



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA**

**“Microalgas en tres sistemas acuáticos del  
Estado de México”**

**T E S I S P R O F E S I O N A L  
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
B I Ó L O G O  
P R E S E N T A :**

**ORLANDO ESTEBAN JUAREZ ALVAREZ**

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

**MEXICO, D. F.,**

**2005**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## DEDICATORIA

**A DIOS LE DOY GRACIAS POR TODO.**

**A MIS PADRES RODOLFO Y ESTELA QUE LES DEBO MI VIDA Y TODO LO QUE SOY, GRACIAS POR CONFIAR SIEMPRE EN MÍ, GRACIAS POR HABERME CONCEDIDO ESTA GRAN OPORTUNIDAD DE ESTUDIAR, QUE SIGNIFICA MUCHO PARA MÍ. GRACIAS TAMBIÉN POR EL GRAN APOYO MORAL Y ECONÓMICO QUE ME HAN BRINDADO EN TODO MOMENTO.**

## AGRADECIMIENTOS

**A MI TUTOR BIOL. ANGÉLICA ELAINE GONZÁLEZ SCHAFF, MUCHAS GRACIAS POR SU PACIENCIA Y DEDICACION QUE TUVO CONMIGO Y DARME LA OPORTUNIDAD DE REALIZAR ESTE TRABAJO A SU LADO, GRACIAS POR HABERME BRINDADO TODO SU APOYO, ÁNIMO, ATENCIÓN Y TIEMPO, Y SOBRE TODO POR LOS VALIOSOS CONSEJOS Y CONOCIMIENTOS QUE ME SUPO TRANSMITIR.**

**A LA DRA. ALEJANDRINA GRACIELA ÁVILA ORTIZ, MUCHAS GRACIAS POR HABER CONFIADO EN MÍ, Y MUCHAS GRACIAS TAMBIÉN POR EL ENTUSIASMO Y EL GRAN APOYO QUE ME DIO PARA QUE PUDIERA CONCLUIR ESTE TRABAJO.**

**AL M. en C. ERNESTO MENDOZA VALLEJO, LE DOY GRACIAS POR SUS CONSEJOS Y RECOMENDACIONES PARA REALIZAR ESTE TRABAJO.**

**A LA DRA. BERTHA PEÑA MENDOZA, MUCHAS GRACIAS POR SU COMPRESION Y APORTE DE CONOCIMIENTOS, EN DONDE ME DIO LA OPORTUNIDAD DE APRENDER.**

## INDICE

### DEDICATORIA

1)	RESUMEN
2)	INTRODUCCION
8)	ANTECEDENTES
10)	AREA DE ESTUDIO
11)	VALLE DE BRAVO
12)	MAPA VALLE DE BRAVO
13)	VILLA VICTORIA
14)	MAPA VILLA VICTORIA
15)	PARQUE NACIONAL IZTA-POPO
16)	MAPA PARQUE NACIONAL IZTA-POPO
17)	OBJETIVOS
18)	METODO
19)	TRABAJO DE CAMPO
20)	TRABAJO DE LABORATORIO
21)	TRABAJO DE GABINETE
23)	RESULTADOS (PRESA VALLE DE BRAVO)
28)	FOTOS DE ALGUNAS ESPECIES DE LA PRESA VALLE DE BRAVO
30)	RESULTADOS (PRESA VILLA VICTORIA)
35)	FOTOS DE ALGUNAS ESPECIES DE LA PRESA VILLA VICTORIA
37)	RESULTADOS (ARROYOS DEL PARQUE NACIONAL IZTA-POPO)
41)	FOTOS DE ALGUNAS ESPECIES DE ARROYOS DEL PARQUE NACIONAL IZTA-POPO
43)	ANALISIS DE RESULTADOS
65)	CONCLUSIONES
66)	RECOMENDACIONES
67)	BIBLIOGRAFIA
72)	ANEXO 1
74)	DIAGRAMAS DE CAJA
81)	ANEXO 2

