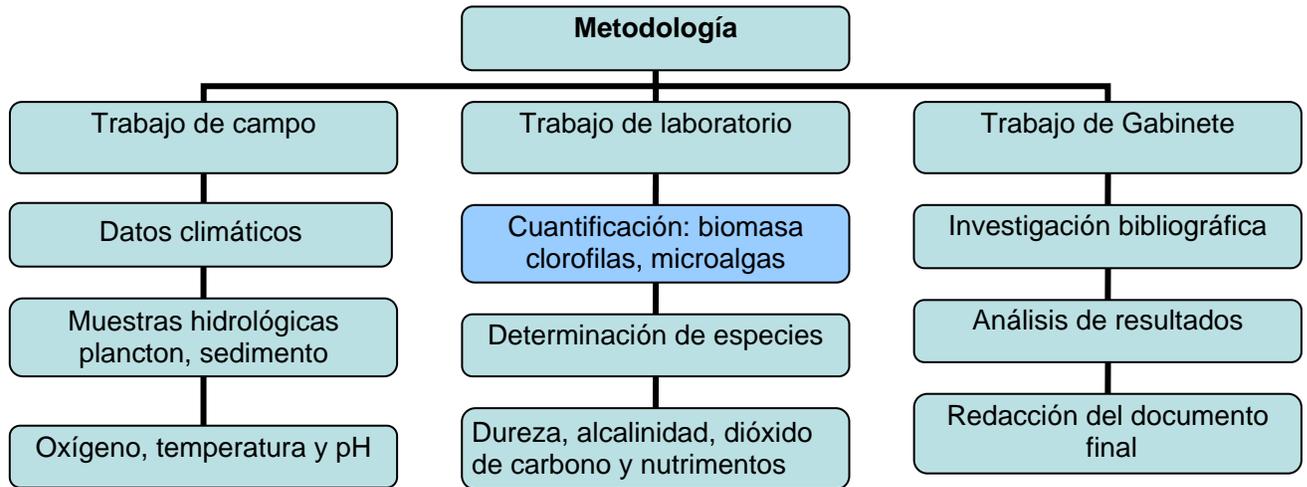
Figura A. Situación geográfica del área de estudio. Parque Nacional Izta-Popo.



(c) 1988-1998, Microsoft FT corporation y proveedores. Reservados todos los derechos

Figura B. Distribución de los puntos de muestreo ubicados durante el estudio.

## METODOLOGÍA



### Ubicación de los sitios de muestreo.

Primero se localizaron los sistemas hidrológicos por medio de la revisión de las cartas hidrológicas, topográficas, climáticas, de suelo, de uso de suelo, de vegetación y turísticas (E-14-B41 Amecameca de Juárez, E-14-B42 Huejotzingo, E-14-B51 Cuautla y E-14-B52 Atlixco) (I. N. E. G. I., 2001). Se realizó una visita prospectiva de la zona para conocer y ubicar los sitios de muestreos que posteriormente se visitaron cada mes de Febrero a Octubre del 2001. En los puntos de muestreo se tomaron datos de localización geográfica (altitud y coordenadas geográficas) con un geoposicionador, temperatura ambiente y descripción del punto de muestreo (tipo de sistema acuático y vegetación circundante).

### Trabajo de campo.

Los siguientes parámetros físicos y químicos del agua se midieron *in situ*: oxígeno (O<sub>2</sub>) (oxímetro Corning con precisión de  $\pm 0.01$ mg y rango de 0 a 20), la temperatura (°C) (termómetro Taylor de 10 a 150°C y precisión de  $\pm 1$ °C), el potencial de hidrógeno (pH) (potenciómetro Condutronic con precisión de 0.01 y rango de 0 a 14).

### Trabajo de laboratorio.

Los siguientes parámetros biológicos y químicos del agua se midieron en el laboratorio: biomasa (gr/100 mL), clorofilas (mg/m<sup>3</sup>) y densidades de fitoplancton (organismos/L), nutrientes (tetratest Kits), alcalinidad (mg/L), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>, mg/L) y dureza (mg/L) (A. P. H. A., *et al.* 1985).

### Muestreo de agua y sedimento.

Las muestras de agua se tomaron en botellas ámbar de 2 lt de capacidad. Las muestras para análisis de plancton se tomaron en botellas ámbar de 250 ml y se fijaron con formol al 4%. Las muestras del sedimento (100mg) se tomaron en bolsas de plástico de 2 Kg con una pala de jardinero, directamente del cuerpo de agua y se secaron a la llegada al laboratorio.

### **Medición del tamaño de partículas del sedimento.**

Las partículas del sedimento se separaron de acuerdo a su tamaño en un juego de cribas de anchura de malla normalizada. Para ello, se colocó la muestra en la criba superior de malla más separada y todo el juego de cribas se cerró con una tapadera, se agitó por 15 minutos y las muestras ya separadas se pesaron individualmente. Los pesos obtenidos se expresaron como porcentaje del peso total de la muestra. La siguiente lista señala los nombres que se dan a las partículas según su tamaño (**Schwoerbel, 1975**):

- 1) Piedras: mayor de 63.0 mm
- 2) Grava gruesa: 63.0 – 20.0 mm
- 3) Grava mediana: 20.0 – 6.3 mm
- 4) Grava fina: 6.3 – 2.0 mm
- 5) Arena gruesa: 2.0 – 0.63 mm
- 6) Arena mediana: 0.6 – 0.2 mm
- 7) Arena fina: 0.2 – 0.063 mm
- 8) Aluvión: menor de 0.063 mm

### **Fijación y cuantificación de fitoplancton.**

La fijación de las muestras se realizó con formol al 4%. Para la conservación del fitoplancton, se agregaron 2 o 3 gotas de formol por cada 100 ml de muestra (**A. P. H. A., et al 1985**). Para cuantificar los organismos se colocaron 3 a 5 ml de la muestra de fitoplancton en cámaras tubulares de Utermohl y se contaron los microorganismos contenidos en 10 a 20 campos al azar. Los resultados se expresaron como número de organismos por litro de muestra (**Schwoerbel, 1975**).

### **Método de clorofila.**

La muestra se filtro a través de un papel filtro de microfibra de vidrio y el filtro se colocó en acetona al 90% en oscuridad durante 24 horas (**Sestak, 1958**). Para determinar la concentración de clorofila, se midió la extinción del extracto de acetona en un espectrofotómetro a 665 nm, 645 nm y 630 nm (filtros de color), longitudes de onda que corresponden a los puntos de absorción máxima de clorofila a, b y c. Para calcular la concentración de clorofilas, se emplearon las siguientes formulas:

$$\text{Clorofila A} = 11.6 D_{665} (15.6) - 0.14 D_{630} (0.8) - 1.31 D_{645} (2.0)$$

$$\text{Clorofila B} = 20.7 D_{645} (25.4) - 4.34 D_{665} (4.4) - 4.42 D_{630} (10.3)$$

$$\text{Clorofila C} = 55 D_{630} (109) - 16.3 D_{645} (28.7) - 4.46 D_{665} (12.3)$$

Donde D630, D645 y D665 representan la absorbancia obtenida a las longitudes de ondas ya mencionadas. En cada caso, el resultado obtenido se multiplicó por el volumen filtrado y se dividió entre el volumen total de la muestra (**Parsons y Strickland 1963; Richards y Thompson 1952**). Para cuantificar feopigmentos en forma de feofitina; después de hacer las lecturas en el espectrofotómetro se agregaron 4 a 5 gotas de ácido clorhídrico al 5% y las muestras se volvieron a leer a 665 nm. Los valores de absorbancia se sustituyen en la siguiente formula:

$$\text{Feopigmentos} = \frac{26.7 (1.7) (665a - 665o) V}{V \times l}$$

Donde V es la cantidad de volumen filtrado de agua y l es la longitud de la cubeta, que se ha usado para hallar la extinción.

### **Biomasa en peso húmedo y seco.**

Antes y después de filtrar 250 ml de la muestra a través del papel filtro, éste se pesó, se dejó secar y se volvió a pesar. Se obtuvo la concentración de la biomasa en peso húmedo y peso seco por la diferencia del peso (**Schwoerbel, 1975**).

### **Determinación de especies.**

Los organismos presentes en agua y sedimento se identificaron con el empleo de las claves taxonómicas de (**Patrick R. y C. W. Reimer 1996 y Ortega M. 1984**) y se realizó su clasificación sistemática y descripción taxonómica.

### **Análisis estadístico.**

Se utilizó la prueba estadística del coeficiente de correlación para determinar si existe relación entre algunos parámetros físicos, químicos y biológicos con el gradiente altitudinal. La tabla 1 muestra el criterio de asociación con base en el valor absoluto de R (**Durán et al. 2004**).

<b>Valor absoluto de R</b>	<b>Grado de asociación</b>
0.8 – 1.0	Fuerte
0.5 – 0.8	Moderada
0.2 – 0.5	Débil
0 – 0.2	Insignificante

Tabla 1. Criterios de asociación según Durán *et al*, 2004.

## RESULTADOS

En la tabla 2 se muestra el nombre, ubicación altitudinal y tipo de sistema acuático en que fueron ubicados los sitios de muestreo. Con base en ello, se obtuvieron 65 muestras de agua y 65 muestras de sedimento que se colectaron entre los 1500 a 3950 msnm. En la figura C se muestran algunos tipos de sistemas acuáticos y vegetación representativos encontrados en la zona de estudio.

Punto	Mes	Nombre	Altitud MSNM	Estado	Subcuenca	Tipo de Sistema
01 *	Feb	Apatlaco I	3800	Puebla	La Compañía	Manantial
02 *	Mar	Doña Blanca I	3950	Edo. De Méx.	Amecameca	Manantial
03	Abril	Apatlaco II	3500	Puebla	La Compañía	Arroyo
04	May	Doña Blanca II	3400	Edo. De Méx.	Amecameca	Arroyo
05	Jun	La Cañada	3530	Puebla	La Compañía	Arroyuelo
06 *	Jun	Bajo Caracol I	3650	Edo. De Méx.	Amecameca	Arroyuelo
07	Jul	Apatlaco III	3550	Puebla	La Compañía	Arroyo
08	Jul	Apatlaco IV	3550	Puebla	La Compañía	Arroyo
09	Jul	Ocotlan (Nextlacutla)	3450	Puebla	La Compañía	Arroyo
10	Jul	Coquihuac (Apol)	3400	Edo. De Méx.	Amecameca	Arroyo
11	Jul	Tomacoco (Las Palomas)	2554	Edo. De Méx.	Amecameca	Arroyuelo
12	Jul	Nexpayantla	2850	Edo. De Méx.	Amecameca	Arroyuelo
13	Jul	Ecurr de Nexpayantla	2960	Edo. De Méx.	Amecameca	Arroyuelo
14	Ago	Tepepol	3319	Edo. De Méx.	Amecameca	Arroyo
15	Ago	Las Centinelas I	3502	Edo. De Méx.	Amecameca	Arroyo
16	Ago	La Coronilla	3585	Edo. De Méx.	Amecameca	Arroyo
17	Ago	Las Centinelas II	3382	Edo. De Méx.	Amecameca	Arroyo
18 *	Ago	Las Centinelas III (Cruz del Niño)	3686	Edo. De Méx.	Amecameca	Arroyo
19	Ago	Bajo Caracol II	3350	Edo. de Méx.	Amecameca	Arroyuelo
20	Ago-Sep	Popolocotl	2837	Puebla	La Compañía	Arroyo
21	Ago-Sep	Río Santa Cruz	1860	Puebla	La Compañía	Río
22	Ago-Sep	Atilahuitzilac	2200	Puebla	La Compañía	Arroyo
23	Ago-Sep	Matadero (Tochimilco)	1940	Puebla	La Compañía	Arroyo
24	Ago-Sep	Abatepetl	2514	Puebla	La Compañía	Arroyo
25	Ago-Sep	Agua La Maquina	2842	Puebla	La Compañía	Arroyo
26	Ago-Sep	Octaviano	2504	Puebla	La Compañía	Arroyo
27	Ago-Sep	Ahuitzo	1860	Puebla	La Compañía	Arroyo
28	Ago-Sep	El León (maravillas)	1860	Puebla	La Compañía	Arroyo
29	Ago-Sep	Atlimayaya	1910	Puebla	La Compañía	Arroyo
30	Ago-Sep	Cantarranas	1860	Puebla	La Compañía	Arroyo
31	Ago-Sep	Puente Grande	1940	Puebla	La Compañía	Arroyo
32	Ago-Sep	Zualco	2788	Puebla	La Compañía	Arroyo

Tabla 2. Localización de los puntos de muestreo estudiados.

\* Puntos localizados dentro del Parque Nacional "Izta – Popo".

Continuación de la tabla 2.

Punto	Mes	Nombre	Altitud MSNM	Estado	Subcuenca	Tipo de sistema
33	Sep	Ramal Río Nexapa	2050	Puebla	Nexapa	Río
34	Sep	Real Río Nexapa	2050	Puebla	Nexapa	Río
35	Sep	Xalapezco (San Jerónimo)	2050	Puebla	Nexapa	Arroyo
36	Sep	Huilapan	2100	Puebla	Nexapa	Arroyo
37	Sep	Ajal	2050	Puebla	Nexapa	Arroyo
38	Sep	Actiopan	2190	Puebla	La Compañía	Arroyo
39	Sep	Calpa (Metlapalapa)	2250	Puebla	La Compañía	Arroyo
40	Sep	Xopanac	1900	Puebla	La Compañía	Arroyuelo
41	Sep	Tanque Elevado	2360	Puebla	La Compañía	Arroyo
42	Sep	El Carmen	2350	Puebla	La Compañía	Arroyo
43	Sep	Axuxuca	2030	Puebla	La Compañía	Arroyo
44	Sep	Cuescomate	2500	Puebla	La Compañía	Arroyo
45	Sep	Atila	1610	Puebla	Nexapa	Arroyo
46	Sep	Atzitzihuacan	1820	Puebla	La Compañía	Arroyo
47	Sep	Río La Leona	2195	Puebla	La Compañía	Río
48	Sep	Contenedor Ahuehuello	1555	Puebla	Nexapa	Arroyo
49	Sep	Pozo Tumbacarretas	2400	Puebla	La Compañía	Arroyuelo
50	Sep	Matadero (Unión Atilahuitzilac)	1550	Puebla	La Compañía	Arroyo
51	Sep	Manantial Afluente Nexapa	1650	Puebla	Nexapa	Arroyo
52	Sep	Nexapa- Atoyac	1600	Puebla	Nexapa	Arroyo
53	Sep	Tepeojuma Nexapa	1500	Puebla	Nexapa	Arroyo
54	Sep	Matadero Puente Tejupa	1940	Puebla		Arroyo
55	Sep	Apatlaco V (Buena Vista)	3410	Puebla	La Compañía	Arroyo
56	Sep	Bajo Caracol III (Las Torres)	3560	Edo. De Méx.	Amecameca	Arroyo
57	Oct	El Salto	2620	Morelos	Nexapa	Arroyo
58	Oct	Afluente Amatzinac I	2580	Morelos	Nexapa	Arroyo
59	Oct	Afluente Amatzinac II	2580	Morelos	Nexapa	Arroyo
60	Oct	Afluente Amatzinac III	2350	Morelos	Nexapa	Arroyo
61	Oct	Afluente Amatzinac IV	2260	Morelos	Nexapa	Arroyo
62	Oct	Río Amatzinac	2200	Morelos	Nexapa	Río
63	Oct	Puente Zapotila	2190	Morelos	Nexapa	Arroyo
64	Oct	Puente Tetepeyatongo	2140	Morelos	Nexapa	Arroyo
65	Oct	Puente La Virgen	1885	Morelos	Nexapa	Arroyo

Tabla 2. Localización de los puntos de muestreo estudiados.

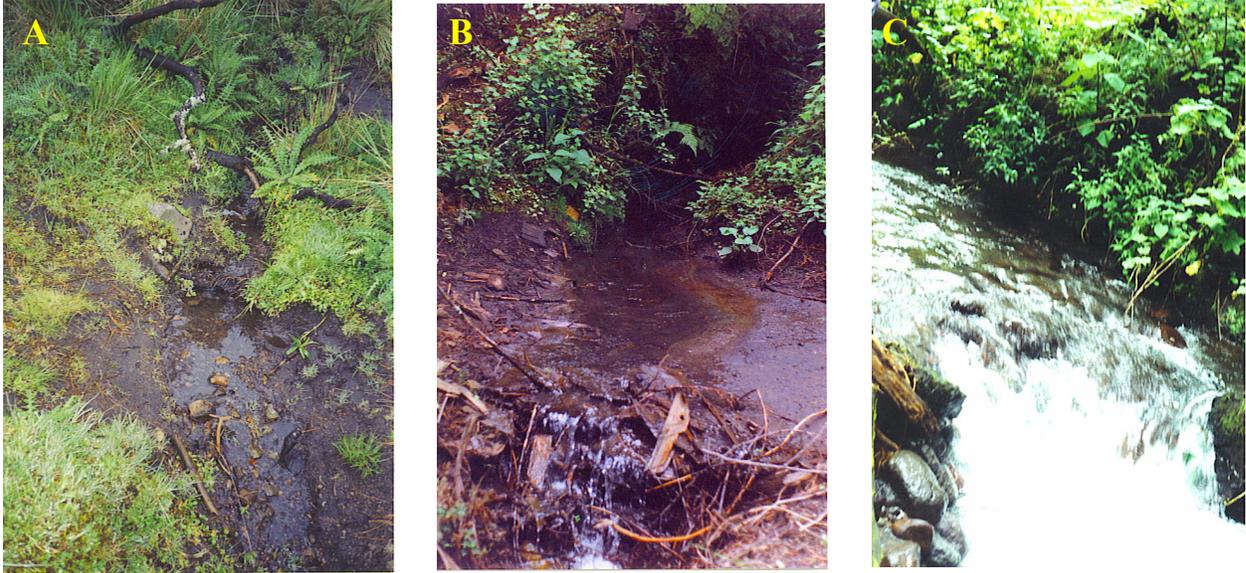


Figura C. Algunos tipos de sistemas acuáticos representativos (A.- Arroyuelo, B.- Arroyuelo y C.- Río) y vegetación asociada encontrados en los puntos de muestreo.

## PARÁMETROS FÍSICOS

### Temperatura ambiente.

La temperatura ambiente fluctuó de 8.6°C a 28.5°C (Figura 1) y este intervalo de temperatura mantuvo una relación inversa con el gradiente de altitud. El análisis de los datos mediante la prueba de coeficiente de correlación  $R= 0.7585$ , indicó que la temperatura ambiente que prevalece en los sitios de muestreo tiene un grado de asociación moderada con la altitud.

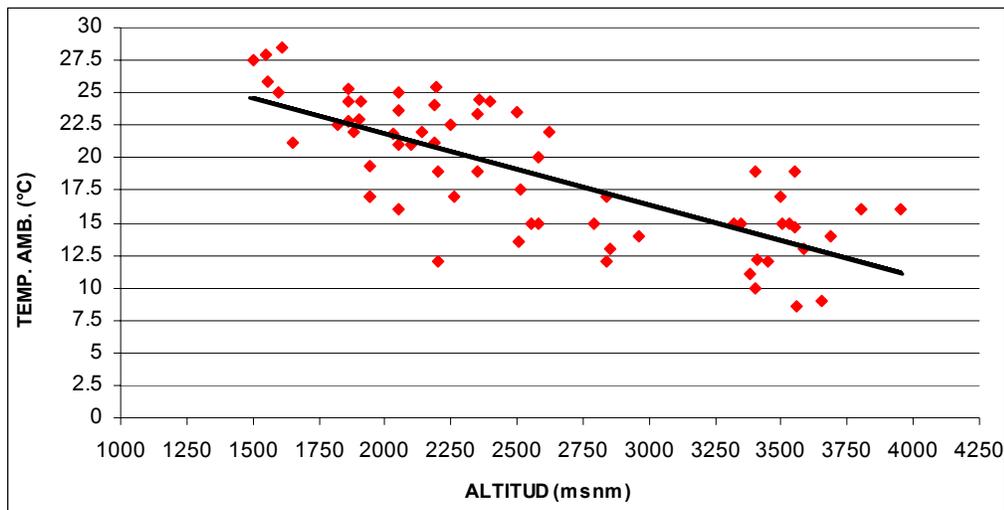


Figura 1. Temperatura ambiente en los puntos de muestreo del Parque Izta-Popo y sus alrededores.

### Temperatura del agua.

La temperatura del agua fluctuó entre 3°C y 26.5°C (Figura 2). Este intervalo de temperatura estuvo relacionado de manera inversa con el gradiente de altitud. El análisis de los datos mediante la prueba de coeficiente de correlación  $R= 0.8260$ , indicó que la temperatura del agua que prevalece en los sitios de muestreo tiene un grado de asociación fuerte con la altitud.