## RESUMEN

En el presente trabajo se estudiaron las microalgas en tres cuerpos acuáticos del Estado de México: la presa Valle de Bravo, la presa Villa Victoria y arroyos tributarios del Río Ameca en el parque Nacional Izta-Popo. Se establecieron estaciones de muestreo, en las cuales se tomaron datos ambientales y muestras de agua en las que se determinó su temperatura, pH, oxígeno y bióxido de carbono disuelto, alcalinidad, dureza y concentración de amonio, nitratos y fosfatos. Las muestras destinadas al análisis del fitoplancton fueron fijadas con acetato de lugol y llevadas al laboratorio; para su recuento se utilizaron cámaras de sedimentación y un microscopio invertido. Se elaboraron cuadros de los parámetros físico-químicos, la concentración de nutrimentos en Valle de Bravo indica altas concentraciones (de ortofosfatos 1.38 mg/l, de amonio 2.04 mg/l y de nitratos 0.138 mg/l, en Villa Victoria los valores son menores 0.46 mg/l de ortofosfatos, 1.82 mg/l de amonio y 0.186 mg/l de nitrato y en el arroyo Ameca, los valores son escasos 0.3mg/l de ortofosfatos, 0.81 mg/l de amonio y 0.121 mg/l de nitratos. La composición por especies de Valle de Bravo muestra 9 especies para la división Chlorophyta, las más comunes *Pediastrum duplex*, *Pediastrum simplex* y *Staurastrum paradoxum*, quienes presentan el mayor valor de densidad en la laguna, se encontraron 11 especies de diatomeas, las más abundantes; *Navicula sp*, *Fragilaria virescens*, *Cymbella brevistriata*, *Gomphonema crotonensis*, *Asterionella formosa* y *Fragilaria crotonensis*, esta última es característica de cuerpos de agua eutrofizados. En la división Cyanophyta las más comunes fueron: *Anabaena solitaria* y *Aphanocapsa elachista*. En Villa Victoria la división Chlorophyta presentó dentro de las más abundantes a *Scenedesmus quadricauda*, *Staurastrum paradoxum* y *Pediastrum duplex*, se encontraron 14 especies de la división Chrysophyta, dentro de las más abundantes: *Navicula sp*, *Fragilaria virescens*, *Aulacoseira italica*, *Navicula platalea*, *Cyclotella meneghiniana* y *Melosira varians*. La composición por especies de arroyos del Parque Nacional Izta-Popo, muestra la presencia principal de la división Chrysophyta con 12 especies, las más importantes son: *Amphora birugula*, *Navicula radiosa*, *Navicula platalea* y *Fragilaria capucina*. Con base en la composición de microalgas presentes y a las condiciones físico-químicas se ubica a la presa Valle de Bravo como un sistema eutrófico, a la presa Villa Victoria como mesotrófico y al arroyo Ameca del Parque Nacional Izta - Popo como oligotrófico.

## INTRODUCCIÓN

México cuenta con un escaso número de lagos naturales, sin embargo, de acuerdo con los datos del Plan Nacional Hidráulico (Athié, 1987), el país posee aproximadamente 1264 embalses artificiales con una capacidad mayor a  $5 \times 10^5 \text{ m}^3$ . Al igual que los lagos naturales, éstos están sometidos a un progresivo enriquecimiento de nutrientes, que conduce a la eutroficación, a la proliferación de algas indeseables que confieren al agua propiedades organolépticas desagradables y en casos extremos, traen consigo toxicidad y mortandad masiva de peces (Haynes, 1988; Margalef, 1983).

Entre las comunidades acuáticas, los organismos del fitoplancton se han utilizado como indicadores de las condiciones que prevalecen en los cuerpos de agua (Kalff y Knoechel, 1978, Haynes, 1988; Klemer y Konopka, 1989 y Rosas *et al*, 1992). Sin embargo, para emplearlos con certeza, en particular en nuestras latitudes, se deben conocer sus respuestas ante cambios estacionales. De esta forma será posible predecir en qué momentos y bajo qué condiciones el sistema se encuentra con mayor susceptibilidad de presentar una proliferación de especies no deseables; así se podrán reconocer las especies que solo se presentan estacionalmente y las que prevalecen como resultado de su mayor tolerancia (Schwöerbel, 1975).

En latitudes tropicales, donde la luz y la temperatura son relativamente constantes, las variaciones estacionales del fitoplancton dependen del efecto de las lluvias, la sequía e incluso de la mezcla de la columna de agua. Las fluctuaciones de la biomasa planctónica suelen ser de amplitud mayor en lagos tropicales que en los templados, el inicio de la temporada de lluvias define el máximo crecimiento, cuya significancia depende del aporte de nutrientes de la cuenca de drenaje (Darley, 1987).

La eutrofización de los ambientes acuáticos es un proceso originado por el incremento de nutrientes, que se traduce en una alta y fluctuante densidad del fitoplancton y frecuentes cambios en su composición. Si bien los patrones en la secuencia de especies dominantes fueron claramente tipificados para lagos eutróficos templados, en relación a los períodos de estratificación y mezcla de la columna de agua, algunos lagos someros pueden permanecer todo el año en un solo estado sucesional, por ejemplo dominados por cianofíceas. Además, los disturbios provocados por factores externos (vientos, lluvias, ingresos de aguas de distinto origen) alteran estas sucesiones, por lo que es necesario el análisis frecuente de la comunidad para conocer las respuestas de las especies a los cambios en las condiciones ambientales (Reynolds, 1997).

Los lagos son considerados como ecosistemas transitorios, ellos nacen y a través del tiempo mueren, el incremento de fertilidad en los lagos es un proceso natural, gran número de lagos presentan acelerado deterioro por causas de actividades humanas, la eutrofización es un estado que produce disturbios y inestabilidad en ecosistemas acuáticos lo cual lleva a situaciones extremas que se desarrollan por la alta productividad y la diversidad de algas que se presentan. Estos ecosistemas generan sustancias tóxicas produciendo deterioro del oxígeno y causando muerte masiva de peces. Estas consecuencias producen colapso ecológico, características que describen estos efectos como eutróficos (Sawyer, 1966).

Las cianobacterias (o cianofíceas) constituyen un grupo taxonómico ampliamente distribuido en ambientes lénticos del país (Pizzolón *et al.*, 1997) y del mundo (Pitois *et al.*, 2000), debido a que por sus características fisiológicas y ecológicas resultan competitivamente superiores a otros organismos del fitoplancton. Entre las estrategias de diversas especies de este grupo que posibilitan el desarrollo de densas poblaciones, cabe señalar su capacidad: 1) crecer y reproducirse bajo distintas condiciones de nutrientes y luz; 2) regular su posición en la columna de agua (vesículas de gas), pudiendo permanecer distribuidas en la masa de agua o concentradas en la superficie (afloramiento) y 3) evitar su ingestión por parte del zooplancton debido a sus grandes dimensiones (Reynolds, 1997).

El plancton se debe definir como la comunidad de organismos que viven en suspensión en el mar o en el agua dulce y con un movimiento pasivo generado por el viento y la corriente (Ramírez, 2000). Por su parte, el perifiton es una comunidad conformada por algas, bacterias, hongos que crecen sobre sustratos como piedras, plantas etc. (Schwörbel, 1993) Según Lampert y Sommer (1993), el perifiton (ficoperifiton) hace referencia a la comunidad de microalgas que crecen sobre superficies sumergidas en el agua. En términos generales, el perifiton está constituido por todos los organismos que se encuentran adheridos a un sustrato sumergido en una corriente.

De acuerdo a su hábito de vida, el plancton se ha dividido en: Fitoplancton y zooplancton. Según Wetzel (1981), por lo general, el fitoplancton está restringido a los ecosistemas lénticos y a los lóticos en sitios donde la velocidad de la corriente es baja. Los principales grupos fitoplanctónicos de agua dulce se incluyen dentro de los reinos Mónera y Protista. Al primero de éstos pertenece la división Cyanophyta y al protista las divisiones: Euglenophyta, Cryptophyta, Chrysophyta, Pyrrhophyta y Chlorophyta (Ramírez, 2000).

El fitoplancton consta principalmente de algas microscópicas unicelulares o coloniales (Darley, 1987). Estas algas son una parte muy importante en las cadenas tróficas ya que son productores primarios, formando las “praderas” de los océanos. Dado que el 72 % de la tierra está cubierta por el océano, el fitoplancton es el grupo más importante de productores primarios sobre el planeta (Sournia, 1978).

Anualmente, las plantas verdes, incluyendo las algas oceánicas, fijan alrededor de 150 mil millones de toneladas de carbono para elaborar materia orgánica, y simultáneamente liberan a la atmósfera 400 mil millones de toneladas de oxígeno. La importancia del proceso fotosintético radica principalmente en su capacidad de producir nutrimentos a partir de elementos inorgánicos, así como de almacenar y transportar, a niveles superiores de la cadena trófica, la pequeña porción de energía aprovechada por las plantas en la superficie terrestre. Las microalgas son muy eficientes en la absorción de la energía solar si se comparan con las especies vegetales cultivadas en la agricultura convencional (Bold, 1978).

En su mayoría, los elementos del zooplancton dependen del fitoplancton para su alimentación, sin embargo, algunas especies se alimentan de materia coloidal, material suspendido y en menor grado de sustancias en solución. Además, en lagos muy turbios, la depredación de los peces sobre el zooplancton puede ser no selectiva, lo que permite la persistencia de especies de gran tamaño (Payne, 1986).

Dentro de los estudios de fitoplancton de sistemas naturales están, primeramente, la composición de las comunidades y después su estructura y propiedades. Es bien conocido que los ecosistemas limnéticos reciben y procesan la tensión que se ejerce en el conjunto de una cuenca de drenaje (Margalef, 1983).

Como consecuencia del incremento del desarrollo de las algas hay pérdida de transparencia del agua, que adquiere olores y sabores desagradables y que podría padecer toxicidad por el desarrollo de ciertas cianofíceas (algas verdes- azules). La calidad del agua se ve sensiblemente menguada, lo que dificulta y limita los posibles usos a los que se puede destinar. Tal es la problemática más común asociada a este proceso, por sus repercusiones en el detrimento de los cuerpos de agua.

Las investigaciones acuáticas conducen a bosquejar una tipología de los cuerpos de agua, que además cumplen con un fin práctico, pues la asignación de un tipo determinado a cada embalse implica automáticamente la posesión de una serie de características de composición y dinámica que deberán tenerse presentes al manejar y administrar estos recursos (Reynolds, 1984), uno de los problemas que se presentan en el estudio de lagos o ríos es la eutrofia que se caracteriza por tener los cuerpos de agua una cantidad de nutrimentos y elevada producción biótica, resultado de factores edáficos, morfológicos y climáticos, representado una etapa de sucesión ecológica (De la Lanza *et al.*, 1991).