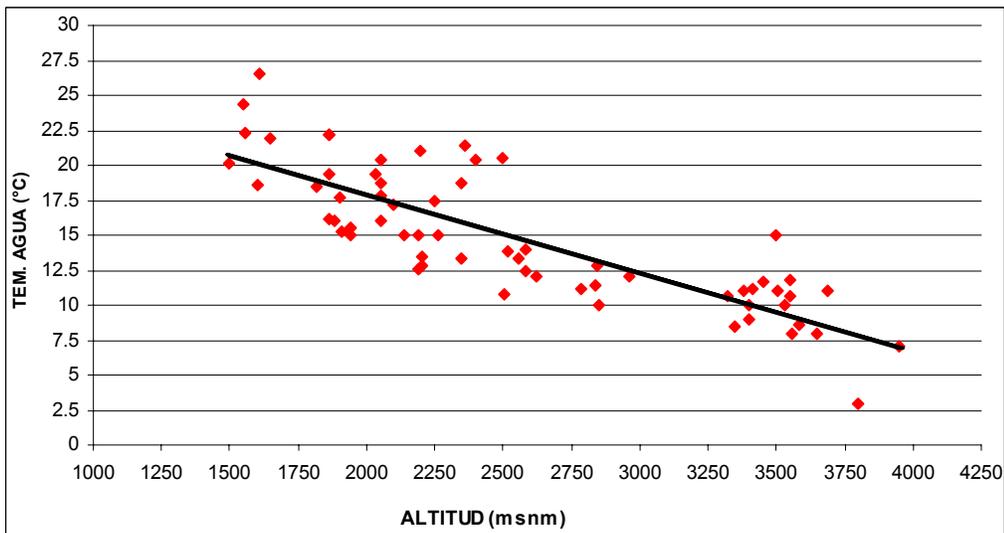


Figura 2.- Temperatura del agua en los puntos de muestreo del Parque Izta-Popo y sus alrededores.

### Potencial de hidrógeno (pH).

El potencial de hidrógeno fluctuó de 5.9 a 9.3 (figura 3) y mostró una tendencia de disminución con el gradiente de altitud. El análisis de coeficiente de correlación  $R= 0.4141$ , indicó que el potencial de hidrógeno de los sitios de muestreo tiene un grado de asociación débil con la altitud.

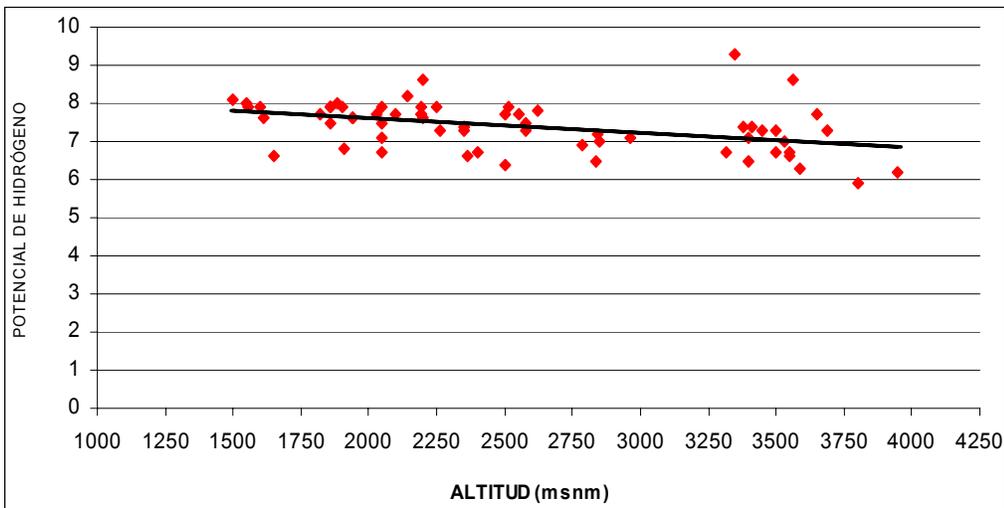


Figura 3.- Potencial de Hidrógeno en los puntos de muestreo del Parque Izta-Popo y sus alrededores.

### Oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>).

La concentración de O<sub>2</sub> disuelto en agua fluctuó de 4.2 a 8.7 mg/l (figura 4) y mostró una tendencia a mantenerse constante entre la mayor parte de los puntos de muestreo pero se pueden observar cambios de O<sub>2</sub> entre algunas localidades. El coeficiente de correlación R= 0.0842, indicó que la cantidad de oxígeno disuelto no esta asociada con la altitud.

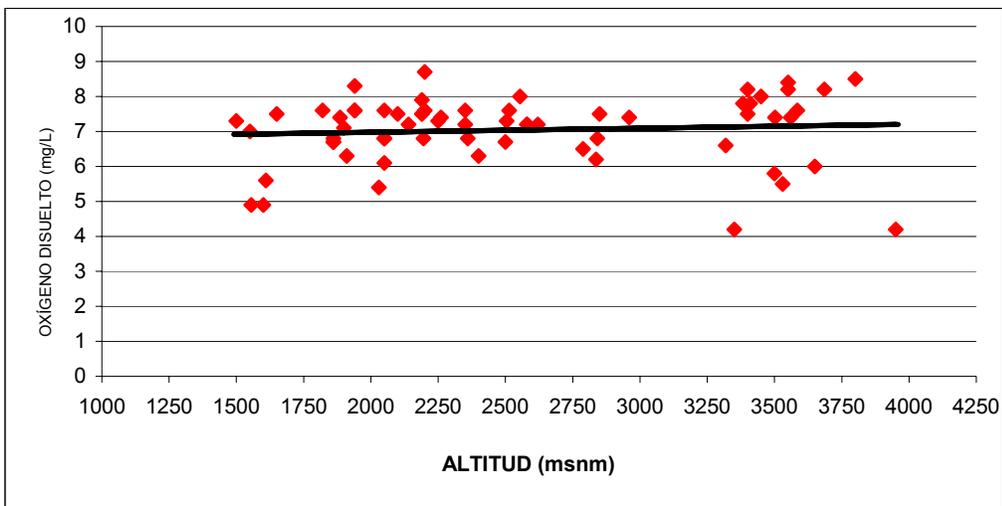


Figura 4. Oxígeno Disuelto en los puntos de muestreo del Parque Izta-Popo y sus alrededores.

### Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

La concentración de CO<sub>2</sub> disuelto en agua fue de 0.2 mg/l en cinco localidades, de 2 mg/l en 16 localidades, de 4 mg/l en cinco localidades, de 6 mg/l en tres localidades y de 10 mg/l en cinco localidades (Figura 5). La concentración de CO<sub>2</sub> en el resto de las localidades fluctuó de 0.19 a 1.99 mg/l. El coeficiente de correlación R= 0.2104, indicó que la cantidad de de CO<sub>2</sub> disuelto no esta asociada con la altitud.

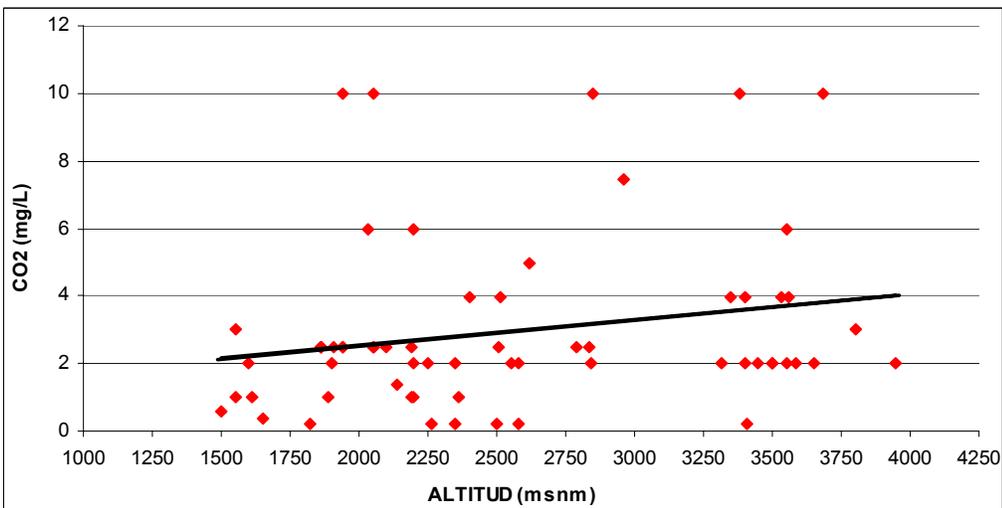


Figura 5. Dióxido de carbono en los puntos de muestreo del Parque Izta-Popo y sus alrededores.

### Alcalinidad total.

La alcalinidad total medida en función del contenido de bicarbonatos (mg/l) en agua, fluctuó de 24 a 600 mg/l (Figura 6). Este intervalo de alcalinidad estuvo relacionado de manera inversa con el gradiente de altitud. El análisis de los datos mediante la prueba de coeficiente de correlación  $R= 0.5392$ , indicó que la alcalinidad tiene un grado de asociación moderado con la altitud.

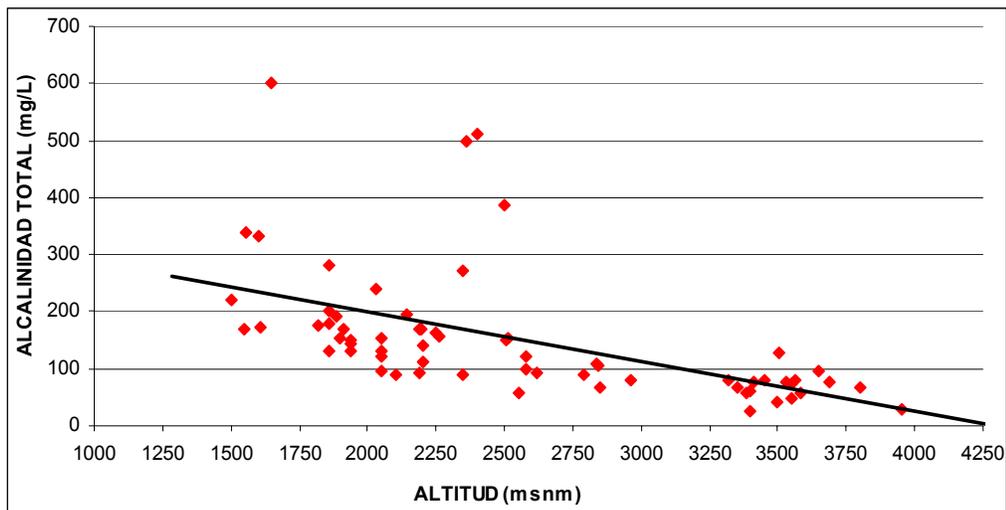


Figura 6.- Alcalinidad Total en los puntos de muestreo del Parque Izta-Popo y sus alrededores.

### Dureza total.

La dureza del agua debida al calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) fluctuó de 20 a 236 mg/l (figura 7). La concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  tuvo variaciones notables en todo el gradiente de altitud. Estas variaciones son más notables entre los 1500 y 2500 msnm. El coeficiente de correlación  $R= 0.5640$ , indicó que existe una asociación moderada entre la dureza total y el gradiente de altitud.

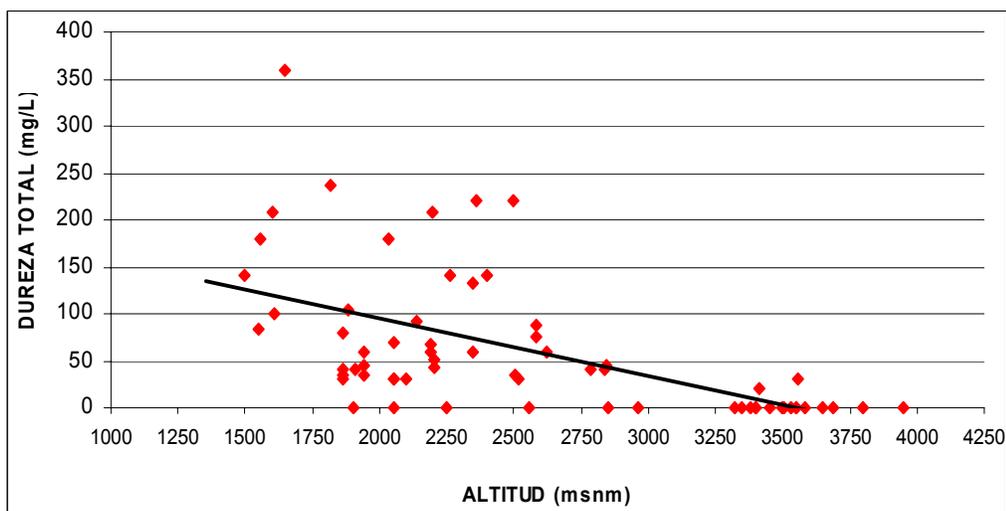


Figura 7.- Dureza del agua debida  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  en los puntos de muestreo del Parque Izta-Popo y sus alrededores.

### Dureza de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ).

La dureza del agua debida al  $\text{Ca}^{2+}$  fluctuó de 8 a 168 mg/l (figura 8). La concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  tuvo variaciones notables entre los 1500 y 2500 msnm. El coeficiente de correlación  $R= 0.4596$ , indicó que existe una asociación débil entre la dureza debida al  $\text{Ca}^{2+}$  y el gradiente de altitud.

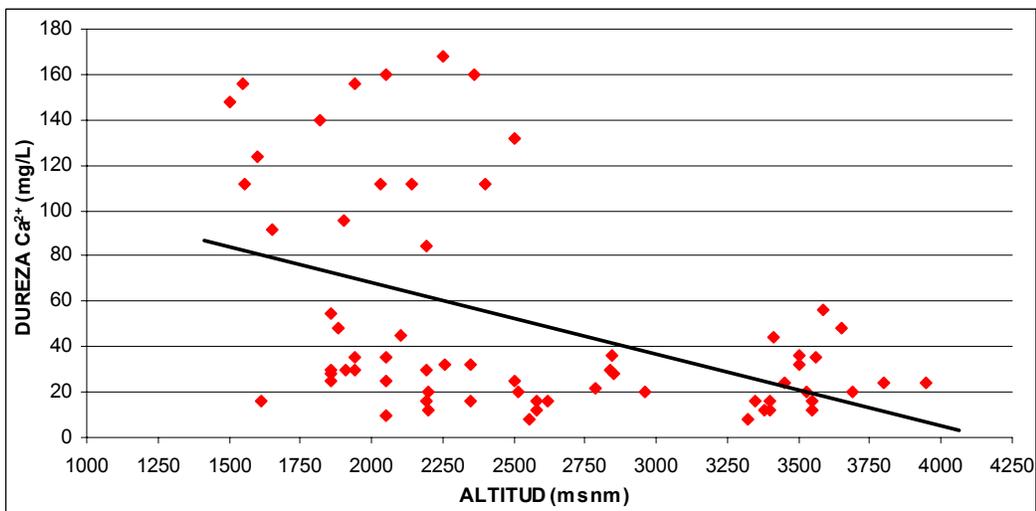


Figura 8.- Dureza total en los puntos de muestreo del Parque Izta-Popo y sus alrededores.

### Concentraciones de nutrimentos (Amonio, Nitritos, Nitratos y Fosfatos).

En el presente trabajo, la concentración promedio de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) fue de 1.58 mg/l y fluctuó de 0.2 a 3 mg/l (figura 9). Solo se encontraron concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  en 10 de 65 sitios muestreados. El coeficiente de correlación  $R=0.2349$  muestra que existe un grado de asociación débil entre la concentración de  $\text{NH}_4^+$  y el gradiente de altitud.

La concentración promedio de nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) fue de 0.42 mg/l y fluctuó de 0.28-1.6 mg/l (figura 9). En 20 sitios de muestreo localizados por arriba de los 3250 msnm la concentración de  $\text{NO}_2^-$  fue de cero. El coeficiente de correlación  $R= 0.5374$  muestra que existe un grado de asociación débil entre la concentración de  $\text{NO}_2^-$  y el gradiente de altitud.

La concentración promedio de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) fue de 0.097 mg/l y fluctuó de 0.01-0.54 mg/l (figura 9). La concentración de ( $\text{NO}_3^-$ ) tuvo variaciones notables entre los 1500 y 3000 msnm. El coeficiente de correlación  $R= 0.3061$ , muestra que existe una asociación débil entre la cantidad de  $\text{NO}_3^-$  y el gradiente de altitud.

La concentración promedio de fosfatos ( $\text{PO}_4$ ) fue de 0.41 mg/l y fluctuó de 0.02 a 1 mg/l (figura 9) en los puntos que se encuentran por abajo de los 3000 msnm. Por arriba de los 3250 msnm la concentración de  $\text{PO}_4$  fluctuó de 0.03 a 0.4 mg/l. El coeficiente de correlación  $R=0.4752$  muestra que existe un grado de asociación débil entre la concentración de  $\text{PO}_4$  y el gradiente de altitud.

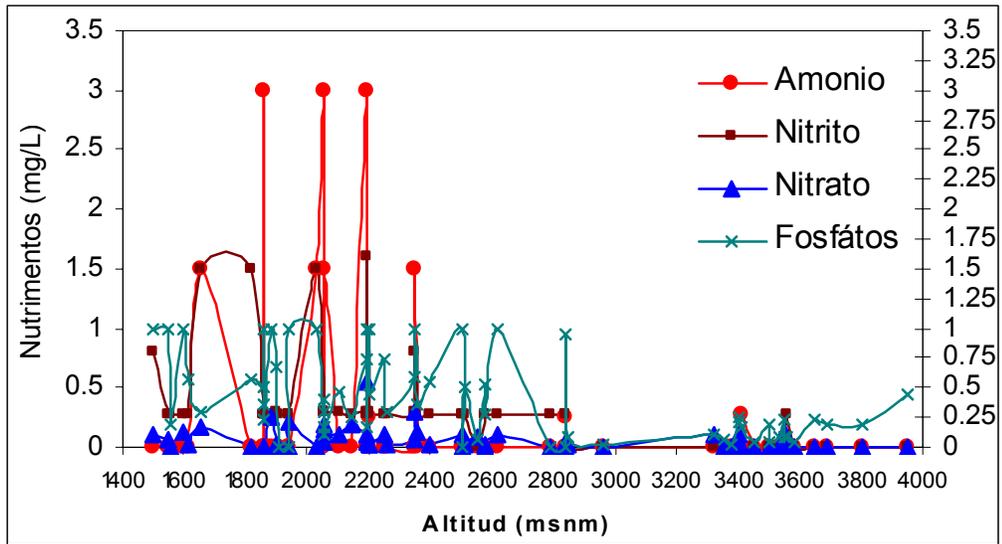


Figura 9. Distribución de nutrientes en algunos sistemas lóticos del Parque Izta-Popo y sus alrededores.

### Composición del sedimento

Se encontraron tres sustratos principales en el sedimento. La grava fina, arena gruesa y arena fina. El porcentaje de grava fina fluctuó de 0.39 a 61.64 % y representa el 25.41 % del sustrato total. El porcentaje de arena gruesa fluctuó de 0.1 a 34.23% y representa el 14.62 % del sustrato total. La arena fina fluctuó de 21.13 a 99.58 % y representa el 57.9 % del sustrato total (figura 10). En todos los casos, la distribución de los tres sustratos fue uniforme en todo el gradiente de altitud (datos no mostrados).

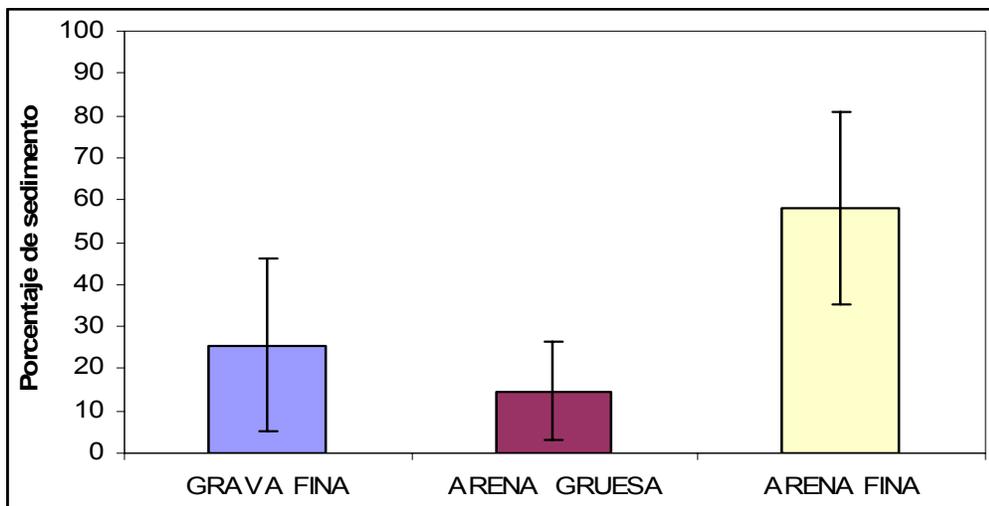


Figura 10. Composición del sedimento del Parque Nacional Izta-Popo y sus alrededores. Grava fina, arena gruesa y arena fina en el sedimento. Cada barra representa el promedio  $\pm$  desviación estándar de 65 muestras analizadas.

### Biomasa húmeda y biomasa seca.

La concentración de biomasa húmeda fluctuó de 0.194 a 0.4 g/100 ml (figura 11). Se obtuvieron 7 muestras con concentraciones que fluctuaron de 0.4 a 0.75 g/100 ml. El coeficiente de correlación  $R= 0.0574$ , indicó que no existe asociación entre la cantidad de biomasa húmeda y el gradiente de altitud. La concentración de biomasa seca fluctuó de 0.0 a 0.085 g/100 ml. Se obtuvieron 18 muestras con una concentración de biomasa seca que fluctuó de 0.001 a 0.02 g/100 ml, y en cuatro muestras se encontró una concentración que fluctuó de 0.03 a 0.085 g/100 ml, (figura 11). El coeficiente de correlación  $R= 0.1691$ , indicó que no existe asociación entre la cantidad de biomasa seca y el gradiente de altitud.