La eutrofización, puede llegar a tener efectos negativos en los sistemas acuáticos (Darley, 1987; Margalef, 1983; Odum, 1985) por ejemplo:

- Degradación organoléptica del agua (olor, color, transparencia, sabor).
- Deterioro de las comunidades biológicas, por la sustitución de especies sensibles por especies oportunistas de mayor rusticidad.
- Mayor exportación de nutrimentos al cauce aguas abajo.
- Auto estimulación de la propia eutrofización, es decir, se trata de un proceso de retroalimentación positiva.
- Crecimiento de algas macrofíticas en canales de riego y cauces interiores (también en el propio embalse cuando hay cierta estabilidad de nivel).
- Incremento de materiales en suspensión que perjudica cualquier proceso que requiera el paso del agua por filtros, como en la potabilización; y en otro caso, llegando a impedir la navegación a motor, etc.
- Aumento de la posibilidad de mortandad masiva de peces por asfixia o envenenamiento.
- Descenso de la vida media del embalse por incremento de la tasa de colmatación del vaso.
- Mayor reciclaje interno de materiales y por tanto, mayor tiempo de retención de los contaminantes en el agua.
- Disminución de la capacidad depuradora de los embalses, que repercute en la calidad de las aguas en los sistemas fluviales y embalses situados aguas abajo.
- Descompensaciones y fluctuaciones muy amplias de gases, sobresaturaciones de oxígeno, hipoxias, anoxias, formación de anhídrido sulfhídrico y metano.



- Desplazamiento de equilibrios químicos, especialmente por la elevación del pH, como ocurre con la forma no ionizada, en la zona fótica.
- Interferencias en las fases de coagulación/floculación de los sistemas de potabilización de aguas.
- Obstrucción de conducciones de agua por la formación de concreciones de hierro y manganeso.
- Elevación del grado sapróbico de las aguas, es decir, estimulación de los ciclos microbiológicos relacionados con la materia orgánica. Eso tiene también consecuencias en la septicidad de las aguas y el riesgo de proliferación y propagación de agentes infecciosos.

La eutrofización, que puede tener origen natural, es un proceso lento, aunque en ocasiones se acelera por determinadas características geomorfológicas. Sin embargo, el tipo de eutrofización denominada cultural es mucho más rápida y grave que la natural. Las fuentes antrópicas de nutrientes pueden ser puntuales o difusas, y de origen doméstico, industrial, agrícola o ganadero. Los embalses constituyen elementos de retención hídrica en el flujo unidireccional del río y añaden un desarrollo vertical al sistema. A medida que se avanza desde la cola hacia la cabecera (cortina), que suele ser el punto de mayor profundidad, se pierden características fluviales y se incrementa la similitud con los lagos. Sin embargo, se mantienen dos diferencias transcendentales con los ambientes lacustres: los tiempos de retención hidráulica son inferiores y las salidas de agua se producen en profundidad, con un desacoplamiento más evidente del régimen hidrológico en la cuenca de drenaje (Edmonson, 1976).

Las comunidades biológicas que se desarrollan en el embalse se superponen a este medio abiótico e interactúan con él, de forma que la resultante de estas interacciones determina la calidad del agua en cada momento del ciclo anual. Estas biocenosis se organizan en redes alimenticias con una estructura jerárquica que transitan por una escala temporal definida por sus tiempos de generación que transcurren, desde horas en las bacterias, pasando por días en el fitoplancton, hasta semanas/meses en los invertebrados y años en los peces. Cada nivel en estas redes integra las tensiones que reciben del entorno, directamente o a través de los demás niveles con los que interactúa. La subsiguiente reacción se expresa mediante mecanismos reguladores si no se sobrepasan los umbrales de integridad ecológica. En caso contrario se producen colapsos, como mortandades masivas, pérdidas de especies o, lo que es más grave, la pérdida de funcionalidad del nivel, lo cual puede acarrear profundas alteraciones en el medio (Moss, 1998).

Si se consideran las interacciones directas e indirectas entre niveles, se pueden establecer las regulaciones principales de unos niveles sobre otros y determinar aquellas que pueden resultar limitantes. Así resulta posible utilizar este conocimiento para la gestión de la calidad del agua, puesto que cada combinación de factores limitantes favorecerá la proliferación de unas estrategias en detrimento de otras. Los organismos favorecidos modificarán a su vez la combinación vigente de dichos factores en un proceso dinámico que define la sucesión ecológica en el sistema (Hutchinson, 1957).

Existen, por otra parte, múltiples procesos de retorno a través del reciclaje directo de nutrientes o de degradación y mineralización de los detritos. Estos pasos pueden estar influidos también por los sedimentos, en los que existe una fracción abundante de materia orgánica que en determinadas condiciones retorna a la columna de agua (Edmonson, 1976).

Cuando lo que está limitando el crecimiento poblacional es la acción de un nivel superior sobre otro inferior (por ejemplo, el pastoreo del zooplancton sobre el fitoplancton), se habla de regulación descendiente. En la medida en que se conozcan los elementos fundamentales de regulación en cada caso, será posible intervenir mediante medidas que favorezcan aquellos que limiten los procesos que llevan al colapso. Uno de los elementos que limita más frecuentemente en los embalses es el fósforo, de modo que la introducción de mayores cantidades de este producto, dispara el crecimiento algal hasta densidades muy elevadas en las que se pueden imponer limitaciones de otros tipos físicas y/o biológicas (Sournia, 1978).