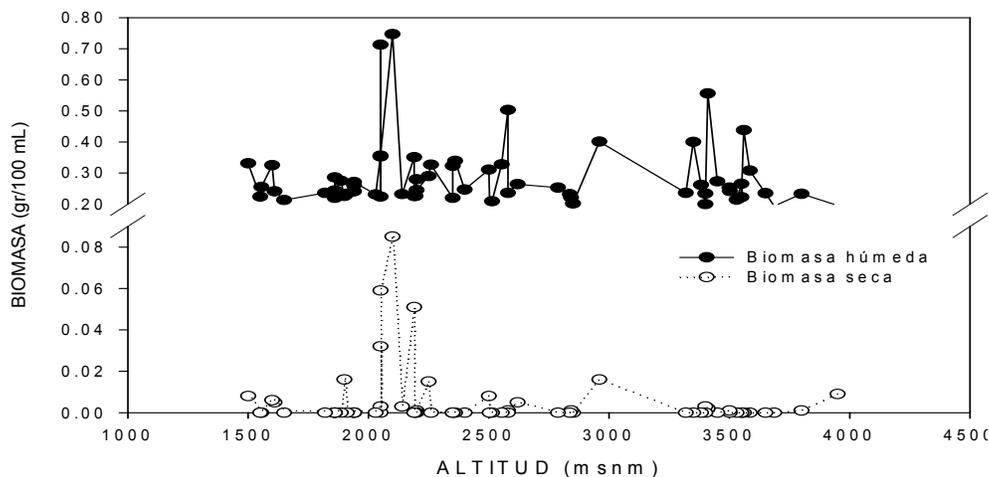


Figura 11.- Concentración de biomasa húmeda y biomasa seca en el Parque Izta-Popo y sus alrededores.

### Clorofila A, B, C y feofitina.

En el presente trabajo la cantidad promedio de clorofila A fue de  $0.73 \text{ mg/m}^3$  y las concentraciones fluctuaron de  $0.0345$  a  $4.3028 \text{ mg/m}^3$ . La cantidad promedio de clorofila B fue de  $1.76 \text{ mg/m}^3$  y las concentraciones fluctuaron de  $0.129$  a  $13.2955 \text{ mg/m}^3$ . La cantidad promedio de clorofila C fue de  $23.11 \text{ mg/m}^3$  y las concentraciones fluctuaron de  $0.9131$  a  $130.3811 \text{ mg/m}^3$ . La cantidad promedio de feofitina fue de  $0.22 \text{ mg/m}^3$  y las concentraciones fluctuaron de  $0.0453$  a  $3.5404$  (figura 12). La mayor concentración de pigmento correspondió a la de clorofila C.

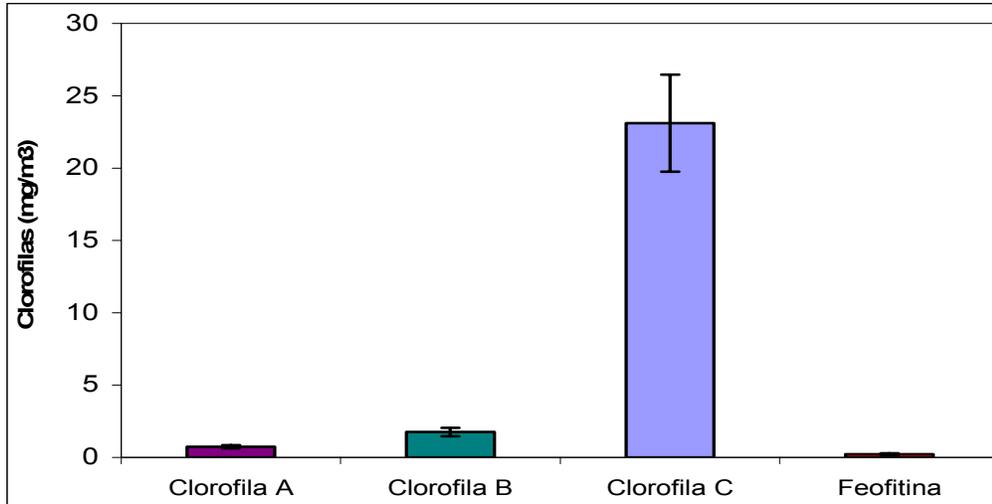


Figura 12. Clorofilas encontradas en agua del Parque Nacional Izta-Popo y sus alrededores. Cada barra representa el promedio  $\pm$  desviación estándar de 65 muestras.

### Densidad total de organismos en agua

En el presente estudio se encontró una densidad promedio de microalgas de 264095 en agua y fluctuó de 24000 a 721000 org/l (figura 13). No se observa relación entre la densidad total y el gradiente de altitud. Por lo que el valor del coeficiente de correlación  $R=0.0002$  indica que no existe una asociación entre la densidad total y el gradiente de altitud.

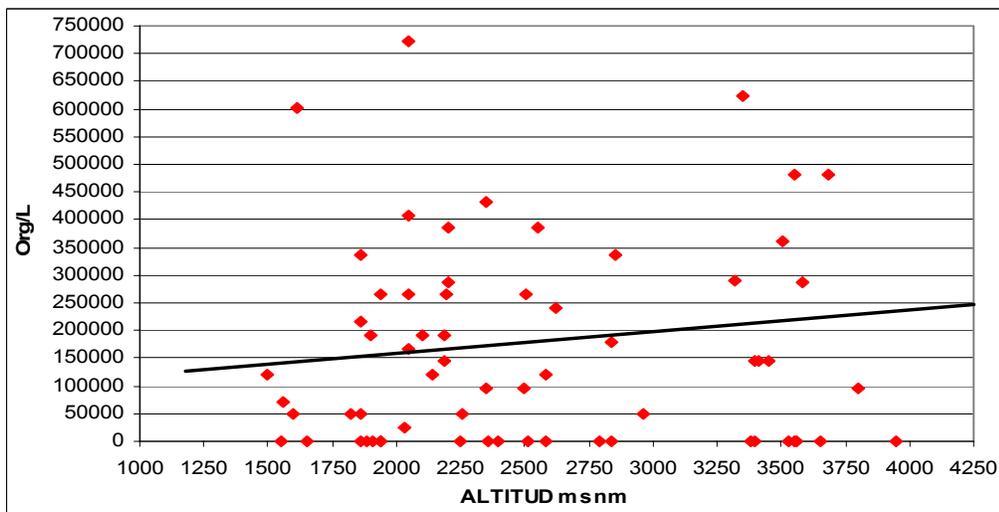


Figura 13.- Densidad total de organismos en agua de los puntos de muestreo del Parque Izta-Popo y sus alrededores.

**Abundancia y diversidad de especies de microalgas identificadas en agua.**

Se identificaron un total de 65 especies de microalgas. La mayor diversidad y abundancia de organismos identificados se debe a la división Heterokontophyta (Bacillariophyta) representada por las familias: Fragilariaceae, Naviculaceae, Eunotiaceae, Achnantheaceae, Cymbellaceae, Gomphonemaceae y Epithemiaceae. En estas, los géneros representativos fueron *Navícula*, *Nitzschia* y *Synedra* entre otras (figura 14).

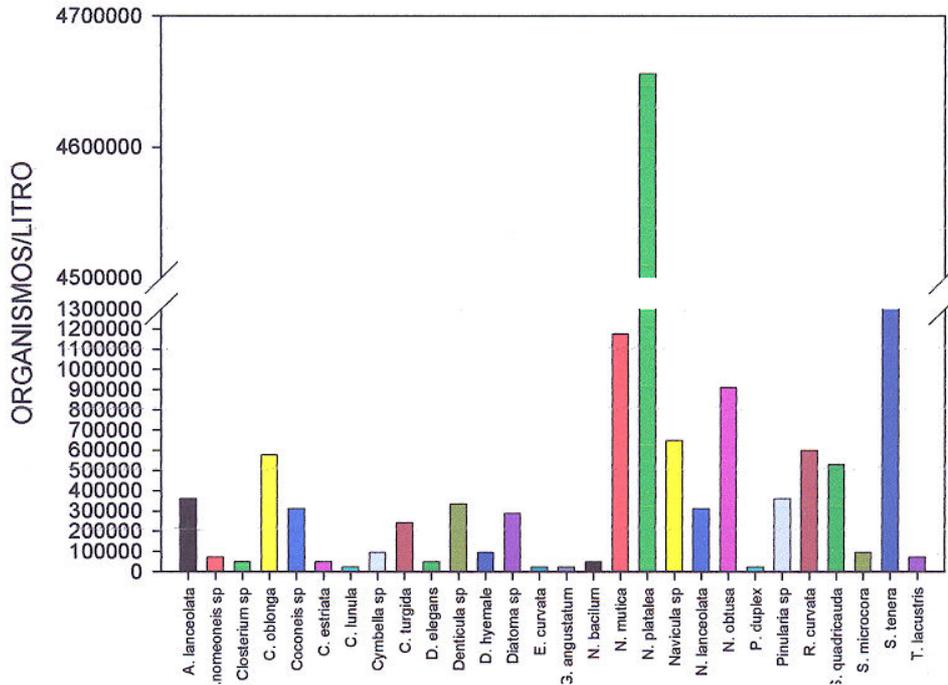


Figura 14. Abundancia y diversidad de microalgas en algunos sistemas loticos del Parque Nacional Izta-popo y sus alrededores.

**Densidad total de organismos en sedimento**

La densidad de organismos en el sedimento fluctuó de 1812 a 231482 org/gr (figura 15). Se obtuvieron cinco muestras con valores de 328948, 458333, 458333, 467392 y 874162 org/gr. El coeficiente de correlación  $R= 0.0010$  indica que no existe asociación entre la densidad total y el gradiente de altitud.

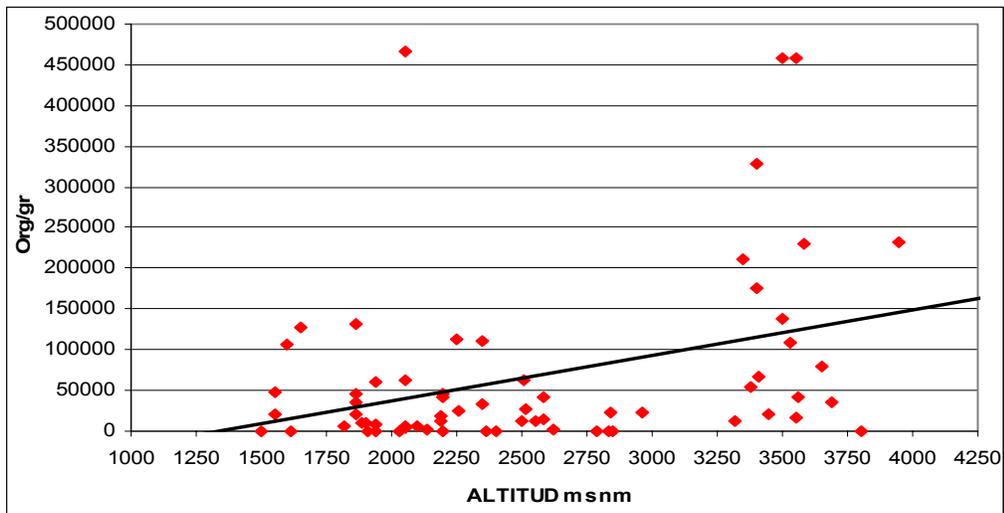


Figura 15. Densidad total en sedimento en los puntos de muestreo del Parque Izta-Popo y sus alrededores.

### Diversidad y abundancia de especies de microalgas identificadas en sedimento.

La mayor diversidad y abundancia de organismos identificados se debe a la división Heterokontofita (Bacillariophyta) representada por las familias: Fragilariaceae, Naviculaceae, Eunotiaceae, Achnantheaceae, Cymbellaceae, Gomphonemaceae y Epithemiaceae. En estas, los géneros representativos fueron *Diatoma*, *Navícula* y *Rhoicosphenia*, entre otros (figura 16).

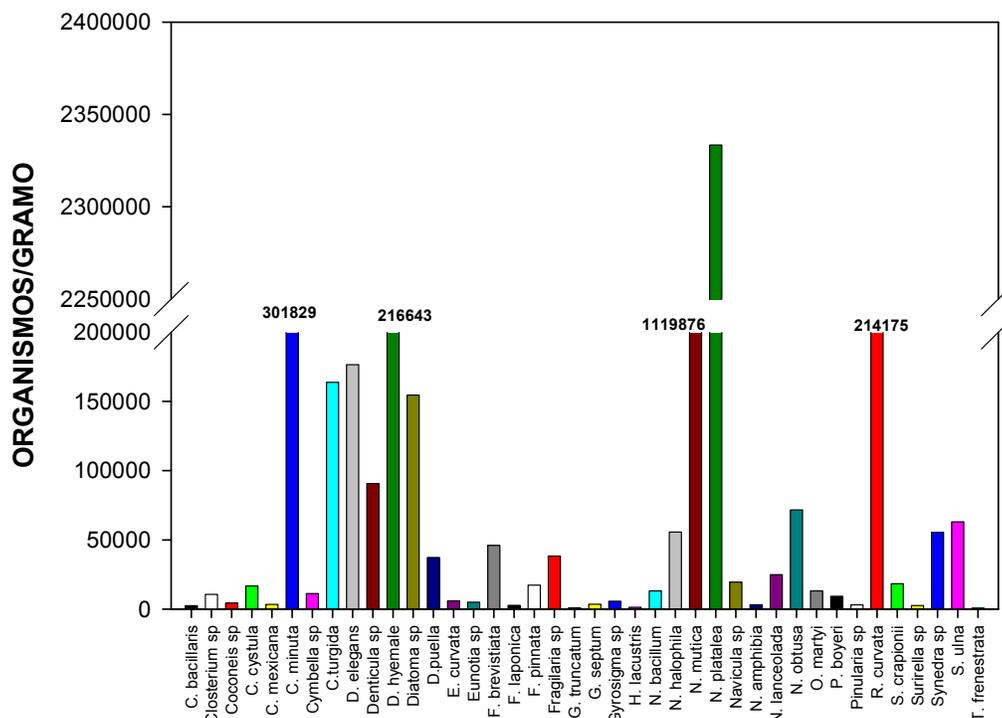


Figura 16. Abundancia y diversidad de microalgas en el sedimento del Parque Nacional Izta-popo y sus alrededores.

En la tabla 3 se muestra la diversidad de especies de microalgas identificadas en agua y sedimento. Como complemento a la tabla 3, se muestra la clasificación según Patrick (1996) de las especies de microalgas encontradas y nombre del autor que las describió por primera vez. Las figuras D, E y F muestran especies representativas de microalgas identificadas en agua y sedimento.

<b>Especies de Bacillariophyta</b>	<b>Agua</b>	<b>Sedimento</b>
<i>Achnanthes lanceolata</i> (Bréb)	X	
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i> (Pfitz)	X	
<i>Anomoeoneis sp</i>	X	
<i>Amphora birugula</i> (Hohm)	X	
<i>Caloneis bacillaris</i> (Grun)		X
<i>Cocconeis placentula</i> (Erh)		X
<i>C. oblonga</i> (Kütz)	X	
<i>C. striata</i> (Ehr)	X	
<i>Cocconeis sp</i>	X	X
<i>Cyclotella meneghiniana</i> (Kütz)	X	
<i>Cymbella cistula</i> (Ehr)		X
<i>C. lunula</i> (Ehr)	X	
<i>C. mexicana</i> (Ehr)		X
<i>C. minuta</i> (Hilse)		X
<i>C. turgida</i> (Ehr)	X	X
<i>Cymbella sp</i>	X	X
<i>Denticula elegans</i> (Kütz)	X	X
<i>Denticula sp</i>	X	X
<i>Diatoma hiemale</i> (Roth)	X	X
<i>Diatoma sp</i>	X	X
<i>Diploneis puella</i> (Shum)		X
<i>Eunotia curvata</i> (Kütz)	X	X
<i>Eunotia sp</i>		X
<i>Fragilaria brevistriata</i> (Grun)		X
<i>F. laponica</i> (Grun)		X
<i>F. pinnata</i> (Erh)		X
<i>Fragilaria sp</i>		X
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kütz)	X	
<i>G. septum</i> (Mogh)		X
<i>G. truncatum</i> (Ehr)		X
<i>Gomphoneis eriense</i> (Grun)	X	
<i>Gyrosigma sp</i>		X
<i>Melosira granulata</i> (Ehr)	X	
<i>Navícula bacillum</i> (Ehr)	X	X

Tabla 3. Distribución de especies de microalgas identificadas en muestras de agua y sedimento.

Continuación de la tabla 3

<b>Especie</b>	<b>Agua</b>	<b>Sedimento</b>
<i>Navícula halophila</i> (Grum)		X
<i>N. jaernefeltii</i> (Huso)		X
<i>N. mutica</i> (Kütz)	X	X
<i>N. platalea</i> (Ehr)	X	X
<i>Navícula sp</i>	X	X
<i>Nitzschia amphibia</i> (Grum)		X
<i>N. lanceolata</i> (Bréb)	X	X
<i>N. obtusa</i> (W.Sm)	X	X
<i>Opephora martyi</i> (Hérib)		X
<i>O. swartzii</i> (Grum)		X
<i>Pinnularia borealis</i> (Ehr)		X
<i>P. boyeri</i> (Pat)		X
<i>P. breviscotrata</i> (Cleve)		X
<i>P. maior</i> (Kütz)		X
<i>Pinnularia sp</i>	X	X
<i>Rhoicosphenia curvata</i> (Kütz)	X	X
<i>Stauroneis acuta</i> (W. Sm)	X	
<i>S. anceps</i> (Ehr)	X	
<i>Surirella capronii</i> (Bréb)		X
<i>S. microcora</i> (Ehr)	X	
<i>Surirella sp</i>		X
<i>Synedra fasciculata</i> (Kütz)		X
<i>S. ulna</i> (Ehr)		X
<i>S. tenera</i> (W. Sm)	X	
<i>Synedra sp</i>	X	X
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngb)		X
<i>Tetracylus lacustris</i> (Ralfs)	X	

<b>Especies de Chlorophyta</b>	<b>Agua</b>	<b>Sedimento</b>
<i>Closterium sp</i>	X	X
<i>Hematococo lacustris</i> (Rost)		X
<i>Pediastrum duplex</i> (Meyen)	X	
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Meyen)	X	

Tabla 3. Distribución de especies de microalgas identificadas en muestras de agua y sedimento.

## CLASIFICACIÓN SISTEMÁTICA Y DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA DE MICROALGAS QUE FUERON IDENTIFICADAS EN AGUA Y SEDIMENTO.

### **DIVISION: HETEROCONTOPHYTA (BACILLARIOPHYTA)**

**ORDEN:** Achnantales

**FAMILIA:** Achnanthaceae

### **GENERO:**

*Achnanthes*: Valva lineal o lanceolada, mantos más o menos profundos, cara valvar con pseudorafe cóncava y cara valvar con rafe convexa, valva con rafe presenta una fascia o estauros y un rafe-esternón central, pseudorafe sencillo, con frecuencia desplazado hacia alguno de los márgenes, su esternón es más delgado que el rafe-esternón. En la vista externa los extremos centrales son rectos y alargados, en la vista interna los extremos coaxiales son simples o ligeramente arqueados hacia algún sitio. Fisuras terminales curvadas.

*A. lanceolata* (Kütz): Estría ligeramente radiada. Estría, 11 a 14 en 10  $\mu\text{m}$  en ambas valvas. Longitud, 12 a 31  $\mu\text{m}$ . Ancho de 4.5 a 8  $\mu\text{m}$ .

### **GENERO:**

*Cocconeis*: Valva elíptica o circular, la valva con rafe es menos convexa que la valva con pseudorafe, mantos poco profundos, más distinguibles en la valva con rafe que en la valva de pseudorafe. Las estrías uniseriadas contienen pequeños poroides redondeados y llegan a presentar areolas loculadas. Los poroides están encerrados por hímenes con perforaciones lineares. En las valvas con rafe las estrías están interrumpidas por un borde submarginal, el cual también se proyecta interiormente. Cíngulo con pocas bandas delgadas sin poros.

*C. placentula* (Erh): Valvas elípticas, 8.55 a 10.44  $\mu\text{m}$  de diámetro. 17.37 a 18  $\mu\text{m}$  de longitud; rafe delgado recto; área central pequeña; estrías pequeñas y radiales 20 a 23 en 10  $\mu\text{m}$  finamente punteadas, radiadas; valva sin rafe, con un pseudorafe estrecho; estrías 19 a 20 en 10  $\mu\text{m}$ .

### **GENERO:**

*Rhoicosphenia*: Vista valvar con un contorno ovoide estriado con un polo de fijación estrecho y el ápice más largo, la vista conectiva es trapezoide pero doblada al medio en forma de ángulo obtuso, en ellas se muestran dos tabiques perforados reducidos en las cortas láminas polares, la valva cóncava tienen un rafe normal mientras que la otra, posee un pseudo rafe y sus extremos presentan un rafe muy reducido y corto. Las dos valvas están ornamentadas de finas estrías.

*R. curvata* (Kütz): Ápices redondeados, medidas de las valvas: eje apical de 49-76  $\mu\text{m}$  de largo, eje transapical de 3-4  $\mu\text{m}$  de ancho. Densidad de estrías: 13-16 estrías en 10  $\mu\text{m}$ . Especie particular del charco.

**ORDEN:** Eunothiales

**FAMILIA:** Eunotiaceae

**GENERO:**

*Eunotia:*

Con forma rectangular cuando se le ve de perfil, valvas isopolares, en vista valvar se observa el eje curvado, margen ventral recto, cóncavo o raramente convexo, algunas veces ondulado, con nódulos polares muy conspicuos. Superficie valvar finamente estriada, estrías punteadas perpendiculares al eje recurvado, las estrías están interrumpidas por una línea hialina conocida como pseudorafe. En los extremos se ven los rafes rudimentarios muy cortos.

*E. curvata* (Kütz): Célula alargada ligeramente arqueada, ápices redondeados, nódulos polares muy conspicuos. El contorno general de la valva tiene una apariencia lisa. Estría, 13 a 18 en 10  $\mu\text{m}$ . Longitud de 20 a 150  $\mu\text{m}$ . Ancho de 3 a 6  $\mu\text{m}$ .