Es muy característico en los embalses eutrofizados, que se inicie en la primavera una sucesión de comunidades de algas dominadas típicamente por diatomeas penadas que crecen en un medio abundante en nutrientes, de modo que se pueden dar en este periodo los máximos anuales de biomasa algal (generalmente estimada mediante la concentración de clorofila "a"). Estos pulsos que anteceden al crecimiento de las clorofíceas típico del verano temprano, son seguidos de fases en las que se eleva la transparencia del agua y abunda el zooplancton herbívoro, cuando la energía lumínica que entra en el sistema es máxima (Preescott, 1970).

A medida que avanza el verano se puede producir la disminución de nutrimentos, que favorece a grupos algales, como las diatomeas céntricas. Dependiendo del grado trófico y de los nutrientes que limiten el crecimiento algal en este periodo, son favorecidas diferentes especies de algas al final del estiaje, desde cianofíceas fijadoras de nitrógeno a otros tipos de cianofíceas, pasando por dinoflagelados. En realidad, es la combinación de la limitación por la energía y por los recursos la que determina la asociación algal que se verá favorecida en cada momento (Reynolds, 1984).

En los embalses de México se presenta un ámbito biogeográfico de gran amplitud y diversidad, las asociaciones dominantes en cada caso atienden a tres factores de distribución básicos, como es el contenido mineral y la alcalinidad del agua, el estado trófico del embalse y la estabilidad de la columna de agua y su tiempo de residencia.

Las redes alimenticias en los embalses, aunque interconectadas, poseen dos componentes claramente diferenciados (pelágica y bentónica). La interconexión principal se establece mediante la vía detritica que enriquece los fondos de materia orgánica y que se intensifica con la eutrofización. A esta vía detritica contribuye en gran medida el plancton, que se constituye en un componente crucial, pero que debe controlarse, considerando los efectos perjudiciales de las proliferaciones masivas fitoplanctónicas (Needham y Needham 1978).

Por otra parte en la historia humana se ha visto desde siempre influida por los ríos, que proporcionan agua, transporte y los medios para la eliminación de desechos. Los arroyos tienen un cauce o lecho, escasa profundidad relativa, muestra un desplazamiento en una dirección dada, carecen de periodo prolongado de estancamiento o estratificación térmica (Sawyer, 1966).

Un arroyo es considerado como un curso de agua natural, cuyo ancho es de 1 a 5 m. La velocidad de los arroyos, aunque se encuentran en función de la pendiente y de las crecidas son, por lo general, débiles, tienen características de aguas en curso menos turbulentas, temperatura, profundidad y velocidad más variable que las de los ríos de corriente rápida. (Catalán y Catalán, 1987).

Cada día son más frecuentes los cuerpos de agua que se encuentran contaminados y en vías de extinción. Botellas de plástico, residuos de detergentes, natas de aceites y combustibles, entre otras muchas evidencias visuales, nos ilustran las condiciones en las que se encuentran las masas de agua del país y el Estado de México, en particular. Preservar para las generaciones futuras el patrimonio hídrico de México, en las mejores condiciones ecológicas, ha sido un motivo de preocupación, pues cada vez son menos los cuerpos de agua que no estén eutrofizados por intervención humana.

Con los años, se ven deteriorarse y desaparecer muchos cuerpos de agua en los que solía desarrollarse una buena parte de la vida económica y social de las comunidades, con fines agrícolas, pecuarios, industriales.

Los estudios planctónicos resultan importantes, ya que estos organismos son los iniciadores de la cadena trófica. Este trabajo es uno de los estudios que han de emprenderse para identificar organismos fitoplanctónicos en embalses y arroyos del Estado de México con diferente grado de eutrofización y así tener una idea global del proceso eutrófico y para describir la flora algal se eligieron tres sistemas del Estado de México, el primero es la Presa de Valle de Bravo, el segundo la Presa de Villa Victoria y el tercero, los arroyos de deshielo que bajan de las laderas del volcán Iztaccíhuatl, en el Parque Nacional Izta-Popo.

## ANTECEDENTES

El lago de Tenochtitlan lo que hoy es la ciudad de México, tiene entre los múltiples legados de la vida lacustre de entonces, el alga espirulina, considerada como un manjar de altos contenidos nutritivos y como el huahutle o hueva de mosco que es una delicia gastronómica, entre otros alimentos surgidos de los lagos (Ortega, 1987).

En los códices Florentino y Mendocino los mexicas sobrevivientes a la Conquista describen algunas algas dulceacuáticas y el uso que de ellas se hacía. El régimen colonial en su afán de explotación y de exterminio de todas las prácticas vernáculas, hizo que desaparecieran las prácticas medicinales y nutritivas de los productos tradicionales, aunque no del todo, pues Von Humboldt, del Paso y Troncoso, Charles Dibble y Anderson, pudieron documentar algunos minerales y especies de plantas y animales lacustres que tuvieron empleo por parte de nuestros antepasados (Ortega, 1987)

El inicio de la Ficología nacional de una manera más formal surge con Amelia Sámano Bishop y Demetrio Sokoloff en 1931 quienes describen algunas especies de algas de agua dulce (Ortega, 1987).