**ORDEN:** Epithemiales

**FAMILIA:** Epithemiaceae

**GENERO:**

*Denticula:* Frústula en la vista estrecha, linear o rectangular. Rafe excéntrico, cerca del un margen de la valva. Costado con extremos redondeados o capitados. En la vista valvar presenta estría y costal. Usualmente la estría más o menos distintivamente puntuada. Este género está cercanamente relacionado con *Epithemia* (cistopleura) pero difiere por el rafe que es recto más que curvado y carece de un nódulo central reconocible. La forma de la valva es generalmente simétrica al eje transversal y apical. Frustulas formando cadenas flojas o en masas gelatinosas.

*D. elegans* (Kütz): Extremos de costado capitados. Estría distintivamente puntuada. Costado, 3 a 5 en 10  $\mu\text{m}$ . Estría, de 15 a 18 en 10  $\mu\text{m}$ . Longitud, de 15 a 40  $\mu\text{m}$ . Ancho, de 4 a 7  $\mu\text{m}$ .

**ORDEN:** Fragilariales

**FAMILIA:** Fragilariaceae

**GENERO:**

*Diatoma:* Frústulas formando zigzag o filamentos lineales. Frústulas en vista estrecha rectangular, algunas veces presentan bandas intercaladas, septo ausente, vista valvar lineal o elíptica, valva transversal por entre costados con estrías, las cuales son usualmente punteadas indistintamente. Seudo rafe muy café a oscuro.

*D. hiemale* (Roth): Bandas intercaladas en la vista estrecha, pseudorafe ligeramente ancho en la porción media de la valva, estrechándose hacia los ápices. Costado de 2 a 4 en 10  $\mu\text{m}$ . Estría de 18 a 20 en 10  $\mu\text{m}$ . Largo 30 a 100  $\mu\text{m}$  y ancho de 7 a 13  $\mu\text{m}$ .

**GENERO:**

*Fragilaria:* Valva linear o linear lanceolada, elíptica, capitada, algunas veces con un área central ensanchada, esternón linear con frecuencia expandido en el centro, areolas simples, cribas en forma de disco, presentan varias cópulas, poros apicales con poco desarrollo como ocelos, pseudorafe en ambas valvas.

*F. brevistriata* (Grun): Ápices rostrados a subrostrados. Estría marginal, ligeramente radiado. Estría de 13 a 17 en 10 µm. Longitud de 12 a 28 µm y ancho de 3 a 5 µm.

*F. laponica* (Grun): Frústula en la vista estrecha lineal, rectangular con extremos redondeados. Línea valvar ligeramente lanceolada con ápices redondeados o algo en forma de cuña. Estría marginal de 6 a 9 en 10 µm. Largo 12 a 40 µm. Ancho 4 a 6 µm.

*F. pinnata* (Erh): Frústula linear-rectangular casi cuadrada en la vista más estrecha, estría radiada en el ápice, casi paralelo en la parte media de la valva, cruzado por finas líneas. Estrías 7 a 12 en 10 µm. Líneas finas acerca de 20 en 10 µm. Largo 3 a 35 µm. Ancho 2 a 6 µm.

#### **GENERO:**

*Opephora*: Frustulas en vista estrecha, un poco en forma de cuña. En la valva se ve un ápice estrecho causando que la otra valva sea asimétrica al eje transversal. Ápices en la valva redondeados. Pseudorafe variable en distinta anchura. Rafe ausente. Estrías anchas.

*O. martyi* (Hérib): Frústulas en vista angosta cuadradas. Ligeramente más estrecho en un extremo que en el otro, valva ovoide con ápices redondeados, un ápice más ancho que el otro. Ancho de estría 4.5 a 8 en 10 µm. Largo 5 a 60 µm. La porción más ancha de la valva es de 4 a 8 µm.

*O. swartzii* (Grum): Valva lineal claviforme con ápices redondeados pseudorafe regularmente ancho distinto. Estrías, cruzado por bandas; casi paralelo en todas partes de la valva. Estrías de 3 a 4 en 10 µm. Largo de 44 a 178 µm. La porción más ancha de la valva es de 10 µm.

#### **GENERO:**

*Synedra*: Valvas lineales, con frecuencia capitadas e infladas en su porción central. Estrías perpendiculares con respecto al esternón que es estrecho. Algunas veces ausentes o evidentes en el área central. Estrías compuestas por líneas de areolas simples, elongadas o redondeadas. Se continúan hasta el manto valvar, el cual forma un ángulo recto con respecto a la cara valvar. Ápices con campos de pequeños poros que con frecuencia se encuentran agrupados estrechamente debajo de la superficie de la valva. En algunas especies en la parte superior del campo de poros hay dos pequeñas proyecciones en forma de cuerno. Cópulas angostas completas y con una línea de areolas cercanas al borde advalvar.

*S. fasciculata* (Ehr): Frústulas usualmente estrechas y muy extensas. Pseudorafe distinto de 1/3 a 1/2 de la anchura de la valva. Área central ausente. Un poro gelatinoso distinto presente y cerca de la estría terminal. Estrías de 10 a 14 en 10 µm. Largo generalmente de 175 a 250 µm. Ancho de 4 a 7 µm.

*S. ulna* (Ehr): Estrías perpendiculares con respecto al esternón que es estrecho. Estrías compuestas por hileras de areolas simples, alongadas o redondeadas, ocasionalmente biseriadas, se continúan hasta el manto valvar, el cual forma un ángulo recto con respecto a la cara valvar. Una rimopórtula esta localizada cerca de cada ápice, y externamente presenta una abertura redonda o ligeramente alargada, como una pequeña depresión, internamente es una estructura tubular en forma de labio

localizada en la penúltima estría. Medidas de las valvas: eje apical de 115-181.5  $\mu\text{m}$  de largo, eje transapical de 5.7-11.6  $\mu\text{m}$  de ancho. Densidad de estrías: 10-12 estrías en cada 10  $\mu\text{m}$ . Especie dominante.

*S. tenera* (W.Sm): Valva muy estrecha, lineal, alrededor de los extremos ligeramente hinchados. Ápices no claramente diferenciados del resto de la valva. Algunas veces ligeramente rostrados y capitados. Pseudorafe indistinto. Área central ausente. Estría fina paralela, generalmente de 23 a 28 en 10  $\mu\text{m}$ . Largo de 30 a 62  $\mu\text{m}$ . Largo de 1.2 a 5  $\mu\text{m}$ .

**GENERO:**

*Tabellaria*: Frústula formando zigzag o filamentos. En vista estrecha rectangular. Bandas intercaladas y septo presente. En la vista estrecha el septo aparece como líneas cortas y engrosadas. En vista valvar el septo se extiende a varias longitudes bajo la superficie de la valva. Valva finamente estriada.

*T. fenestrata* (Lyngb): Vista estrecha con cuatro o menos septos los cuales están doblados por fuera desde la valva por una corta distancia por abajo del punto de inserción. Cinco septos raramente observados. No presenta septos rudimentarios. En la vista valvar lineal; septo inflado en el centro de la valva y en los ápices distintamente capitados. El ancho de la valva en la porción media y en los ápices en el mismo. El poro gelatinoso se localiza cerca del centro de la inflación media. Pseudorafe distinto, algunas veces algo más amplio en el centro de la valva formando un área central pequeña de forma variable. Estrías paralelas de 14 a 18 en 10  $\mu\text{m}$ . Longitud de 25 a 116  $\mu\text{m}$ , usualmente de 40 a 75  $\mu\text{m}$ . Ancho en la porción media de 5 a 10  $\mu\text{m}$  pero ocasionalmente menor.

**GENERO:**

*Tetracyclus*: Frústulas presentes en filamento; en vista estrecha rectangular con numerosas bandas intercaladas y septo corto. El septo está bien desarrollado en uno de los extremos de la valva, pero únicamente como una banda estrecha en el resto de la valva. Valva de forma variable, con costal y presenta estrías. La parte costal es usualmente curvado y de longitud irregular, algo extendidos cruzando la valva. Pseudorafe estrecho usualmente indistinto.

*T. lacustris* (Ralfs): Valva hinchada en la parte media con rostrado. Pseudorafe indistinto y estrecho. Costado irregular a lo largo y usualmente algo curvado. Costado de 3 a 4 en 10  $\mu\text{m}$ . Estrías, cerca de 24 en 10  $\mu\text{m}$ . Longitud alrededor de una a un medio veces el ancho de la valva. Largo de 30 a 80  $\mu\text{m}$ . Ancho de 15 a 35  $\mu\text{m}$ .

**ORDEN:** Naviculales

**FAMILIA:** Cymbellaceae

**GENERO:**

*Cymbella*: Valvas que van desde naviculoides hasta fuertemente arqueadas, con polos redondeados, rostrados o capitados. Mantos más o menos iguales en formas naviculoides pero progresivamente más desiguales al incrementarse la asimetría del contorno de la valva. Cara valvar plana, raramente ornamentada hacia el manto dorsal. Estrías uniseriadas con poroides. Vista externa con estrías compuestas de poroides

redondeados en forma de fisura o dendríticos. Parte interna con poroides no ocluidos. En especies con tallo, ápices con área discreta compuesta de pequeños poros redondeados no ocluidos. Los rafe se localizan a lo largo de la cara valvar, cerca de la línea media de la valva y curvada fuertemente en forma dorsoventral. Fisura externa del rafe frecuentemente curvada. Los extremos centrales del rafe están formados con poros alargados o por ganchos que apuntan hacia el margen ventral, pero la fisura terminal gira hacia el margen dorsal vista interna con extremos centrales curvados u ocultos por un nódulo en forma de aleta. Cíngulo compuesto de cuatro bandas abiertas, la segunda es muy reducida, las bandas usualmente contienen una línea transversal compuesta de poroides.

*C. cistula* (Ehr): Área axial estrecha lineal aproximadamente central. Área central pequeña, algunas veces redonda, rafe curvado hacia el área axial, lateral rectangularmente, ajustando el reverso lateral cerca de los extremos proximales y más o menos filiformes cerca de los extremos distales. Extremo distal y rafe dorsalmente desviado. Estrías 7 a 9 en 10  $\mu\text{m}$ . Ajustando 12 a 13 en 10  $\mu\text{m}$ . Cerca de los extremos. Largo 40 a 120  $\mu\text{m}$ . Ancho 15 a 25  $\mu\text{m}$ .

*C. mexicana* (Ehr): Valvas fuertemente dorsoventrales, estría radiada, estría más corta puesta a la mitad de la valva, extremos sin estrías, rafe proximal con extremos bulbosos, estigma del alveolo casi vertical con aberturas externas entre los extremos del rafe proximal. Estrías 7 a 8 en 10  $\mu\text{m}$ . Ajustando 9 a 10 en 10  $\mu\text{m}$ . Cerca de los extremos. Largo 80 a 165  $\mu\text{m}$ . Ancho 24 a 33  $\mu\text{m}$ .

*C. minuta* (Hilse): El margen varía de ligeramente tumido a recto a la mitad de la valva. Los extremos son ligeramente fijados fuera del cuerpo de la valva y a menudo algo verticalmente inclinado. Área axial estrecha, lineal, centralmente desplazado y más paralelo al margen ventral. Área central pequeña o ausente. Extremos del rafe proximal desviados dorsalmente. Extremo distal desviado centralmente. Estría 14 a 16 en 10  $\mu\text{m}$ . Sobre y bajo el área central, llegando hacer 18 a 19 en 10  $\mu\text{m}$ . En los extremos. Largo 9 a 28  $\mu\text{m}$ . Ancho 4.5 a 6  $\mu\text{m}$ .

*C. turgida* (Ehr): Vista valvar con rafe excéntrico, un lado curvado que le da asimetría bilateral.

**FAMILIA:** Gomphonemaceae

**GENERO:**

*Gomphoneis*: Valva elongada o claviforme, asimétrica al eje transversal. Área axial estrecha, lineal, ligeramente se extiende hacia el área central. Rafe filamentosos. Fisuras terminales rectas o ligeramente inclinadas, no forman una fisura curva. Área central más o menos redondeada con una o varias marcas. Una línea longitudinal más o menos distinta en ambos lados de la valva a una distancia variable del margen de la valva. Estas líneas marcan el borde de una estructura interna como septo.

*G. eriense* (Grun): Valva ampliamente lanceolada con base y ápice obtuso redondos. Área axial estrecha, lineal. Rafe ampliamente filamentosos. Área central redonda, a veces más circular de un lado que del otro. Un estigma separado del área central. Largo 32 a 56  $\mu\text{m}$ . Ancho 13 a 14  $\mu\text{m}$ .

**GENERO:**

*Gomphonema*: Frústulas en vista estrecha en forma de cuña. Bandas intercaladas y septo verdadero ausente. Valva simétrica al eje longitudinal, asimétrico al eje transversal. Estría compuesta de más o menos líneas distintas de poros. En muchas especies una o más de las estrías opuestas al extremo del nódulo central esta en un poro aislado. Sin embargo en algunas especies el poro aislado o estigma esta en el área central. Rafe esternón delgado y central

*G. angustatum* (Kütz): Ápices rostrados. Área axial angosta con un estigma sobre un lado, frente a una estría central. Las aberturas de las areolas pueden ser ligeramente alargadas, redondas o en forma de "c" principalmente cerca del rafe. La valva presenta un campo de poros pequeños en el polo basal, por los cuales se excreta el mucílago que conforman los pedículos. Rafe filiforme central, con los extremos finales ligeramente curvados. En vista externa los extremos centrales del rafe son rectos. Largo 12 a 45  $\mu\text{m}$ . Ancho 5 a 9  $\mu\text{m}$ . Estrías 9 a 12 en 10  $\mu\text{m}$ . Especie dominante.

*G. septum* (Mogh): Valva claviforme lanceolada. Ápice agudo, base capitada. Un septo cubriendo el ápice. Rafe filamentosos, nódulo terminal distintamente espeso y expandido lateralmente a la base. Estría radiada en toda la valva y más paralela al ápice. Estría 12 a 14 en 10  $\mu\text{m}$ . Largo 67 a 70  $\mu\text{m}$ . Ancho 11 a 12  $\mu\text{m}$ .

*G. truncatum* (Ehr): Valva claviforme inflada al centro de la valva con un ápice ampliamente redondeado, capitado y la base estrecha. Área axial distinta. Área central ancha, con estrías en cada lado del área central irregulares más largas y más cortas. Estría 10 a 12 en 10  $\mu\text{m}$ . Largo 26 a 65  $\mu\text{m}$ . Ancho 6 a 14  $\mu\text{m}$ .

**FAMILIA:** Naviculaceae

**GENERO:**

*Amphora*: Frústulas principalmente elípticas y lineales con extremidades trucadas ampliamente redondeadas, o distintas, extremos amplios subtruncados a rostrados. Valvas individuales transapicalmente arqueadas o aguileñas y plegadas por abajo. Bandas intercaladas pueden ser ornamentadas o no. Rafe recto, arqueado o sinuoso usualmente filiforme. Extremos distales del rafe frecuentemente desviados hacia el margen dorsal justo más allá de la última estría dorsal. Pero puede ser recto o desviado centralmente. Estría toscamente a finamente lineal paralela a radiada hacia el lado dorsal. Estría ventral paralela radiada y/o convergente. Nódulos terminales parecen estar ausentes o ser inconspicuos en muchas especies del género.

*A. birugula* (Hohm): Valvas con margen dorsal convexo liso en toda la valva. Margen ventral protuberante en el centro, luego cóncavo hacia los ápices. Extremos evidentes redondeados. Bandas intercaladas en el lado residual como series longitudinales bisectadas puntuadas algo irregularmente colocadas (de 24 a 28 en 10  $\mu\text{m}$ ); en el lado del rafe indistinto. Rafe ligeramente arqueado. Extremos proximales del rafe redondeados. Extremo distal curvado dorsalmente justo más allá de la última estría dorsal. Estría dorsal (del lado del rafe) radiada, ligeramente más corta en el centro, que aquellas a la mitad del camino hacia el extremo de la valva. Estría ventral corta, marginal, interrumpida a la mitad de la valva. Estría dorsal 12 en 10  $\mu\text{m}$ . Estría ventral 21 en 10  $\mu\text{m}$  cerca del centro, y de 24 en 10  $\mu\text{m}$  cerca de la mitad de la valva, luego 21

en 10  $\mu\text{m}$  en el extremo de la valva. Largo 24 a 37  $\mu\text{m}$ , ancho de 6 a 7  $\mu\text{m}$  (valva), y de 15 a 20  $\mu\text{m}$  (frústulas).

**GENERO:**

*Anomoeoneis*: Valva usualmente lanceolada, transversalmente y longitudinalmente simétrica en forma; únicamente una o dos formas conocidas con una constricción central. Área axial usualmente estrecha, mediana. Rafe recto; extremos proximales rectos o ligeramente curvados en la misma dirección, extremo distal recto o, en la forma más larga enganchado como una hoz en la misma dirección. Área central simétrica, unilateral asimétrica, o unida con espacios laterales largos o pequeños presentando por tanto una apariencia liriforme. Estría puntada, arreglada transversalmente, y espaciada a sí como la forma longitudinal o líneas hialinas oblicuas con una apariencia ondulada.

*A. sphaerophora* (Pfitz): Márgenes convexos, frecuentemente subparalelos en la porción media de la valva. Área axial lineal, bordeada por una línea individual de puntada. Extremo distal del rafe largo, en forma de hoz, curvado en la misma dirección. Estría ligeramente radiada en toda la valva, excepto en el extremo donde ellas pueden ser paralelas. Estría de 15 a 17 en 10  $\mu\text{m}$ . Largo de 30 a alrededor de 80  $\mu\text{m}$ . Ancho de 13 a 22  $\mu\text{m}$ .

**GENERO:**

*Caloneis*: Marcas transversales continuas. Células elongadas en forma de cigarro, pero ligeramente extenso en la región media donde en campo axial es también agrandado. Esta tiene nódulo central y polar. Esta tiene estrías transversales extendiéndose desde el margen lateral hacia la valva. No presenta septos, ni bandas intercaladas. Las frústulas son rectangulares en la vista estrecha. Inmediatamente dentro de los márgenes de la valva tiene una línea paralela la cual tiene raquetones en la estría transversal la cual frecuentemente aparece como costae. Estas líneas paralelas son cruzadas por poros en la estría la cual se abre dentro de una cavidad en la célula.

*C. bacillaris* (Grez): Largo 18 a 23  $\mu\text{m}$ . Ancho 34 a 55  $\mu\text{m}$ . Estrías 8 a 10 en 10  $\mu\text{m}$ .

**GENERO:**

*Diploneis*: Frústulas carentes de bandas intercaladas y septos. Valva con forma elíptica lineal, más o menos constreñida en la porción media de la valva. Las valvas están caracterizadas por las paredes de sílice que engrosan el nódulo central. Una ornamentación de sílice más o menos amplia, descansa sobre el eje apical que esta dividido por las ramificaciones del rafe y el cual se fusiona junto al nódulo central para formar una estructura engrosada, la cual tiene una forma de H. En lado exterior de los brazos de la H descansa un canal longitudinal de anchura variable en cada lado de la valva. Estos canales pueden estar cruzados por el costal o más frecuente mente tienen poroides o puntos arreglados en varios patrones. Costado transverso está presente en toda la valva del lado marginal del canal longitudinal del lado del canal. Ellos pueden ser casi paralelos o más o menos radiados. Entre el costado están alvéolos o filas

individuales o dobles de poros. El costado puede estar cruzado por un vivo longitudinal. El alvéolo pueda estar arreglado para formar líneas longitudinales.

*D. puella* (Shum): Vivos de sílice encerrando el rafe lineal, estrecho y distinto. Área central más larga que ancha, redondeado. Canales longitudinales estrechos, lineales curvados alrededor del área central. Costado radiado, 14 a 18 en 10  $\mu\text{m}$ . Entre el costal y la fila de alvéolos. Largo de 13 a 27  $\mu\text{m}$ . Ancho de 6 a 14  $\mu\text{m}$ .

#### **GENERO:**

*Gyrosygma*: Valvas elongadas de ligeramente a fuertemente sigmoides. Bandas intercaladas ausentes. Área axial estrecha, sigmoide a ondulada. Donde el área axial y el rafe forman una curvatura extra cerca del área central, ellos son considerados como que están ondulándose. Cuando tale curvatura no es aparente, ellos son llamados sigmoides. Rafe mayormente inconspicuo excepto en los extremos. Extremo del rafe proximal exterior curvado, en dirección contraria formando un gancho, o recto; extremos internos rectos. Extremo del rafe distal externo usualmente indistinto, pero con frecuencia aparece como un gancho hacia el margen. Extremo del rafe distal interno recto. Área central pequeña, orbicular, (longitudinalmente) elíptica o irregular y diagonal. Área terminal central o excéntrica. Presenta nódulos centrales y terminales, no siempre coinciden con el área terminal y axial. Estría puntada. Puntada formadora de dos líneas transversales y longitudinales.

#### **GENERO:**

*Navícula*: Valva lanceolada o lineal, capitada o embotada. La cara valvar es plana y usualmente presenta una depresión suave hacia el manto. En ocasiones se presenta corto conopeum. Estrías uniseriadas o raramente biseriadas conteniendo poroides elípticamente alargados o lineales, los cuales están encerrados en hímeneos en sus aperturas externas. Los poroides de las estrías adyacentes están alineados unos con otros. El rafe esternón está ensanchado, especialmente sobre el sitio primario, de esta manera la fisura interna está abierta lateralmente excepto en el centro y en los polos. El sitio primario generalmente tiene una costilla accesoria que corre a lo largo de la valva paralela al rafe. En la vista interna los extremos centrales son rectos y no amplios inmersos en un pequeño nódulo oval, algunas veces las fisuras internas se continúan a través de este nódulo, raramente se forma una doble heliptoglosa. En la vista externa los extremos centrales son alargados, ensanchados dentro de poros o en forma de ganchos que se dirigen hacia el sitio secundario. Los extremos externos son simples o en forma de gancho. El cíngulo está compuesto de bandas individuales.

*N. bacillum* (Ehr): Largo 30 a 90  $\mu\text{m}$ . Ancho 10 a 20  $\mu\text{m}$ . Estrías 12 a 14 en 10  $\mu\text{m}$ .

*N. halophila* (Grum): Largo 20 a 50  $\mu\text{m}$ . Ancho 6 a 12  $\mu\text{m}$ . Estrías 16 a 20 en 10  $\mu\text{m}$ .

*N. jaernefeltii* (Hust): Largo 8 a 20  $\mu\text{m}$ . Ancho 6 a 11  $\mu\text{m}$ . Estrías 25 a 30 en 10  $\mu\text{m}$ .

*N. mutica* (Kütz): Largo 10 a 40  $\mu\text{m}$ . Ancho 7 a 12  $\mu\text{m}$ . Estría 14 a 20 en 10  $\mu\text{m}$ .

*N. platalea* (Ehr): Forma naviculoide, con rafe en ambos lados de la valva.

#### **GENERO:**

*Pinularia*: Valva lineal, lanceolada o elíptica, con poros rostrados o capitados, algunas veces con margen ondulado, cara valvar plana o curvada, ligeramente ondulada en el

borde del manto. La superficie de la valva frecuentemente presenta ornamentaciones. Estrías básicamente multiseriadas, con frecuencia en cerradas en cámaras (alvéolos) está constituida por hileras de pequeños poroides ocluidos en hímenes. La pared interior tiene un plato sencillo perforado por una larga elongación transapical, la cual tiene abertura hacia el exterior. Presenta en la vista externa pequeños orificios redondeados que en el interior de la pared están formados por simples estrías multiseriadas. Rafe central. En la vista externa los extremos centrales son ensanchados, en los polos se presenta una fisura larga en forma de gancho. En la vista interna los extremos centrales giran hacia el sitio primario donde terminan en un prominente nódulo, o en fisuras internas continuas. Con frecuencia los extremos centrales del rafe no se superponen. El cingulo consiste en pocas bandas abiertas, la primera banda esta más ensanchada y contiene una hilera de polos alargados.

*P. borealis* (Ehr): Largo 41.4  $\mu\text{m}$ . Ancho 9.8  $\mu\text{m}$ . Estrías Centrales 5 en 10  $\mu\text{m}$ . Estrías Terminales 6 en 10  $\mu\text{m}$ .

*P. boyeri* (Pat): Largo 100 a 200  $\mu\text{m}$ . Ancho 15 a 22  $\mu\text{m}$ . Estrías 10 a 14 en 10  $\mu\text{m}$ .

*P. breviscotrata* (Cleve): Valvas lineales con márgenes paralelos y extremos redondeados, rafe filamentosos con las fisuras terminales en forma de gancho, estrías cortas, paralelas y ligeramente más cortas en el centro de la valva.

*P. maior* (Kütz): Valva lineal, ápices redondeados; área axial y central ancha; rafe generalmente simple, sinuoso, en forma de bayoneta hacia los polos y curvado en el nódulo central, estrías ligeramente radiadas en la mitad de la valva y convergentes en los polos. Largo 140 a 200  $\mu\text{m}$ . Ancho 25 a 40  $\mu\text{m}$ . Estrías 5 a 7 en 10  $\mu\text{m}$ .

#### **GENERO:**

*Stauroneis*: Valva generalmente más lanceolada, naviculoide, forma elíptica más pequeña; simétrica al eje transversal y apical. Puede presentarse bandas intercaladas, pero cuando no hay septo verdadero. Nódulo central alargado transversalmente al eje del rafe alcanzando los bordes de la valva, dividiéndola en dos partes, formando así los estauros. En la vista valvar los estauros, provistos de ornamentación, teniendo una apariencia de zona espesa. La superficie de la valva muestra estrías finas, punteadas, a veces unos puntos ornamentados irregularmente. Rafe simple. Área axial más o menos larga, sitúa el rafe y dibuja al encuentro con el estauro una cruz que divide la valva en cuatro partes iguales,

*S. acuta* (W. Sm): Frústulas comúnmente encontradas en cadenas adherentes. Evidentes bandas intercaladas en la vista estrecha. Presenta pseudosepto, bastante conspicuo. Área axial ancha, 4 a 6  $\mu\text{m}$ ; ligeramente estrechos cerca de los extremos. Rafe recto, más bien ancho y lateral; 1 a 2 en el punto más ancho, excepto en los extremos proximal y distal donde se vuelve filiforme. Estría 12 a 16 en 10  $\mu\text{m}$ . Largo 80 a 170  $\mu\text{m}$ . Ancho 15 a 27  $\mu\text{m}$ .

*S. anceps* (Ehr): Área axial lineal excepto cerca de los extremos en donde es algo estrecha. Fascia usualmente anchada hacia el margen de la valva. Rafe recto ligeramente estrecho hacia los extremos proximal y distal. Estría radiada en todas partes. Estría 20 a 25 en 10  $\mu\text{m}$ . Largo 24 a 75  $\mu\text{m}$ . Ancho 9 a 15  $\mu\text{m}$ .

**FAMILIA:** Nitzschiaceae

**GENERO:**

*Nitzschia*: Valvas rectas, sigmoides, lineales o lanceoladas, estrechas o elípticas, algunas veces ensanchadas centralmente. Más o menos simétricas al plano apical, pero en ocasiones fuertemente asimétricas en su estructura. Polos variados, pueden ser rostrados o capitados. Estrías usualmente seriadas no interrumpidas por el esternón lateral, conteniendo pequeños poroides ocluidos por hímenes o por cribas, ocasionalmente se presentan areolas en las especies grandes sigmoides. Algunas veces presentan verrugas marginales rafe ligeramente o fuertemente excéntrico, cercano al margen proximal. En rafe en las dos valvas se encuentran en el mismo sitio de la frústula. En algunas especies en rafe se observa en los extremos centrales mientras que en otras el rafe se observa de polo a polo. En la vista externa los extremos son simples o desviados hacia el margen distal. Usualmente tienen fisuras terminales dobladas o en forma de gancho desviadas hacia el sitio distal o proximal.

*N. amphibia* (Grum): Valvas lineales en las grandes formas o lanceoladas, carena del rafe excéntrica, junto al margen intermedio de la superficie valvar y el manto correspondiente. Largo 6 a 50  $\mu\text{m}$ . Ancho 4 a 6  $\mu\text{m}$ . Estrías 13 a 18 en 10  $\mu\text{m}$ . Fíbulas 10 en 10  $\mu\text{m}$ .

*N. obtusa* (W.Sm): Largo 120 a 350  $\mu\text{m}$ . Ancho 7 a 13  $\mu\text{m}$ . Estrías 22 a 30 en 10  $\mu\text{m}$ .

**FAMILIA:** Surirellaceae

**GENERO:**

*Surirella*: Valvas de formas variables, contorno elíptico, lineales, algunas estrechas en la región media o torcidas en hélice, pueden ser con forma hetero o isopolar. Vista conectiva rectangular o curvada. En la vista valvar se hace aparente el canal del rafe que recorre todo el contorno de la valva.

**FAMILIA:** Thalassiosiraceae

**GENERO:**

*Cyclotella*: Valvas circulares con ondulaciones en la cara valvar. Hileras de areolas que se extienden hacia el centro de la valva, en la vista interna se agrupan en cámaras sobre la región periférica y se extienden sobre el borde valvar. Algunas veces las areolas están esparcidas en la región central las cuales presentan ornamentación con crestas, gránulos, etc. A veces pequeñas arrugas y espinas se observan entre las areolas y el manto. El borde del manto está envuelto en un surco espeso. Las areolas poroidales de la vista interna están cerradas por cribas. Fultoportulas presentes en un anillo próximo al margen valvar y se encuentran en forma espaciada en el centro de la valva. Pared desdoblada en el área marginal donde las fultoportulas se abren sobre las crestas; algunas veces se observan crestas secundarias dentro de los pliegues, las cuales están expandidas en cámaras. Las rimoportulas son escasas en los pliegues o en el borde del área central. Numerosas cúpulas divididas en el área singular.

*C. meneghiniana* (Kütz): Frústulos cilíndricos en vista valvar circular 9.5 a 16.38  $\mu\text{m}$  de diámetro; área central con puntuaciones radiadas; estrías marginales 7 a 11 en 10  $\mu\text{m}$ , gruesas, radiales.

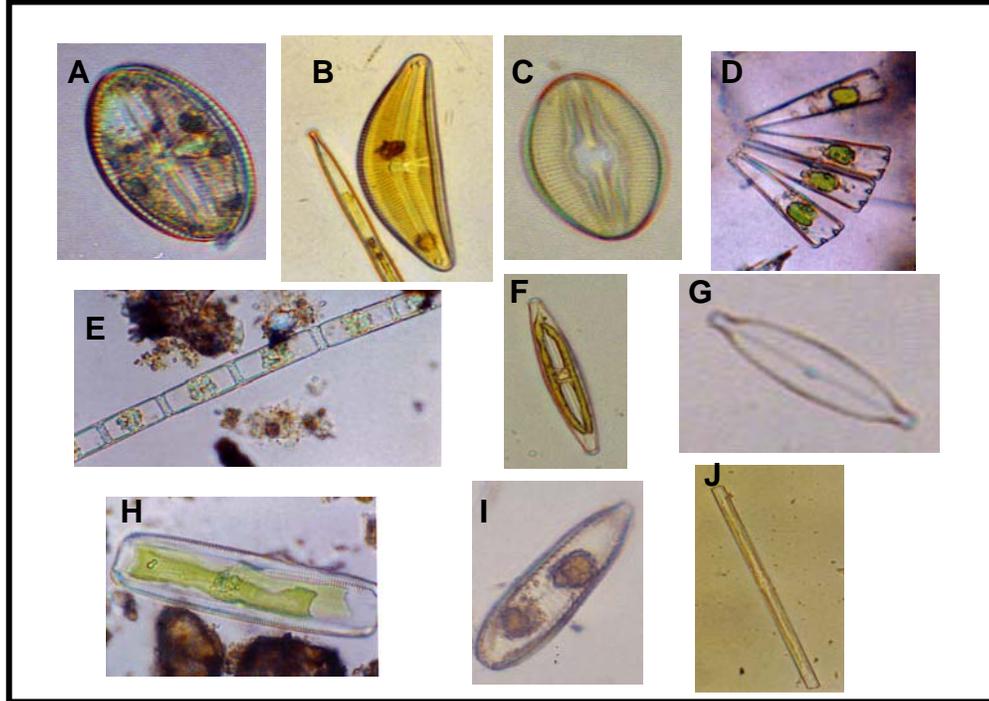


Figura D. Especies de Bacillariophyta identificadas en agua y sedimento. A) *Caloneis bacillaris*, B) *Cymbella mexicana*, C) *Diploneis puella*, D) *Gomphonema sp*, E) *Melosira granulata*, F) *Navícula platalea*, G) *Navicula sp*, H) *Pinularia sp*, I) *Surirella microcora* y J) *Synedra ulna*. Todas las imágenes están en aumento 40 X.

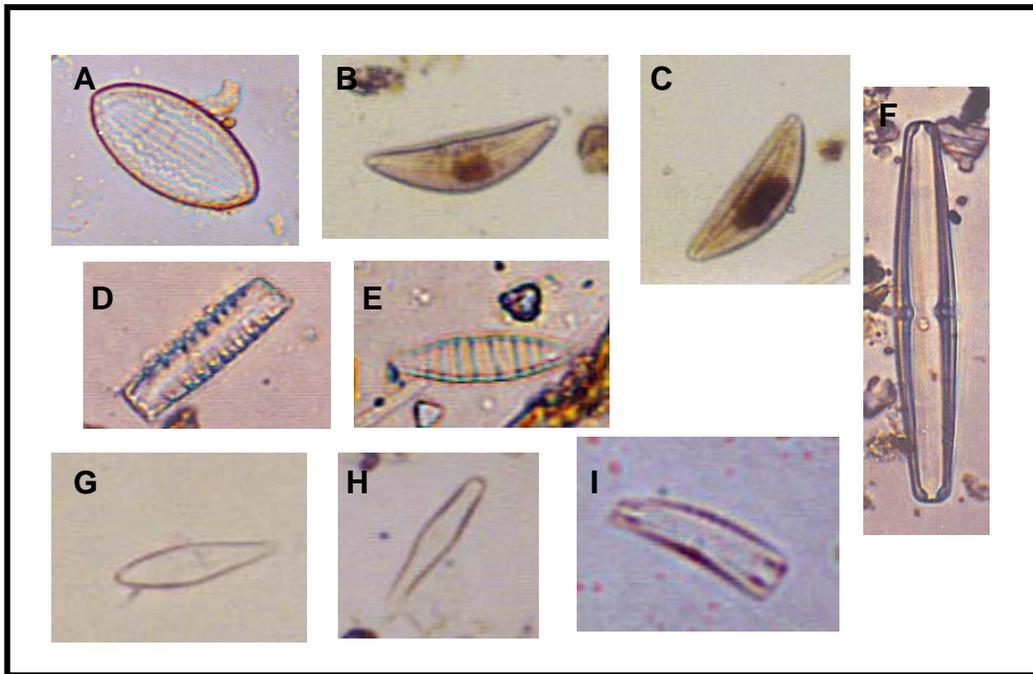


Figura E. Especies de Bacillariophyta identificadas en agua y sedimento. A) *Cocconeis placentula*, B) *Cymbella cystula*, C) *Cymbella turgida*, D) *Denticula elegans*, E) *Denticula sp.*, F) *Fragilaria sp.*, G) *Gomphonema angustatum*, H) *Gomphonema septum* e I) *Rhoicosphenia curvata*. Todas las imágenes están en aumento 40 X.

**DIVISIÓN: CHLOROPHYTA**

**ORDEN:** Desmidiáles

**FAMILIA:** Desmidiáceas

**GENERO:**

*Closterium*: Célula en forma de media luna, variablemente inclinada, pero en algunas especies ligeramente recto, sin espinas apical. Este es uno de los pocos desmedios placodermos en los cuales no tienen incisiones o senos en la región media. La pared está en dos secciones y contiene arreglos como dos semicélulas, con un cloroplasto en cada una. En donde algunas especies lo tienen ligeramente recto, *Closterium* lo tiene característicamente inclinado o en forma de media luna, algunas veces inflado en la región media y algunas veces con margen cóncavo y convexo mostrando diferentes grados de curvaturas. Los polos pueden ser estrechos con puntos finos o pueden ser ampliamente redondeados (algunas veces recurvados o ligeramente inflados). Con frecuencia los dos cloroplastos son espinados con margen lacinado. Cada uno contiene de 1 a varios pirenoides. En el polo de la célula tiene una vacuola conspicua la cual presenta uno o varios gránulos de yeso vibrando (mostrando movimientos browniano). La división de las células en algunas especies presenta bandas transversales o tiras circulares. La pared puede ser lisa o estriada, con frecuencia es café por los depósitos de hierro en los que se encuentra.

**ORDEN:** Volvocales

**FAMILIA:** Haematococcaceae

**GENERO:**

*Haematococcus*: Células ovoides o elipsoide, tiene dos flagelos divergiendo ampliamente de una papila anterior; protoplasma separado de la pared por una cubierta ancha de mucílago el cual va directo al filamento citoplasmático radiado. La mancha del pigmento es lateral. Células frecuentemente con apariencia en una condición estacionaria (acinetos), en el cual el pigmento predominante es hematocromo.

*H. lacustris* (Rostafinski): Células elipsoides u ovoides; cloroplastos aparentemente en forma de taza, algunas veces semeja un eje axial y usualmente se enmascara por hematocromos; células variable en diámetro, 10 a 50  $\mu\text{m}$  en la forma enquistada. Esta especie es encontrada en pequeños hoyos de río, grietas de rocas en terrenos lluviosos y en cuencas. Un hábitat familiar es el baño para pájaros en jardines porque no existe un secado y esta húmedo siempre, esta planta es dominante la mayoría de las veces y parece como ladrillos o gránulos incrustados en el sustrato.

**ORDEN:** Chlorococcales

**FAMILIA:** Hydrodictyceae

**GENERO:**

*Pediastrum*: Cenobio flotando libre, circular, monocromático disco de células las cuales pueden ser continuas o perforadas; células periféricas del disco con una o dos lóbulos. Las células interiores tienen la misma forma y las células marginales diferente; cloroplastos aparentemente en el reticulum, cubriendo la pared con un pirenoide, célula multinucleada. Porque los plastos de *Pediastrum* son formados por la yuxtaposición de zoosporas desarrolladas dentro de un círculo como si sobresalieran de la célula madre, esto no frecuentemente pasa ya que la forma irregular o anormal del desarrollo del cenobio pasa cuando las zoosporas les falta alinearse ellas mismas en un plano. Desde aquí puede encontrarse como si algunas células se pusieran sobre otras.

*P. duplexi* (Meyen): Colonias de 8 a 128 células, la pared es lisa con forma cristalina y espacios entre el interior de la célula el cual es cuadrado, el margen exterior cóncavo, periferia de la célula cuadrada con el margen extendida entre dos cerillas con extremo despuntado. Células de 15.6  $\mu\text{m}$  de diámetro. Colonias de 105  $\mu\text{m}$  de diámetro.

**FAMILIA:** Scenedesmaceae

**GENERO:**

*Scenedesmus*: Colonia de 2, 4, 8, 32 ovoides fusiformes, forma de media luna en el lado que se pega al sustrato, del otro lado se observa una serie sola o en doble fila con alternancia de células; la pared celular es lisa, con dientes y aristas mostrando un corte lateral a la mitad; un pirenoide. Este género contiene algunas especies las cuales son quizás distribuidas más extensamente que alguna otra alga dentro del agua. Mientras unas pocas son encontradas como euplacnton las cuales son las que llevan espinas, más formas encontradas en el ticoplacnton. En ambientes favorables una o dos especies son completamente dominantes de la flora y frecuentemente pequeños cuerpos de agua artificiales o acuarios en donde el agua es completamente coloreada de verde por el tremendo número de individuos.

*S. quadricauda* (Bréb): Se encuentran colonias de 2 - 4 - 8 células oblongas y cilíndricas generalmente en una serie (algunas veces alternando dos series); células externas con una espina larga y curvada en cada polo; células internas sin espina o con solo una papila en el ápice; células variables en tamaño 3 a 18  $\mu\text{m}$  de diámetro. Largo de 9 a 35  $\mu\text{m}$ . Comúnmente se encuentra distribuido extensamente en una gran variedad de ambientes.

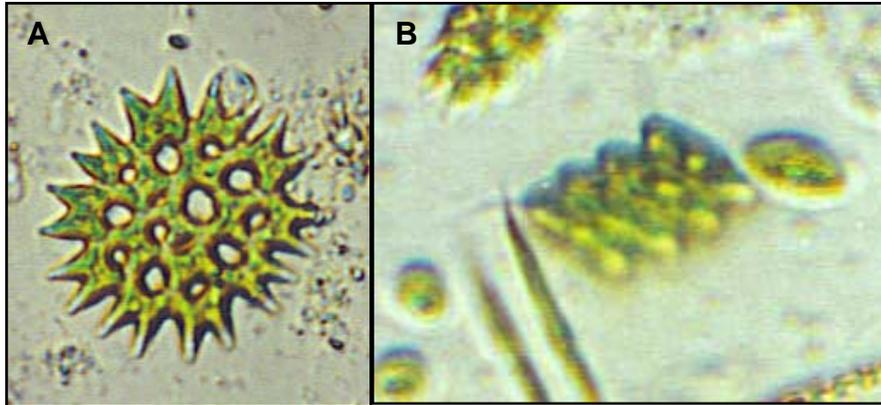


Figura F. Especies de Chlorophyta identificadas en agua y sedimento. A) *Pediastrum duplex* y B) *Scenedesmus quadricauda*. Imágenes en aumento 40 X.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### Temperatura ambiental y del agua.

En las figuras 1 y 2, se observa que existe una tendencia clara e inversa entre la temperatura ambiental y del agua con el gradiente de altitud. Es decir, la temperatura de las dos variables va descendiendo conforme se eleva la altitud y de acuerdo al análisis estadístico del coeficiente de correlación  $R= 0.7585/R= 0.8260$ , existe un grado de asociación moderado (ambiente) y fuerte (agua) (**Durán et. al. 2004**) de las dos variables con el gradiente de altitud.

### Potencial de hidrógeno (pH).

La figura 3, muestra que existe una relación inversa entre el pH y el gradiente de altitud, es decir se observa una tendencia del pH a disminuir con el aumento de la altitud. De las 65 muestras analizadas, 7 tuvieron pH de 8 a 9.3, 42 de ellas tuvieron pH de 7 a 7.9 y 16 tuvieron pH de 5.9 a 6.9. Por lo tanto, en el presente estudio predominaron los cuerpos de agua con pH básico y una menor proporción de ellos presentó pH ligeramente ácido. El análisis estadístico del coeficiente de correlación  $R=0.4141$  (**Durán et. al. 2004**) indica que no existe asociación entre el pH y la altitud, ya que la correlación entre las dos variables es negativa.

### Oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>).

La figura 4, muestra que existe una tendencia del oxígeno a mantenerse constante en relación con el gradiente de altitud. A pesar de esta tendencia, la concentración de oxígeno disuelto en agua fluctuó de 4.2 mg/l a 8.7 mg/l. Esta fluctuación pudiera deberse a que la solubilidad del oxígeno disuelto (OD) en el agua se incrementa con el descenso de la temperatura, de modo que en aguas frías hay más OD que en aguas calidas (**Schwoerbel 1975**). Como ejemplo de lo anterior tenemos que, en muestras de agua con temperatura entre 7°C y 8.5°C se encontró una concentración de OD de 4.2 mg/l y cuando la temperatura descendió a 3.0°C como en Apatlaco I el OD aumentó a 8.7 mg/l. Ninguna muestra contenía niveles de oxígeno por debajo de 3 mg/L ni por arriba de 14 mg/l, estas concentraciones son críticas para la integridad de los microorganismos (**Schwoerbel 1975**). Sin embargo, tales concentraciones críticas se pueden encontrar en su porcentaje de saturación en la corriente de agua, ocasionado por la inclinación del terreno y el grado de agitación de la misma. Esto provoca una alta oxigenación que a su vez sirve como amortiguador biológico frente a algún tipo de contaminante y puede facilitar la sobrevivencia de los microorganismos. El análisis estadístico del coeficiente de correlación  $R=0.0842$  (**Durán et. al. 2004**) indica que no existe asociación entre el pH y la altitud, ya que no existe correlación entre las dos variables.

### Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

La figura 5, muestra que existen variaciones notables en las concentraciones de CO<sub>2</sub> en el gradiente de altitud. A pesar de ello, se observa una tendencia de las concentraciones de CO<sub>2</sub> a incrementarse con el aumento del gradiente de altitud. De acuerdo con esto, las concentraciones de CO<sub>2</sub> fluctuaron de 0.19 a 9.98 mg/l. Lo anterior puede deberse probablemente a los factores que afectan las concentraciones de CO<sub>2</sub> en el agua, tal como la temperatura, el pH y la tasa fotosintética (**Wetzel, 1981**) entre otros. Como ejemplo de lo anterior tenemos que, en el presente trabajo se observa que existe una tendencia de las

concentraciones de CO<sub>2</sub> a mantenerse bajas (figura 5) cuando la temperatura es alta (figura 2), se puede observar que al iniciarse el descenso de la temperatura, la concentración de CO<sub>2</sub> comienza a elevarse. En cuanto al pH sucede algo similar, a valores elevados de pH (figura 3) se observan concentraciones de CO<sub>2</sub> bajas (figura 5), pero cuando se da un descenso del pH las concentraciones de CO<sub>2</sub> se incrementan. Por otro lado, a pesar de la dispersión de las concentraciones de CO<sub>2</sub> observada en la figura 5, la mayoría de ellas tiende a mantenerse por abajo de (3 mg/l) a lo largo del gradiente de altitud, por lo que son menores a las concentraciones de oxígeno disuelto (figura 4). Esto puede deberse a que la tasa fotosintética que es intensa durante el día consume el CO<sub>2</sub> y por lo tanto disminuye los niveles del mismo, y produce el O<sub>2</sub> y eleva las concentraciones del mismo en el agua (**Wetzel, 1981**). De acuerdo al análisis estadístico del coeficiente de correlación R= 0.2104 (**Durán et. al. 2004**), indica que no existe asociación entre la concentración de CO<sub>2</sub> y el gradiente de altitud, ya que la correlación entre las dos variables es débil.

### **Alcalinidad total.**

La figura 6, muestra que existe una relación clara e inversa entre la alcalinidad y el gradiente de altitud. Es decir, existe una tendencia de la alcalinidad a disminuir conforme se incrementa la altitud. El intervalo de alcalinidad total debida a carbonatos y bicarbonatos, obtenido en el presente estudio fue de 24 mg/l a 600 mg/l; por lo que es mayor al intervalo de alcalinidad (20 a 200 mg/l) previamente reportado por (**Lind, 1985**). La alcalinidad total mayor a los 200 mg/l puede deberse a la presencia de zonas de cultivo cercanas que contribuyen al aporte extra de carbonatos y bicarbonatos derivados de los fertilizantes empleados en la actividad agrícola. La actividad agrícola es nula a mayor altitud, hecho que correlaciona con los niveles normales de alcalinidad encontrados en el 85% de las muestras colectadas a mayor altitud. De acuerdo al análisis estadístico del coeficiente de correlación R=0.5392 (**Durán et. al. 2004**), indica que existe una relación moderada entre la alcalinidad y la altitud.

### **Dureza Total.**

La determinación de la dureza total se basa en la cuantificación de las concentraciones de los iones de Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> y sirve para clasificar la dureza del agua. Con base en esto, el agua es blanda a una concentración de < 60 mg/l, moderadamente dura de 61 a 120 mg/l, dura de 121 a 180 mg/l y muy dura >181 mg/l (**Lind 1985**). Con base en lo anterior, 44 muestras fueron clasificadas como blandas, 9 como moderadamente duras, 6 duras y 6 muy duras como Río la Leona (2195 msnm), Nexapa-Atoyac (1600 msnm), Cuestomate (2500 msnm), Tanque Elevado (2360 msnm), Atzitzihuacan (1820 msnm) y Manantial Afluente Nexapa (1650 msnm, Figura 7). Hasta este punto, se puede establecer que la mayor concentración de carbonatos y bicarbonatos (alcalinidad) mostrada en la grafica 6 esta relacionada con las concentraciones de Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> (dureza total), debido a que una mayor alcalinidad es necesaria para satisfacer y mantener a los iones divalentes y algunos sulfatos (**Wetzel, 1981**). De acuerdo al coeficiente de correlación R=0.5640 (**Durán et. al. 2004**), se encuentra una relación moderada entre la dureza total y el gradiente de altitud (figura 7) similar a lo observado entre la alcalinidad y el gradiente de altitud.

### **Dureza de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ).**

La dureza debida al  $\text{Ca}^{2+}$  en las aguas naturales depende principalmente del aporte de  $\text{Ca}^{2+}$  por la corteza terrestre, en especial por minerales como la calcita y dolomita. La mayor concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  cuantificada en 16 muestras de agua obtenidas entre los 1500 y 2500 msnm (figura 8), puede deberse al aporte extra de  $\text{Ca}^{2+}$  derivado de la actividad humana y agrícola asociadas a la región. El coeficiente de correlación  $R=0.4596$  (**Durán et. al. 2004**) indica que existe relación débil entre la dureza del agua debida al  $\text{Ca}^{2+}$  y el gradiente de altitud.

### **Amonios ( $\text{NH}_4^+$ ).**

El intervalo de concentración de amonio obtenido en el presente estudio fue de (0.2 a 3 mg/l) y coincide con el intervalo de amonio (0.1 a 2.9 mg/l) previamente reportado por (**Marti et. al. 2004**), para un sistema lótico. Tales concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  que se cuantificaron solamente en 10 localidades: La Maquina (2842 msnm), Atilahuitzilac (2200 msnm), Apatlaco V (3410 msnm), El Carmen (2350 msnm), Ajal (2050 msnm), Axuxuca (2030 msnm), Manantial Afluente Nexapa (1650 msnm), Actiopa (2190 msnm), real río Nexapa (2050 msnm) y Cantarranas (1860 msnm); son concentraciones que resultarían tóxicas para algunas especies de peces de agua dulce y marinos (**Tetratest, 2006**) y además están por arriba del límite permitido de concentración de  $\text{NH}_4^+$  para agua de consumo humano (0.5 mg/l, **NOM-127-SSA1-1994**). El exceso de  $\text{NH}_4^+$  encontrado de en los puntos ya mencionados, puede deberse a que estas localidades están cercanas a un núcleo poblacional donde hay descargas de aguas residuales que pudieran estar aportando amonio extra como producto de materia orgánica en descomposición o al aporte de fertilizantes nitrogenados por la actividad agrícola. De acuerdo a (**Wetzel 1981**), los niveles de amonio en aguas naturales, se deben en su mayoría a la descomposición de materia orgánica por organismos heterótrofos y pueden incrementarse debido a descargas de aguas residuales o al aporte de fertilizantes nitrogenados y otros factores. Lo anterior esta apoyado por los resultados de (**Marti et. al. 2004**), quienes obtuvieron concentraciones de amonio por arriba del límite permisible para agua (0.2 a 33.7 mg/l) en 15 ríos de Cataluña España que reciben descargas de aguas residuales. Por otro lado, La ausencia de concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  en 55 de las 65 localidades estudiadas (figura 9), puede deberse a que se encontraban por abajo del límite de detección de nuestro sistema (0.25 mg/l) y/o a una transformación rápida de  $\text{NH}_4^+$  a nitritos o nitratos por nitrificación, como parte del ciclo del nitrógeno. En este sentido, se ha reportado que la tasa de oxidación del  $\text{NH}_4^+$  puede llegar a ser mayor a la de oxidación del nitrito, lo que lleva a un consumo rápido del  $\text{NH}_4^+$  y acumulación de los nitritos (**Mota et. al. 2005**).

### **Nitritos ( $\text{NO}^{2-}$ ).**

El intervalo de concentración de  $\text{NO}^{2-}$  obtenido en el presente estudio (0.28-1.6 mg/l), coincide con el intervalo de  $\text{NO}^{2-}$  (0.1-1.6 mg/l) previamente reportado por (**Marti et. al. 2004**) para un sistema lótico. Estas concentraciones de  $\text{NO}^{2-}$ , rebasan el límite permisible para agua de consumo humano (0.05 mg/l, **NOM-127-SSA1-1994**) y en algunos casos el límite tolerable (0.8 mg/l) por algunos organismos de agua dulce (**Tetratest, 2006**) por lo que resultarían tóxicas para ellos. El exceso de  $\text{NO}^{2-}$  encontrado puede deberse como en el caso del  $\text{NH}^{4+}$ , a un aporte extra de  $\text{NO}^{2-}$  debido a descargas de aguas residuales y al aporte extra de  $\text{NO}^{2-}$  por fertilizantes nitrogenados derivados de actividades agrícolas. Lo anterior correlaciona con los resultados de (**Marti et. al. 2004**), que reportan concentraciones de  $\text{NO}^{2-}$  por arriba del límite permisible para agua (0.1 a 29.8 mg/l) en 15 ríos de Cataluña España que reciben descargas de aguas residuales. Por otro lado, encontramos que en 36 localidades hubo presencia de concentraciones de  $\text{NO}^{2-}$  pero no de  $\text{NH}^{4+}$ , lo que indica que probablemente hubo aporte extra y/o acumulación de  $\text{NO}^{2-}$  proveniente de escurrimientos de suelo ocasionados por las lluvias. Otra posibilidad es que, puede haber una mayor actividad de bacterias oxidadoras del  $\text{NH}^{4+}$  y una menor actividad de bacterias oxidadoras de nitritos, que pueden provocar una mayor transformación de  $\text{NH}^{4+}$  a  $\text{NO}^{2-}$  pero una menor transformación de  $\text{NO}^{2-}$  a nitratos, lo cual lleva a una acumulación de  $\text{NO}^{2-}$  tal como lo han reportado (**Mota et. al. 2005**). Entre los factores que se sabe inhiben la actividad de bacterias oxidadoras de  $\text{NO}^{2-}$  y que pueden provocar acumulación de este último y la no formación de nitratos, está el incremento del pH, el amonio libre (3 a 4 mg/l), la temperatura ( $< 25^{\circ}\text{C}$ ) y oxígeno disuelto (**Egli et. al. 2003**).

### **Nitratos ( $\text{NO}^{3-}$ )**

En el presente trabajo el intervalo de concentración de nitratos ( $\text{NO}^{3-}$ ) fue de (0.01 a 0.3 mg/l) y esta por abajo del intervalo de concentración de  $\text{NO}^{3-}$  reportado por (**Marti et. al. 2004**) (0.4 a 13.9 mg/l) para un sistema lótico. El intervalo de concentración de  $\text{NO}^{3-}$  es apropiado para agua de consumo humano (10 mg/l, **NOM-127-SSA1-1994**) y esta dentro del límite tolerable para organismos de agua dulce (1 a 10 mg/l, **Tetratest, 2006**). Estos resultados indican que las descargas de aguas residuales y el aporte de fertilizantes nitrogenados, que elevaron el intervalo de concentración de  $\text{NH}^{4+}$  y de  $\text{NO}^{2-}$  por arriba de los límites permisibles para agua y organismos acuáticos, no tuvieron un efecto significativo sobre la elevación de los niveles de  $\text{NO}^{3-}$ . Así mismo, y como se mencionó en la sección de nitritos, la tasa de oxidación de nitritos a nitratos puede ser afectada por un número de factores fisicoquímicos, de modo que se favorece la acumulación de nitritos (**Mota et. al. 2005**) pero no la formación de nitratos resultando en una disminución de estos últimos. Otra posibilidad es que, se haya dado una elevada tasa de desnitrificación en los cuerpos de agua como parte del ciclo del nitrógeno, de modo que hubo una reducción elevada de nitratos a nitritos, resultando en una acumulación de nitritos pero en una disminución de los nitratos.

### **Fosfatos (PO<sub>4</sub>).**

En el presente trabajo el intervalo de concentración de fosfatos (PO<sub>4</sub>) fue de (0.02 a 1.0 mg/l) y coincide con el intervalo de PO<sub>4</sub> (0.01 a 1.0 mg/l) previamente reportado por (**Marti et. al. 2004**) para en sistema lótico. Algunas concentraciones de PO<sub>4</sub> del intervalo ya mencionado rebasaron el límite permisible de contenido de PO<sub>4</sub> en agua de consumo humano (0.1 mg/l, **NOM-127-SSA1-1994**); la mayor parte de estas concentraciones corresponden a sitios de muestreos localizados por debajo de los 2500 msnm (figura 9) y que están cerca de núcleos poblacionales. Por lo tanto y en concordancia con los resultados de amonios y nitritos, las concentraciones de PO<sub>4</sub> mayores a 0.1 mg/l pueden deberse a un aporte extra de de PO<sub>4</sub> debido a descargas de aguas residuales, fertilizantes y detergentes fosfatados derivados de actividades agrícolas y humanas de la población. Aunque el coeficiente de correlación R=0.4752 (**Durán et. al. 2004**) indica que existe relación débil entre la concentración de fosfatos y el gradiente de altitud, la figura 12 muestra que existe una tendencia clara de concentraciones de PO<sub>4</sub> por arriba de 0.1 mg/l en aquellas localidades que se encuentran a menor altitud, cercanas a poblados y con actividad agrícola asociada a la región.

### **Composición del sedimento.**

En el presente trabajo, se encontró que el sedimento esta compuesto por tres tipos de partículas de diferentes tamaños y que representan un substrato potencial para el asentamiento de las microalgas (figura 10). Las partículas de grava fina, arena gruesa y arena fina, se encontraron en las muestras colectadas a lo largo del gradiente de altitud y nuestros resultados indican que el substrato mas abundante fueron las arenas finas (57.9 %) seguido de las gravas finas (25.41) y las menos abundantes fueron las arenas gruesas (14.62). La mayor abundancia de arenas finas indica que es un substrato disponible y que puede influenciar la presencia de un mayor número de especies y abundancia de las mismas en el sedimento (figura 16).

### **Biomasa húmeda y biomasa seca.**

La uniformidad de las concentraciones de biomasa húmeda obtenida en el 90% de las muestras (figura 11), indica que el filtro retiene una cantidad constante de agua que influencia la cantidad de biomasa real y por lo tanto no es un parámetro real de la productividad de un cuerpo de agua. La eliminación del contenido de agua en el filtro para medir la biomasa seca, permitió obtener una medición real de la productividad primaria del cuerpo de agua e indica que el agua en el filtro enmascara los resultados de biomasa seca. Esta última, es una medición real de la productividad de un cuerpo de agua. La biomasa seca fue mayor en las muestras colectadas a menor altitud, donde la temperatura ambiental y del agua es cálida y existe una cantidad favorable de O<sub>2</sub> disuelto, factores que pueden favorecer la presencia de un mayor número de organismos.

### **Clorofilas A, B, C y feofitina en agua.**

De acuerdo con nuestros resultados, la cantidad de clorofila C fue mayor a la de las clorofilas A, B y feofitina. Y la cantidad de clorofila B fue mayor a la de clorofila A y feofitina (figura 12). En el primer caso, la mayor cantidad de clorofila C se debe a la abundancia de Bacillariophyta presentes en las muestras colectadas, ya que estas microalgas poseen clorofila C en mayor proporción que la clorofila A (Lee 1999). Nuestros resultados están apoyados y coinciden con los previamente publicados por Axelsson y Stuguland en 2004; quienes encuentran que muestras de agua del lago Erken en Suiza enriquecidas de Bacillariophyta producen una mayor cantidad de clorofila C que de clorofila A y B. En el segundo caso, aunque se ha reportado que la clorofila A se encuentra en mayor proporción que la clorofila B (Lee 1999), nuestros resultados muestran que esta proporción es variable y puede llegar a invertirse.

La cantidades traza de feofitina encontradas pueden deberse a que esta es derivado de la degradación de la clorofila A y por lo tanto esta siempre presente con y debe cuantificarse junto a la clorofila A. Lo anterior indica que, los procesos fotosintéticos realizados por las microalgas dependen esencialmente de las clorofilas A, B y C y en un grado mínimo de feofitina. Alternativamente, se encontró una menor concentración de feofitina debido a que absorbe a la misma longitud de onda que la clorofila A pero menos fuertemente (Wetzel y Likens 1991). La proporción de feofitina y clorofila A es variable y depende de los cambios de las condiciones ambientales.

### **Densidad total de microalgas presentes en agua y sedimento.**

En el presente estudio se encontró que existe una mayor densidad de microalgas en el agua (figura 13) que en el sedimento (figura 15). Esto se puede deber a que, en el agua las condiciones físicas y químicas prevalecientes favorecen una mayor proliferación y supervivencia de las microalgas que en el sedimento (Axelsson y Stuguland, 2004). Por ejemplo, existe la posibilidad de que la concentración de nutrientes, oxígeno disuelto, CO<sub>2</sub>, la alcalinidad, el pH, la temperatura, etc. estén más disponibles en agua que en el sedimento y favorezcan una mayor abundancia.

### **Diversidad de especies de microalgas en agua y sedimento.**

Los resultados de identificar las especies de microalgas presentes en agua y sedimento, indican que existe una variedad de ellas (28 en agua y 40 en sedimento) adaptadas a las condiciones físicas y químicas prevalecientes en los sistemas acuáticos estudiados (figura 14 y 16). Por ejemplo, las especies dominantes en agua fueron: *Navicula platala*, *Navicula mutica*, *Synedra tenera*, *Nitzschia obtusa*, *Cocconeis oblonga*; mientras que en sedimento las especies predominantes fueron: *Navicula platala*, *Navicula mutica*, *Rhoicosphenia curvata*, *Cymbella minuta*, *Cymbella turgida*, *Denticula elegans*, *Diatoma hiemale*. Estos resultados indican que, en el sedimento existe una mayor diversidad de especies de microalgas adaptadas y que en el agua esta diversidad es menor. El mayor número de especies adaptadas a vivir en el sedimento, puede deberse a que en el sedimento las condiciones físicas y químicas son más estables (Axelsson y Stuguland, 2004) y a que el sedimento representa un substrato físico disponible para la supervivencia de los organismos. Por otro lado, las microalgas *Navicula platala*, *Navicula mutica*, *Nitzschia lanceolata* y *Diatoma hiemale* entre otras, son reconocidas como especies bénticas

(**Axelsson y Stuguland, 2004**) mientras que en nuestros resultados encontramos que tales especies pueden ser bentonitas y/o planctónicas (figura 14 y 16; tabla 3).

## CONCLUSIONES

1. Se determinaron 65 especies de microalgas que pertenecen a la clase Bacillariophyta (61 especies) y división Chlorophyta (4 especies).
2. La mayor concentración de clorofila C está relacionada con la predominancia de la clase Bacillariophyta, pero la concentración de clorofila A no. Debido a que clorofila A existe en una menor proporción que la clorofila C en los organismos estudiados.
3. La biomasa seca (0.001-0.085 gr/100 ml) y clorofilas A (0.0345-4.3028 mg/m<sup>3</sup>), B (0.192-13.2945 mg/m<sup>3</sup>) y C (0.9131 -130.3811 mg/m<sup>3</sup>) fueron parámetros útiles y disponibles para la medición de la productividad primaria en el presente trabajo.
4. Los sistemas acuáticos cercanos a núcleos poblacionales presentan valores de nutrimentos y algunos parámetros químicos por arriba del límite permitido por la NOM-127-SSA1-1994. Por lo tanto, se puede decir que estos sistemas presentan cierto nivel de contaminación, probablemente debido a descargas de aguas residuales y actividades agrícolas.
5. Los parámetros físicos y químicos de los sistemas hidrológicos estudiados indican que se trata de sistemas hidrológicos con temperaturas en un intervalo amplio (3°C-26.5°C), concentraciones bajas de nutrimentos: amonio (0.25–3 mg/l), nitritos (0.28–1.6 mg/l), nitratos (0.01–0.54 mg/l) y fosfatos (0.02–1 mg/l) y concentraciones de oxígeno elevadas (4.2 – 8.7 mg/l). Por lo anterior, son considerados como sistemas de baja productividad u oligotróficos.