Los estudios limnológicos en México, se han enfocado hacia el lago de Chapala, Pátzcuaro y Cuitzeo; se han realizado investigaciones en el lago de Catemaco, Zirahuén, Alchichica, Tequesquitengo (Arredondo-Figueroa y Aguilar Díaz, 1987) y presas como Valle de Bravo y Villa Victoria, cuyos antecedentes se mencionan a continuación.

Para la presa Valle de Bravo se tienen los siguientes trabajos:

- a) Olvera (1990), realizó un estudio en el que clasificó al cuerpo de agua como cálido monomítico, no detecta anoxia en el hipolimnio y concluye que debido al incremento vegetal, deterioro de la calidad del agua y el abatimiento del oxígeno en el hipolimnio, se está llevando a cabo en el embalse una eutrofización ubicando al sistema como mesotrófico y reporta especies como *Pediastrum duplex*, *Pediastrum simplex*, *Aulacoseira italica*, *Scenedesmus dimorphus*.
- b) Olvera (1992), señala que las descargas de aguas residuales y el río Amanalco son la principal fuente de contaminación de la presa Valle de Bravo por lo que le clasifica como un sistema eutrófico.

En la presa Villa Victoria solo se tienen reportado los siguientes trabajos:

- a) Olvera (cítado en García, 1994) que realizó la caracterización limnológica del embalse Villa Victoria, Estado de México, tomando en cuenta aspectos bióticos y abióticos.

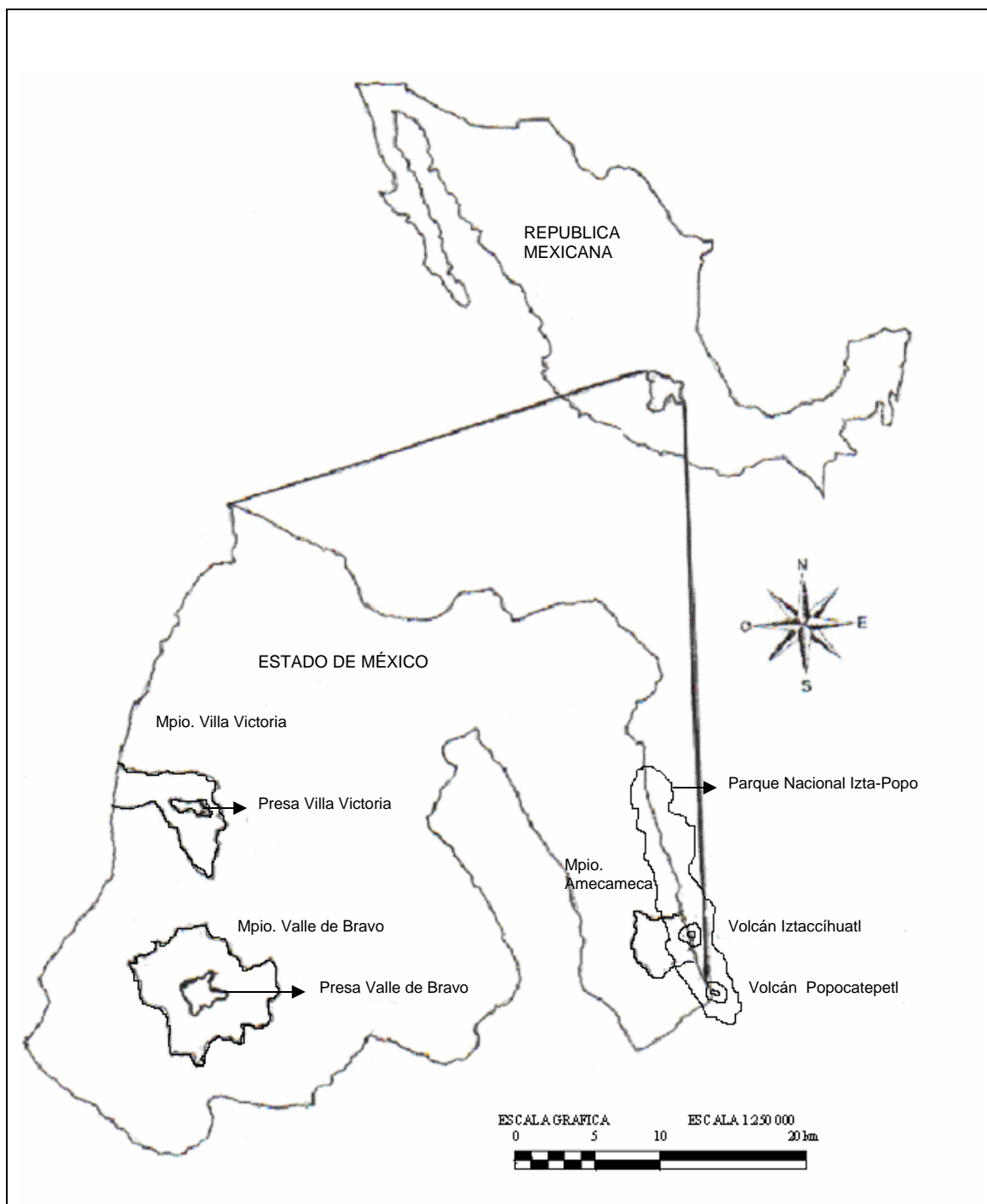
- b) García (1994) quien realizó un análisis preliminar de la comunidad de algas del litoral de la presa, menciona que esta formada por 44 taxas, de los cuales el 34 % pertenecen a las clase Bacillariophyceae, 27 % a Chlorophyceae, 12 % a Zygophyceae, 11 % a Cyanophyceae, 9 % a Euglenophyceae, 5 % a Dinophyceae y 2 % a Crysophyceae, menciona que el embalse se encontraba en estado de eutrofización durante la época de muestreo de noviembre de 1987 a octubre de 1988.
  