## LITERATURA CONSULTADA

1. Ambrogi, E. P. 1989. "Agua. Investigación y Ciencia" Sc. Am. New York.
2. A.P.H.A, A.W.W.A. y W.P.F.C. 1985. "Standard methods for the examination of water and waste water". 16a. Ed. American Public Health Association, Washington, D.C. pp 1268
3. Axelsson M. y M. Stuguland 2004. "Growth of algae at different light intensities *In Vitro* culture of benthic algae at different light intensities, Lake Erken". Página electrónica [www.google.com](http://www.google.com)
4. Bidwell, R. G. S. 1979. "Fisiología Vegetal" 2ª. Ed. AGT Editor, S. A. pp 237
5. Carmona, J.J. y G. Z. Montejano. 1993. "Caracterización Ficológica de La Cuenca Baja del Sistema Hidrológico Del Panuco, México" Bol. Soc. Bot Méx. 53: 21 – 41.
6. Contreras, E. F. 1993. "Ecosistemas Costeros Mexicanos" Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad UAM-I 1ª. Ed. México.
7. Contreras-Espinosa F. N. E. Rivera-Guzmán y R. Segura-Aguilar. 2005. "Nutrientes y productividad primaria fitoplanctónica en una laguna costera tropical intermitente (La Mancha, Ver.) del Golfo de México". Hidrobiológica. 3 (15): 299-310.
8. Cotler Helena (compilaciones) 2004." El manejo integral de cuencas en México. SEMARNAT. Instituto Nacional de Ecología. A).-Casillas G. V. A. "La misión de la SAGARPA para el desarrollo integral de microcuencas hidrográficas" (211 – 221)
9. Darley, M. W. 1987. "Biología de las Algas: Un Enfoque Fisiológico" Ed. Limusa 1era. Edición. pp 518
10. Duran D. A., A. E. C. Cisneros y V. A. Vargas 2004. "Bioestadística" Coordinación de ediciones, publicaciones y comercialización FES Iztacala. pp 236.
11. Eglí K., C. Langer, H-R. Siegrist, A. J. B. Zehnder, M. Wagner, and J. Roelof van der Meer 2003. "Community Analysis of Ammonia and Nitrite Oxidizers during Start-Up of Nitrification Reactors". Appl Environ Microbiol. 69 (6): 3213-3222.
12. Gessner, F. 1959. "Hydrobotanik" Berlín.
13. González del I. A. 1988. "El plancton de las aguas continentales". U.C.C Venezuela, Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos Washington D. C. pp 130
14. González, S.A. 1989. "Manual de Técnicas Básicas para el muestreo de Plancton" UNAM ENEP Zaragoza. LIB IV, V y VI Material Didáctico. México.

15. Haering G, F, P. 1975. "Métodos de Hidrobiología" Ed. H. Blume.
16. Hutchinson, G.E. 1983. "A Treatise on Limnology, Geography Physics and Chemistry" John Wiley and Sons. New York. pp 944
17. Index Nominum Algarum 2000. Página electrónica [www.ucjeps.berkeley.edu/ina/INA\\_2000\\_index.html](http://www.ucjeps.berkeley.edu/ina/INA_2000_index.html).
18. INEGI. 2001 "Cartas Topográficas, Geológicas, de Vegetación, de Suelo, Uso de Suelo, Hidrológicas, Climáticas y Turísticas" E-14-B41 (Amecameca de Juárez), E-14-B42 (Huejotzingo), E-14-B51 (Cuautla) y E-14-B52 (Atlixco).
19. Juárez A. O. E. 2005. "Microalgas en tres sistemas acuáticos del Edo. de Méx." Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Estudios Zaragoza, UNAM, México. pp
20. Kramer K. y H. Lange – Bertalot. 1991. "Bacillariophyceae" Gustav Fischer Verlag. Germany. pp 876
21. Lara, V. MA. et al. 1996. "Fitoplancton: Conceptos Básicos y Técnicas de Laboratorio" UAM-Iztapalapa, México. pp 227.
22. Lee R. E. 1999. "Phycology" 3a. Ed. Cambridge University Press. pp 614.
23. Lind, O. T. 1985. "Handbook of common methods in limnology" 2a. Ed. Dubuque, Iowa Kendall/hunt. pp 199.
24. Margalef, R. 1974. "Ecología". Ed. Omega. Barcelona. pp 967.
25. Margalef, R. 1995. "Limnology". Ed. Omega. Barcelona.
26. Marti E., J. Aumatell, L. Godè, M. Poch, and F. Sabater 2004. "Nutrient Retention Efficiency in Streams Receiving Inputs from Wastewater Treatment Plants". J. Environ. Qual. 33: 285-293
27. Millán-Núñez R., E. Millán-Núñez, S. Álvarez-Borrego, C. C. Trees, E. Santa María-del-Ángel 2004. "Variabilidad de la comunidad del fitoplancton en Bahía San Quintín estimada mediante el análisis de pigmentos". Ciencias Marinas 30 (1A): 145 – 153
28. Mota C. M. A. Head, J. A. Ridenoure, J. J. Cheng, and F. L. de los Reyes III, 2005. "Effects of Aeration Cycles on Nitrifying Bacterial Populations and Nitrogen Removal in Intermittently Aerated Reactors". Appl. Environm. Microbiol. 71 (12): 8565-8572.
29. Norma Oficial de México NOM-179-SSA1 1998.

30. Oliva-Martínez, M. G., J. G. M. Ramírez, G. S. Garduño, J. O. Cañetas y M. M. Ortega. 2005. "Caracterización Diatomológica en Tres Cuerpos de Agua de los Humedales de Jilotepec-Ixtlahuaca, Estado de México". Hidrobiológica. 15 (1): 1-26.
31. Ortega, M. M. 1984. "Catálogo de Algas Continentales Recientes de México". UNAM. México. pp 565
32. Parques Nacionales, 2006. Página electrónica [www.planeta.com](http://www.planeta.com)
33. Parsons T. R. y Strickland, J. D. 1963. "Discussion of spectrophotometric determination of marine plant pigments, with revised equations for ascertaining chlorophylls and carotenoids". J. Mar. Res. 21: 155-162.
34. Patrick, R. y C. W. Reimer. 1996. "The Diatoms of the United States". Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia No 13. pp 688.
35. Prescott G. 1962. "Algae of the western great lakes area". Brown Company Inc. Dobuque Iowa printed in USA. pp 563
36. Prescott G. 1970. "How to know the fresh water algae". Fic. Key. Nature Serie USA. pp 348
37. Ramírez, M. J. G. 2003. "Catálogo de Bacillariophyta de ambientes epicontinentales de la Faja Volcánica Transmexicana con atlas genérico y estudio diatomológico en el Municipio de Jilotepec, Estado de México". Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, México. pp 177
38. Ramírez, V. M., Y. M. Beltrán, M. G. Bojorge, J. J. Carmona, E. A. U. Cantoral Y F. C. Valadez. 2001. "Flora Algal Del Río La Magdalena, Distrito Federal, México". Bol. Soc. Bot Méx. 68. 45-62.
39. Richards, F. A. y T. G. Thompson. 1952. "The Estimation and Characterization of Plankton Populations by Pigment Analysis II". J. Mar. Biol. 11: 156 – 162.
40. Sesták Z. 1958. "Quantitative determination of chlorophyll in the algae. Preslia. 30: 138-145.
41. Schwoerbel, J. 1975. "Métodos de Hidrobiología" Ed. Blume. Madrid. pp 262.
42. Toledo A. 2003. "Ríos, costas, mares. Hacia un análisis integrado de las regiones hidrológicas de México" SEMARNAT. Instituto Nacional de Ecología. pp 114
43. Valadez, C., J. J. Carmona, y E. A. U. Cantoral. 1996. "Algas de Ambientes Lóticos en el Estado de Morelos México" Instituto de Biología. UNAM. 2 (67): 227-282.

44. Hoek Van den, D.G. Mann y H.M. Jahns. 1995. "Algae, an Introduction to Phycology". Cambridge University Press. Great Britain.
45. Vargas, M. F. 1984 "Parques Nacionales de México". Página electrónica [www.planeta.Com](http://www.planeta.Com)
46. Vargas, M. F. 2001 "Parques Nacionales de México". Página electrónica [www.planeta.Com](http://www.planeta.Com)
47. Water Test Kits 2006. Página electrónica [www.tetra-fish.com](http://www.tetra-fish.com)
48. Wetzel, R. G. 1981. "Limnología" Ed. Omega Barcelona. pp 679.
49. Wetzel, R. G. 1983. "Limnology" 2ª Ed. U.S.A. pp 767.
50. Wetzel, R. G y G. E. Likens, 1991. "Limnological Analysis " 2a Ed. Springer-Verlag N.Y. Inc pp 391.

## ANEXO 1

La siguiente tabla muestra algunas de las especies encontradas en el área de estudio con características que se observaron para su determinación. Todas las especies descritas en esta tabla son pennales excepto *Cyclotella meneghiniana* que es central.

Especie	Valva	Rafe	Estrías	Largo	Ancho	Diámetro	Característica
<i>Achnanthes lanceolata</i>	Lineal	Si	11-14 en 10 µm	12 a 31µm	4.5 a 8 µm		Las estrías son radiadas
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i>	Lanceolada	Si	15 a 17 en µm	30 a 80 µm	13 a 22 µm		Rafe en forma de oz y estrías radiadas
<i>Amphora birugula</i>	Arqueadas	Si	21 en 10 µm	24 a 37 µm	6 a 7 µm		Margen dorsal y rafe arqueado
<i>Caloneis bacillaris</i>	Alongadas	No	8 a 10 en 10 µm	18 a 23 µm	34 a 55 µm		Con nódulo central y polar
<i>Cocconeis placentula</i>	Elíptica	No	19 a 20 en 10 µm	17 a 18 µm	8.55 a 10.44 µm		Valva con seudorafe estrecho
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	Circulares	No	7 a 10 en 10 µm			9.5 a 16.38 µm	Estrías gruesas radiales
<i>Cymbella cistula</i>	Arqueadas	Si	7 a 9 en 10 µm	40 a 120 µm	15 a 25 µm		El extremo es distal y el rafe es desviado dorsoventral
<i>C. mexicana</i>	Dorsoventral	Si	7 a 8 en 10 µm	80 a 160 µm	24 a 33 µm		extremo bulboso y rafe proximal
<i>C. minuta</i>	Ligeramente inclinadas	Si	14 a 16 en 10 µm	9 a 28 µm	4.5 a 6 µm		Área central muy pequeña o ausente
<i>Denticula elegans</i>	Lineal rectangular	Si	15 a 18 en 10 µm	15 a 40 µm	4 a 7 µm		Costados capitados
<i>Diatoma hiemale</i>	Lineal elíptica	No	18 a 20 en 10 µm	30 a 100 µm	7 a 13 µm		Seudorafe ancho
<i>Diploneis puella</i>	Elíptica lineal	Si	14 a 18 en 10 µm	13 a 27 µm	6 a 14 µm		Área central más larga que los ápices
<i>Eunotia curvata</i>	Isopolares	No	13 a 18 en 10 µm	20 a 150 µm	3 a 6 µm		Células arqueadas
<i>Fragilaria brevistriata</i>	Lineal lanceolada	No	13 a 17 en 10 µm	12 a 28 µm	3 a 5 µm		Ápices rostrados
<i>F. laponica</i>	Lineal lanceolada	No	6 a 9 en 10 µm	12 a 40 µm	4 a 6 µm		Ápices redondeados
<i>F. pinnata</i>	Lineal lanceolada	No	7 a 12 en 10 µm	3 a 35 µm	2 a 6 µm		Frustula rectangulares

<i>Gomphonema angustatum</i>	Asimétricas	Si	9 a 12 en 10 µm	12 a 45 µm	5 a 9 µm		Rafe filiforme central y ápices rostrados
<i>G. septum</i>	Claviforme lanceolada	Si	12 a 14 en 10 µm	67 a 70 µm	11 a 12 µm		Rafe filamentoso y estrías radiadas
<i>G. truncatum</i>	Claviforme inflada	Si	10 a 12 en 10 µm	26 a 65 µm	6 a 14 µm		Área central ancha y estrías radiadas
<i>Gomphoneis erienne</i>	Lanceolada con base	Si		32 a 56 µm	13 a 14 µm		Rafe filamentoso
<i>Navícula bacillum</i>	Lanceolada	Si	12 a 14 en 10 µm	30 a 90 µm	10 a 20 µm		
<i>N. halophila</i>	Lanceolada	Si	16 a 60 en 10 µm	20 a 50 µm	6 a 12 µm		
<i>N. jaernefeltii</i>	Lanceolada	Si	25 a 30 en 10 µm	8 a 20 µm	6 a 11 µm		
<i>N. mutica</i>	Lanceolada	Si	14 a 20 en 10 µm	10 a 40 µm	7 a 12 µm		
<i>Nitzschia amphibia</i>	Lineales	Si	13 a 18 en 10 µm	6 a 50 µm	4 a 6 µm		Margen intermedio
<i>N. obtusa</i>	Lanceolada	Si	22 a 30 en 10 µm	120 a 350 µm	7 a 13 µm		
<i>Opephora martyi</i>	Ovoide	No	4.5 a 8 en 10 µm	5 a 60 µm	4 a 8 µm		Frustulas de vista angosta o cuadrada
<i>O. swartzii</i>	Lineal claviforme	No	3 a 4 en 10 µm	44 a 178 µm	10 µm		Ápices redondeados
<i>Pinnularia borealis</i>	Lineal	Si	5 en 10 µm	41.4 µm	9.8 µm		
<i>P. boyeri</i>	Lineal	Si	10 a 14 en 10 µm	100 a 200 µm	15 a 22 µm		
<i>P. major</i>	Lineal	Si	5 a 7 en 10 µm	140 a 200 µm	25 a 40 µm		Rafe simple y ápices redondeados
<i>Rhoicosphenia curvata</i>	Cóncava	Si	13 a 16 en 10 µm	47 a 76 µm	3 a 4 µm		Ápices redondeados
<i>Stauroneis acuta</i>	Lanceolada	Si	12 a 16 en 10 µm	80 a 170 µm	15 a 27 µm		Bandas intercaladas y pseudoseptos
<i>S. anceps</i>	Lanceolada	Si	20 a 25 en 10 µm	24 a 75 µm	9 a 15 µm		Rafe recto y estrías radiadas
<i>Synedra fasciculata</i>	Lineal lanceolada	No	10 a 14 en 10 µm	175 a 250 µm	4 a 7 µm		Frustulas estrechas yseudorafe
<i>S. ulna</i>	Lineal lanceolada	No	10 a 12 en 10 µm	115 a 181.5 µm	5.7 a 11.6 µm		Presenta manto valvar
<i>S. tenera</i>	Lineal estrecha	No	23 a 28 en 10 µm	30 a 60 µm	1.5 a 5 µm		Seudorafe y área central
<i>Tabellaria fenestrata</i>	Lineal	No	14 a 18 en 10 µm	25 a 116 µm	5 a 10 µm		Seudorafe y septo inflado
<i>Tetracyclus lacustris</i>	Forma variable	No	24 en 10 µm	30 a 80 µm	15 a 35 µm		Seudorafe, costado curvado y valva inchada

## ANEXO 2

### ESPECIES DE MICROALGAS ENCONTRADOS EN AGUA

La siguiente tabla muestra la densidad de las especies de microalgas identificadas en agua en la localidad correspondiente.

	<i>Achnante lanceolata</i>	<i>Anomeoneis Sp</i>	<i>Closterium Sp</i>	<i>Coconeis oblonga</i>	<i>Coconeis Sp</i>	<i>Coconeis estriata</i>	<i>Cymbella lunula</i>
DOÑA BLANCA I							
APATLACO I							
CENTINELA III					72000		
BAJO CARACOL I							
LA CORONILLA							
BAJO CARACOL III							
APATLACO III				433000			
APATLACO IV							
LA CAÑADA							
CENTINELAS I							
APATLACO II	288500						
OCOTLAN				144500			
APATLACO V							
DOÑA BLANCA II						48000	
COQUIAHUAC							
CENTINELAS II							
BAJO CARACOL II							
TEPEPOL			48000				
ESCURRIMIENTO							
NEXPAYANTLA							
LA MAQUINA	72000						
POPOLLOCOTL							
ZUALCO							
EL SALTO							
AFLUENTE AMATZINAC I							
AFLUENTE AMATZINAC II							
TOMACOCO							
ABATEPETL							
OCTAVIANO							
CUESTOMATE							24000
POZO TUMBA CARRETAS							
TANQUE ELEVADO							
EL CARMEN							
AFLUENTE AMATZINAC III							
AFLUENTE AMATZINAC IV							
METLAPALAPA							
RIO AMATZINAC							

ATILAHUITZILAC							
LA LEONA							
PUENTE ZAPOTILA							
RIO ACTIOPA							
PUENTE TETEPEYATONGO							
HUILAPAN							
AJAL							
RAMAL RIO NEXAPA							
RAMAL XALAPEZCO SAN JERONIMO							
REAL RIO NEXAPA							
AXUXUCA							
MATADERO PUENTE TEJUPA							
TOCHIMILCO							
PUENTE GRANDE							
ATLIMAYAYA							
XOPANAC							
PUENTE LA VIRGEN							
RIO							
AHUITZO					240500		
CANTARRANAS							
MARAVILLAS							
ATZITZIHUACAN							
MANATIAL AFLUENTE NEXAPA							
ATILA							
NEXAPA-ATOYAC							
AHUEHUELLO							
UNION ATILA HUITZILAC							
TEPEOJUMA NEXAPA		72000					

Las cifras representan el número de organismos por litro de muestra.

	<i>Cymbella</i> Sp	<i>Cymbella</i> <i>turgida</i>	<i>Denticula</i> <i>elegans</i>	<i>Denticula</i> Sp	<i>Diatoma</i> <i>hyemale</i>	<i>Diatoma</i> Sp	<i>Eunotia</i> <i>curvata</i>	<i>Gomphonema</i> <i>angustatum</i>
DOÑA BLANCA I								
APATLACO I								
CENTINELA III				24000		72000		
BAJO CARACOL I								
LA CORONILLA								
BAJO CARACOL III								
APATLACO III								
APATLACO IV								
LA CAÑADA								
CENTINELAS I						120000		
APATLACO II		240500						
OCOTLAN								
APATLACO V								
DOÑA BLANCA II								
COQUIAHUAC	48000							
CENTINELAS II								
BAJO CARACOL II	48000					24000		
TEPEPOL								
ESCURRIMIENTO								
NEXPAYANTLA								
LA MAQUINA					96000			
POPOLLOCOTL								
ZUALCO								
EL SALTO								
AFLUENTE AMATZINAC I								
AFLUENTE AMATZINAC II								
TOMACOCO				144000				
ABATEPETL								
OCTAVIANO								
CUESTOMATE								
POZO TUMBA CARRETAS								
TANQUE ELEVADO								
EL CARMEN								
AFLUENTE AMATZINAC III								
AFLUENTE AMATZINAC IV							24000	
METLAPALAPA								
RIO AMATZINAC								
ATILAHUITZILAC								
LA LEONA				72000				
PUENTE ZAPOTILA								
RIO ACTIOPA								
PUENTE TETEPEYATONGO								
HUILAPAN								
AJAL						24000		

RAMAL RIO NEXAPA				24000		48000		
RAMAL XALAPEZCO SAN JERONIMO				48000				
REAL RIO NEXAPA								
AXUXUCA								
MATADERO PUENTE TEJUPA								
TOCHIMILCO								
PUENTE GRANDE								
ATLIMAYAYA								
XOPANAC								
PUENTE VIRGEN LA								
RIO								
AHUITZO				24000				
CANTARRANAS								
MARAVILLAS								
ATZITZIHUACAN								
MANATIAL AFLUENTE NEXAPA								
ATILA								
NEXAPA-ATOYAC								
AHUEHUELLO			48000					
UNION HUITZILAC ATILA								
TEPEOJUMA NEXAPA								24000

Las cifras representan el número de organismos por litro de muestra.

	<i>Navicula bacillum</i>	<i>Navicula mutica</i>	<i>Navicula Platalea</i>	<i>Navicula Sp</i>	<i>Nitschia lanceolata</i>	<i>Nitschia obtusa</i>	<i>Pediastrum duplex</i>
DOÑA BLANCA I							
APATLACO I				96200			
CENTINELA III		24000	1925000			72000	
BAJO CARACOL I							
LA CORONILLA			192500			72000	
BAJO CARACOL III							
APATLACO III							
APATLACO IV							
LA CAÑADA							
CENTINELAS I		72000	72000			48000	
APATLACO II				192500			
OCOTLAN							
APATLACO V		96000	48000				
DOÑA BLANCA II							
COQUIAHUAC							
CENTINELAS II							
BAJO CARACOL II		264500	144500			48000	
TEPEPOL			241000				
ESCURRIMIENTO	48000						
NEXPAYANTLA							
LA MAQUINA			12500				
POPOLLOCOTL							
ZUALCO							
EL SALTO			144500		96000		
AFLUENTE AMATZINAC I			48000				
AFLUENTE AMATZINAC II							
TOMACOCO			240500				
ABATEPETL							
OCTAVIANO		96000	96000				
CUESTOMATE							
POZO TUMBA							
CARRETAS							
TANQUE ELEVADO							
EL CARMEN		48000				48000	
AFLUENTE AMATZINAC III		120500	168500			24000	
AFLUENTE AMATZINAC IV							
METLAPALAPA							
RIO AMATZINAC			192500		96000	24000	
ATILAHUITZILAC			168500		48000		
LA LEONA		96000	96000				
PUENTE ZAPOTILA			48000				
RIO ACTIOPA		48000				48000	
PUENTE TETEPEYATONGO				72000		24000	
HUILAPAN			48000	24000		48000	

AJAL		96000	72000		24000	24000	
RAMAL RIO NEXAPA				72000		264500	
RAMAL XALAPEZCO SAN JERONIMO		24000		72000		24000	
REAL RIO NEXAPA		96000	385000			48000	
AXUXUCA				24000			
MATADERO PUENTE TEJUPA							
TOCHIMILCO			144500				
PUENTE GRANDE							
ATLIMAYAYA							
XOPANAC				48000		24000	
PUENTE VIRGEN LA RIO				24000			
AHUITZO		72000					
CANTARRANAS			96000				
MARAVILLAS							
ATZITZIHUACAN				24000			
MANATIAL AFLUENTE NEXAPA							
ATILA			72000		48000		24000
NEXAPA-ATOYAC		24000				24000	
AHUEHUELLO						24000	
UNION ATILA HUITZILAC							
TEPEOJUMA NEXAPA						24000	

Las cifras representan el número de organismos por litro de muestra.

	<i>Pinularia Sp</i>	<i>Rhoicosphenia curvata</i>	<i>Scenedesmus cuadricauda</i>	<i>Surirella microcora</i>	<i>Synedra tenerawsm</i>	<i>Tetracilus Lacustris</i>
DOÑA BLANCA I						
APATLACO I						
CENTINELA III		24000				
BAJO CARACOL I						
LA CORONILLA					24000	
BAJO CARACOL III						
APATLACO III				48000		
APATLACO IV						
LA CAÑADA						
CENTINELAS I		48000				
APATLACO II	240500				240500	
OCOTLAN						
APATLACO V						
DOÑA BLANCA II						
COQUIAHUAC				48000		
CENTINELAS II						
BAJO CARACOL II		48000			48000	
TEPEPOL						
ESCURRIMIENTO						
NEXPAYANTLA					336500	
LA MAQUINA						
POPOLLOCOTL						
ZUALCO						
EL SALTO			72000			
AFLUENTE AMATZINAC I		72000				
AFLUENTE AMATZINAC II						
TOMACOCO						
ABATEPETL						
OCTAVIANO					72000	
CUESTOMATE					72000	
POZO TUMBA CARRETAS						
TANQUE ELEVADO						
EL CARMEN						
AFLUENTE AMATZINAC III		120000				
AFLUENTE AMATZINAC IV					24000	
METLAPALAPA						
RIO AMATZINAC		72000				
ATILAHUITZILAC					72000	
LA LEONA						
PUENTE ZAPOTILA		72000	72000			
RIO ACTIOPA					48000	
PUENTE TETEPEYATONGO					24000	
HUILAPAN						72000
AJAL					24000	

RAMAL RIO NEXAPA						
RAMAL XALAPEZCO SAN JERONIMO						
REAL RIO NEXAPA		48000			144000	
AXUXUCA						
MATADERO PUENTE TEJUPA						
TOCHIMILCO					120500	
PUENTE GRANDE						
ATLIMAYAYA						
XOPANAC	120500					
PUENTE VIRGEN LA						
RIO		24000				
AHUITZO						
CANTARRANAS					120500	
MARAVILLAS						
ATZITZIHUACAN					24000	
MANATIAL AFLUENTE NEXAPA						
ATILA		72000	385000			
NEXAPA-ATOYAC						
AHUEHUELLO						
UNION ATILA HUITZILAC						
TEPEOJUMA NEXAPA						

Las cifras representan el número de organismos por litro de muestra.

### ANEXO 3

#### ESPECIES DE MICROALGAS ENCONTRADAS EN SEDIMENTO

La siguiente tabla muestra la densidad de las especies de microalgas identificadas en sedimento en la localidad correspondiente.

	<i>Caloneis bacillaris</i>	<i>Closterium Sp</i>	<i>Coconeis Sp</i>	<i>Cymbella cystula</i>	<i>Cymbella mexicana</i>	<i>Cymbella minuta</i>	<i>Cymbella Sp</i>	<i>Cymbella turgida</i>
DOÑA BLANCA I						46296		
APATLACO I								
CENTINELA III								
BAJO CARACOL I								
LA CORONILLA								
BAJO CARACOL III						1316		
APATLACO III				16667		50000		
APATLACO IV						1234	411	
LA CAÑADA						7212		
CENTINELAS I			2717			8152		
APATLACO II						160714		
OCOTLAN		546				1638		
APATLACO V	1543		1543			6173		
DOÑA BLANCA II								
COQUIAHUAC		9259						
CENTINELAS II							6024	
BAJO CARACOL II								
TEPEPOL							1543	
ESCURRIMIENTO		740				2959		
NEXPAYANTLA								
LA MAQUINA								
POPOLLOCOTL								
ZUALCO								
EL SALTO								
AFLUENTE AMATZINAC I								
AFLUENTE AMATZINAC II								
TOMACOCO						2538	3173	
ABATEPETL								
OCTAVIANO								11250
CUESTOMATE								
POZO TUMBA CARRETAS								
TANQUE ELEVADO								
EL CARMEN								
AFLUENTE AMATZINAC III								
AFLUENTE AMATZINAC IV	933							
METLAPALAPA								
RIO AMATZINAC								

ATILAHUITZILAC								
LA LEONA								3378
PUENTE ZAPOTILA								
RIO ACTIOPA								
PUENTE TETEPEYATONGO								
HUILAPAN								
AJAL								
RAMAL RIO NEXAPA								65217
RAMAL XALAPEZCO SAN JERONIMO						1852		
REAL RIO NEXAPA								
AXUXUCA								
MATADERO PUENTE TEJUPA								
TOCHIMILCO								
PUENTE GRANDE								
ATLIMAYAYA						11745		83893
XOPANAC								
PUENTE LA VIRGEN RIO								
AHUITZO								
CANTARRANAS								
MARAVILLAS						3378		
ATZITZIHUACAN								
MANATIAL AFLUENTE NEXAPA								
ATILA								
NEXAPA-ATOYAC								
AHUEHUELLO								
UNION ATILA HUITZILAC								
TEPEOJUMA NEXAPA								

Las cifras representan el número de organismos por gramo de sedimento.

	<i>Denticula elegans</i>	<i>Denticula Sp</i>	<i>Diatoma hyemale</i>	<i>Diatoma Sp</i>	<i>Diploneis puella</i>	<i>Eunotia curvata</i>	<i>Eunotia Sp</i>	<i>Fragilaria brevistiata</i>
DOÑA BLANCA I			9259	4630	13889			
APATLACO I								
CENTINELA III		4716		4716				
BAJO CARACOL I			23077					
LA CORONILLA			36364	77273				
BAJO CARACOL III		1316						
APATLACO III		8333		8333				
APATLACO IV				1234	411			
LA CAÑADA			4808	4808		4808		
CENTINELAS I				16304				
APATLACO II			17857	29762	11905			
OCOTLAN			546	2183				
APATLACO V				1543				
DOÑA BLANCA II		13158						46053
COQUIAHUAC			13889		9259			
CENTINELAS II	6024		10542					
BAJO CARACOL II		19736	32894					
TEPEPOL		1929						
ESCURRIMIENTO			3698					
NEXPAYANTLA								
LA MAQUINA								
POPOLLOCOTL								
ZUALCO								
EL SALTO					1812			
AFLUENTE AMATZINAC I						1059		
AFLUENTE AMATZINAC II								
TOMACOCO								
ABATEPETL							3289	
OCTAVIANO			10000					
CUESTOMATE								
POZO TUMBA CARRETAS								
TANQUE ELEVADO								
EL CARMEN	5952							
AFLUENTE AMATZINAC III								
AFLUENTE AMATZINAC IV								
METLAPALAPA			4310					
RIO AMATZINAC								
ATILAHUITZILAC								
LA LEONA		4505						
PUENTE ZAPOTILA								
RIO ACTIOPA								
PUENTE TETEPEYATONGO								
HUILAPAN				2155				

AJAL		1524						
RAMAL RIO NEXAPA		163043	10870	10870				
RAMAL XALAPEZCO SAN JERONIMO								
REAL RIO NEXAPA			19366					
AXUXUCA								
MATADERO PUENTE TEJUPA								
TOCHIMILCO								
PUENTE GRANDE								
ATLIMAYAYA								
XOPANAC								
PUENTE VIRGEN RIO	LA						1623	
AHUITZO				1645				
CANTARRANAS								
MARAVILLAS				23649				
ATZITZIHUACAN								
MANATIAL AFLUENTE NEXAPA				14880				
ATILA								
NEXAPA-ATOYAC			3788					
AHUEHUELLO			2953					
UNION HUITZILAC	ATILA							
TEPEOJUMA NEXAPA								

Las cifras representan el número de organismos por gramo de sedimento.

	<i>Fragilaria laponica</i>	<i>Fragilaria pinnata</i>	<i>Fragilaria Sp</i>	<i>Gomphonema truncatum</i>	<i>Gomphonema septum</i>	<i>Gyrosigma Sp</i>	<i>Hematococo pluvialis</i>
DOÑA BLANCA I							
APATLACO I							
CENTINELA III							
BAJO CARACOL I							
LA CORONILLA							
BAJO CARACOL III							1316
APATLACO III							
APATLACO IV							
LA CAÑADA							
CENTINELAS I			35326				
APATLACO II							
OCOTLAN							
APATLACO V			3086				
DOÑA BLANCA II							
COQUIAHUAC							
CENTINELAS II							
BAJO CARACOL II							
TEPEPOL	2701						
ESCURRIMIENTO							
NEXPAYANTLA							
LA MAQUINA							
POPOLLOCOTL							
ZUALCO							
EL SALTO							
AFLUENTE AMATZINAC I		5376					
AFLUENTE AMATZINAC II							
TOMACOCO							
ABATEPETL							
OCTAVIANO							
CUESTOMATE							
POZO TUMBA							
CARRETAS							
TANQUE ELEVADO							
EL CARMEN					3571		
AFLUENTE AMATZINAC III		11905					
AFLUENTE AMATZINAC IV				933			
METLAPALAPA							
RIO AMATZINAC							
ATILAHUITZILAC							
LA LEONA						5631	
PUENTE ZAPOTILA							
RIO ACTIOPA							
PUENTE TETEPEYATONGO							
HUILAPAN							

AJAL							
RAMAL NEXAPA	RIO						
RAMAL XALAPEZCO JERONIMO	SAN						
REAL NEXAPA	RIO						
AXUXUCA							
MATADERO PUENTE TEJUPA							
TOCHIMILCO							
PUENTE GRANDE							
ATLIMAYAYA							
XOPANAC							
PUENTE VIRGEN	LA						
RIO							
AHUITZO							
CANTARRANAS							
MARAVILLAS							
ATZITZIHUACAN							
MANATIAL AFLUENTE NEXAPA							
ATILA							
NEXAPA-ATOYAC							
AHUEHUELLO							
UNION HUITZILAC	ATILA						
TEPEOJUMA NEXAPA							

Las cifras representan el número de organismos por gramo de sedimento.

	<i>Navicula bacillum</i>	<i>Navicula Halophila</i>	<i>Navicula Mutica</i>	<i>Navicula Platalea</i>	<i>Navicula Sp</i>	<i>Nitschia Amphibia</i>	<i>Nitschia Lanceolata</i>	<i>Nitschia Obtusa</i>
DOÑA BLANCA I			27778	115741				4630
APATLACO I								
CENTINELA III			8647	3144			5503	
BAJO CARACOL I			15385	40385				39474
LA CORONILLA			20455	59091				
BAJO CARACOL III			7895	19737				
APATLACO III		16667	133333	216667				
APATLACO IV			5345	1701				
LA CAÑADA		4808	36058	40865				
CENTINELAS I				21739				13587
APATLACO II			17857	208333				
OCOTLAN			8734	7642				
APATLACO V			6173	26235	6173			
DOÑA BLANCA II	13158	6579	85526	118421				
COQUIAHUAC		23148	46296	74074				
CENTINELAS II		4518	7530	12048				
BAJO CARACOL II			65789	85526	6578			
TEPEPOL			1157	2315				
ESCURRIMIENTO			5178	10355				
NEXPAYANTLA								
LA MAQUINA			8445	13513				
POPOLLOCOTL								
ZUALCO								
EL SALTO								
AFLUENTE AMATZINAC I			1059	6356				
AFLUENTE AMATZINAC II			8065	16129				
TOMACOCO			3173	4442				
ABATEPETL			3289	9868	3289			3289
OCTAVIANO			10000	15000			6250	
CUESTOMATE			3086	3086		3086		
POZO TUMBA CARRETAS								
TANQUE ELEVADO								
EL CARMEN			3571	17857				
AFLUENTE AMATZINAC III			17857	80357				
AFLUENTE AMATZINAC IV			1866	13060	1866			1866
METLAPALAPA			40948	60345				4310
RIO AMATZINAC								
ATILAHUITZILAC			11364	14777			2273	
LA LEONA			15766	14640				
PUENTE ZAPOTILA			7895	7895				
RIO ACTIOPA			5952	5952				
PUENTE TETEPEYATONGO				3049				
HUILAPAN				2155			2155	

AJAL				3049				
RAMAL RIO NEXAPA			86957	103261				
RAMAL XALAPEZCO SAN JERONIMO								
REAL RIO NEXAPA			8803	33451				
AXUXUCA								
MATADERO PUENTE TEJUPA			1276	5102				1276
TOCHIMILCO			15625	25000	1563			
PUENTE GRANDE								
ATLIMAYAYA			196309	538591				
XOPANAC			1488	8929				
PUENTE VIRGEN LA				1623				3247
RIO			6329	13449			791	
AHUITZO			13158	19737			4934	
CANTARRANAS			15046	6944				
MARAVILLAS			33784	67568				
ATZITZIHUACAN			2976	2976				
MANATIAL AFLUENTE NEXAPA			50594	56547				
ATILA								
NEXAPA-ATOYAC			30303	68182				
AHUEHUELLO			15748	14764			2953	
UNION ATILA HUITZILAC			8	11792				
TEPEOJUMA NEXAPA								

Las cifras representan el número de organismos por gramo de sedimento.

	<i>Opephora martyi</i>	<i>Pinularia boyeri</i>	<i>Pinularia Sp</i>	<i>Rhoicosphenia curvata</i>	<i>Surirella caprionii</i>	<i>Surirella Sp</i>	<i>Synedra Sp</i>
DOÑA BLANCA I		9259					
APATLACO I							
CENTINELA III				4716			4716
BAJO CARACOL I							
LA CORONILLA				27273			
BAJO CARACOL III				7895			2632
APATLACO III	8333						
APATLACO IV							
LA CAÑADA	4808						
CENTINELAS I				24457			16304
APATLACO II					11905		
OCOTLAN							
APATLACO V			3086	10802			
DOÑA BLANCA II					6479		
COQUIAHUAC							
CENTINELAS II							7530
BAJO CARACOL II							
TEPEPOL							1929
ESCURRIMIENTO							
NEXPAYANTLA							
LA MAQUINA							
POPOLLOCOTL							
ZUALCO							
EL SALTO							
AFLUENTE AMATZINAC I				4237		1059	
AFLUENTE AMATZINAC II				12097			
TOMACOCO							
ABATEPETL							3289
OCTAVIANO				11250			
CUESTOMATE				1543		1543	
POZO TUMBA							
CARRETAS							
TANQUE ELEVADO							
EL CARMEN							
AFLUENTE AMATZINAC III							
AFLUENTE AMATZINAC IV				4664			
METLAPALAPA				2155			
RIO AMATZINAC							
ATILAHUITZILAC				12500			
LA LEONA							2252
PUENTE ZAPOTILA				3947			
RIO ACTIOPA							
PUENTE TETEPEYATONGO							
HUILAPAN							
AJAL							

RAMAL RIO NEXAPA				27174			
RAMAL XALAPEZCO SAN JERONIMO				3704			
REAL RIO NEXAPA							1761
AXUXUCA							
MATADERO PUENTE TEJUPA							
TOCHIMILCO				18750			
PUENTE GRANDE							
ATLIMAYAYA							
XOPANAC							
PUENTE LA VIRGEN				3247			
RIO				791			
AHUITZO				6579			
CANTARRANAS				8102			
MARAVILLAS							3378
ATZITZIHUACAN							
MANATIAL AFLUENTE NEXAPA							5942
ATILA							
NEXAPA-ATOYAC							3788
AHUEHUELLO				8858			1969
UNION ATILA HUITZILAC				9434			
TEPEOJUMA NEXAPA							

Las cifras representan el número de organismos por gramo de sedimento.

	<i>Synedra ulna</i>	<i>Tabellaria frenestriata</i>
DOÑA BLANCA I		
APATLACO I		
CENTINELA III		
BAJO CARACOL I		
LA CORONILLA	9091	
BAJO CARACOL III		
APATLACO III		
APATLACO IV		
LA CAÑADA		
CENTINELAS I		
APATLACO II		
OCOTLAN		
APATLACO V		
DOÑA BLANCA II		
COQUIAHUAC		
CENTINELAS II		
BAJO CARACOL II		
TEPEPOL	1147	
ESCURRIMIENTO		740
NEXPAYANTLA		
LA MAQUINA	1689	
POPOLLOCOTL		
ZUALCO		
EL SALTO		
AFLUENTE AMATZINAC I		
AFLUENTE AMATZINAC II		
TOMACOCO		
ABATEPETL		
OCTAVIANO		
CUESTOMATE		
POZO TUMBA CARRETAS		
TANQUE ELEVADO		
EL CARMEN	1190	
AFLUENTE AMATZINAC III		
AFLUENTE AMATZINAC IV		
METLAPALAPA		
RIO AMATZINAC		
ATILAHUITZILAC		
LA LEONA		
PUENTE ZAPOTILA		
RIO ACTIOPA		
PUENTE TETEPEYATONGO		

HUILAPAN		
AJAL		
RAMAL RIO NEXAPA		
RAMAL XALAPEZCO SAN JERONIMO		
REAL RIO NEXAPA		
AXUXUCA		
MATADERO PUENTE TEJUPA		
TOCHIMILCO		
PUENTE GRANDE		
ATLIMAYAYA	43624	
XOPANAC		
PUENTE LA VIRGEN	1623	
RIO		
AHUITZO		
CANTARRANAS	4630	
MARAVILLAS		
ATZITZIHUACAN		
MANATIAL AFLUENTE NEXAPA		
ATILA		
NEXAPA-ATOYAC		
AHUEHUELLO		
UNION ATILA HUITZILAC		
TEPEOJUMA NEXAPA		

Las cifras representan el número de organismos por gramo de sedimento.

## ANEXO 4

### GLOSARIO

**Advalvar:** junto a la valva.

**Areola:** perforación repetida de la valva, normalmente ocluida por el velo, por medio de ella se mantiene el contacto entre el interior y el exterior de la célula.

**Auxospora:** célula resultado de la reproducción sexual o célula agrandada a su máximo tamaño.

**Bandas singulares:** pueden llamarse también elementos singulares, cópulas o tabiques, encierran y protegen a la célula, al mismo tiempo acomodan el aumento de volumen durante el ciclo celular. Pueden ser abiertas (si no rodean por completo a la célula), divididas o completas.

**Canal rafideano:** espacio en el sitio interior del rafe, el cual está separado del resto de la valva.

**Cara valvar:** parte de la valva rodeada por el manto.

**Carena:** espacio que se forma entre dos fibulas.

**Cíngulo:** porción de la valva asociada a las bandas singulares.

**Conopeum:** protuberancia que corre a la largo del canal rafidiano.

**Costillas:** capas silíceas transapicales cercanas al rafe.

**Cribas:** velo reticulado que consiste en poros regularmente arreglados.

**Estauro:** área central alargada transversalmente.

**Estigma:** perforación de la cara valvar en el área central del rafe de las diatomeas pennales.

**Estrías:** hileras de areolas orientadas de diversas formas (radiales, paralelas, fasciculares, convergentes, etc.).

**Fascia:** área central que forma una banda extendida transapicalmente.

**Fíbula:** puente de sílice entre porciones de la valva y el lado del rafe, en algunos casos son prolongaciones de una, o son el resultado de la fusión de varias interestrías.

**Finales centrales:** extensiones del rafe en la zona central de la valva, pueden ser alargados, cortos, en forma de gancho, de fisura o terminar en nódulos.

**Fisura terminal:** es una continuación del rafe ubicado cerca del final apical.

**Frústulo:** elemento silicio de la pared celular de una diatomea.

**Fuloportula o proceso reforzado:** tubo que penetra el sílice y está sostenido internamente por dos o más refuerzos, tiene una abertura en la parte interna con dos a cinco poros satélite.

**Helictoglossa:** proyección en forma de labio que se ubica en la terminación del rafe en la parte interna de la valva.

**Hímen:** membrana silicea muy delicada perforada con poros redondeados o elongados, esta membrana ocluye los poros de la red primaria.

**Lígula:** extensión delgada de las bandas singulares que sobresale con un ángulo de aproximadamente 90°, esta extensión puede o no dividir a la banda.

**Manto valvar:** parte marginal de la valva diferenciada por un declive o por diversas estructuras.

**Nódulo:** estructura entre dos ramas del rafe.

**Poroides:** perforaciones simples de formas muy variadas; elípticas, alargadas, curvas, formando una media luna, etc.

**Polo capitado:** que semejan cabeza bien formada.

**Polo rostrado:** que termina en pico.

**Poros:** perforaciones simples de la valva.

**Pseudorafe:** también llamada área axial o esternón, es un área hialina que corre a lo largo del eje apical.

**Rafe:** es una o dos aberturas que se elongan a través de la pared celular.

**Rimopórtula o proceso labiado:** tubo que se abre hacia el interior de la célula por una ranura, hacia el exterior se abre en forma simple o una estructura tubular abierta en el ápice.

**Valvocópula:** banda singular que se encuentra debajo del borde valvar.

**Vista conectiva o cingular:** presenta la parte de la valva que contiene el manto y las bandas cingulares.

**Vista externa:** presenta la parte de la valva que esta en contacto con el medio externo de la célula.

**Vista interna:** presenta la parte de la célula que esta en contacto con el citoplasma celular.

**Vista valvar:** presenta la parte de la valva que es rodeada por el manto.

**Volae:** es un tipo de velo reticulado que consiste en poros o barras con extensiones en forma de aleta.