- c) Rodríguez (1999) quien realizó un estudio de las especies de algas fitoplanctónicas en la presa Villa Victoria, Estado de México, a lo largo de un ciclo anual reportó 36 géneros con mayor abundancia de *Closterium parvulum*, *Aulacoseira italica*, *Ciclotella meneghiniana*. Reporta el máximo de densidad en el mes de enero con 128 millones de unidades biológicas por litro y concluye que el sistema presenta tendencia a la eutrofización.

Para los sistemas lóticos del Parque Nacional Izta-Popo se tienen dos trabajos anteriores respecto la flora ficológica, actualmente la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza realiza una investigación integral que incluye el estudio de arroyos y manantiales, la evaluación de parámetros hidrológicos, así como la composición y densidad de algas presentes en los sistema lóticos del parque. Como antecedentes en la hidrología de estos sistemas se tienen los siguientes trabajos:

- a) Gómez-Márquez *et al.* (2001) realizaron la diagnosis de diferentes escurrimientos, pozos y manantiales que se presentan en el Parque Nacional Izta-Popo y sus zonas de influencia, con la finalidad de conocer la calidad del agua, donde se obtuvo que la mayoría de los parámetros físicos y químicos del agua de los escurrimientos en las cuatro subcuencas manifestaron un comportamiento en función de la altitud; esto es que a mayor altitud los valores de concentraciones o unidades de la temperatura ambiente y del agua, potencial hidrógeno (pH), alcalinidad y dureza total, potencial Oxido-Reducción (PQR), conductividad, demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), coliformes totales y fecales fueron menores en comparación a los registros a menores altitudes. Esto se debe a una disminución en el gasto de los escurrimientos por la desviación del caudal para actividades agrícolas o industriales.
  
- b) Balbuena *et al.* (2002), realizaron un estudio en arroyos y manantiales del Parque Nacional y su zona de influencia, y reportan que las características hidrológicas los ubican como cuerpos acuáticos oligotróficos en las partes a mayor altitud (dentro del parque) y con una mayor abundancia de diatomeas, conforme se acercan a las partes bajas y por consiguiente a los poblados, las características cambian y aparecen otros grupos de algas como Clorofitas y Cianofitas.

## AREA DE ESTUDIO

Los tres sistemas estudiados se localizan en el Estado de México en los municipios de Valle de Bravo, Villa Victoria y Amecameca ( Mapa 1).



Mapa 1.- LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN LOS MUNICIPIOS DEL ESTADO DE MEXICO ( INEGI, 2000).

## VALLE DE BRAVO

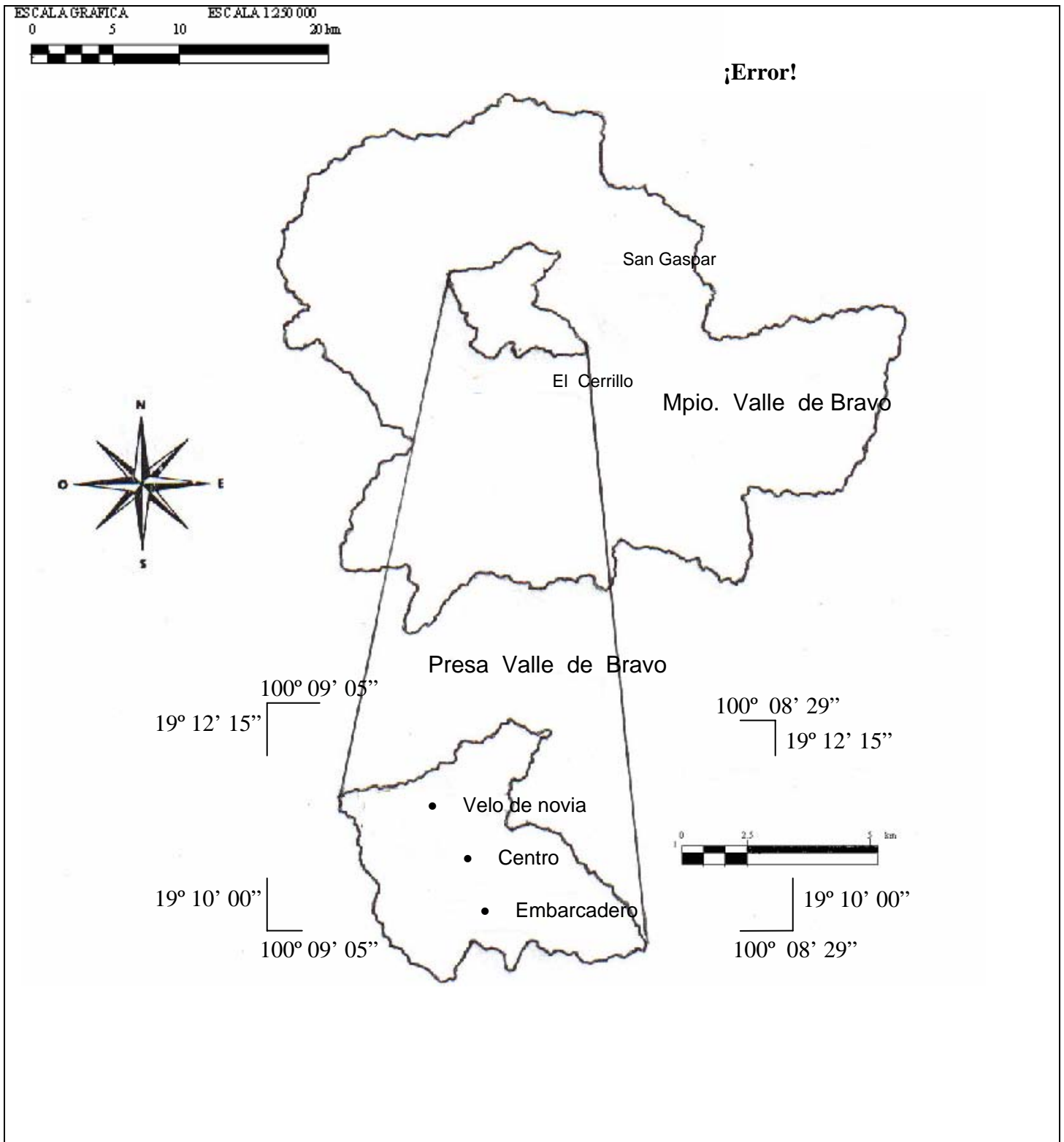
El territorio municipal de Valle de bravo se localiza al poniente del Estado de México, el municipio es parte de la región VII, a la que pertenecen los municipios de Donato Guerra, Ixtapan del Oro, Santo Tomás de los Plátanos, Otzoloapan y Zacazonapan. Sus coordenadas geográficas son : de longitud Oeste 99° 57' 34" y 100° 15' 54", y de latitud Norte 19° 10' 00" y 19° 12' 15" ( INEGI, 2000; Mapa 2 ).

El clima en la zona es (A) (w<sup>2</sup>) (w) (i), semicálido subhúmedo con una precipitación media anual entre 800 y 1200 mm (Olvera, 1990).

Temperatura promedio anual de 17.5° C, la máxima de 32° C y la mínima de 1.3° C ; el promedio de días lluviosos en un año es de 103, el promedio de días despejados en un año es de 202, el promedio de días nublados en un año es de 64 y el promedio de precipitación anual es de 1 024.7 mm.( INEGI, 2000).

El municipio de Valle de Bravo se encuentra dentro de la Cuenca del Río Balsas, constituida por 5458 embalses entre los que destacan la presa del Valle de Bravo y la de Colorines.

El Organismo Público Descentralizado Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Valle de Bravo (ODAPAS). En el municipio existen tres presas que son : Tiloxtoc, Colorines y Valle de Bravo, esta última tiene una extensión de 21 km<sup>2</sup> y formó parte del Sistema Hidroeléctrico "Miguel Alemán", que proveía de energía eléctrica al centro de la República, actualmente pertenece a la Comisión de Aguas del Valle de México y se utiliza para abastecer de agua potable a la zona metropolitana de la ciudad de México. Esta presa es alimentada por los ríos : Malacatepec, Valle de Bravo, Tiloxtoc, Temascaltepec e Ixtapan del Oro y por los de Tuxpan y Zitácuaro (INEGI, 2000).



Mapa 2.- UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE LA PRESA VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MEXICO (SCT, 1994).



## VILLA VICTORIA

La presa se encuentran ubicadas entre las coordenadas geográficas de: longitud Oeste 99° 59' 00" y 100° 03' 20", de latitud Norte 19° 26' 22" y 19° 27' 00" (INEGI, 1999). Perteneció al Municipio de Villa Victoria Edo. de México y comprende una extensión de 442.60 Km<sup>2</sup>. A una altitud de 2608 msnm, con una capacidad total de 254 millones de m<sup>3</sup>. Construida por la Comisión Federal de Electricidad en el año de 1944, se utiliza para la generación de electricidad (Mapa 3). Su principal corriente es el río San José Malacatepec; forma parte del sistema Cutzamala, Miguel Alemán e Ixtapatongo; que abastece de agua a varias ciudades, entre ellas el Distrito Federal; se interconecta con otras 10 presas por medio de corrientes naturales y acueductos. Perteneciendo a la región Hidrológica número 18, del río Bajo y Medio Balsas, con una superficie de 1750 ha (INEGI, 1999).

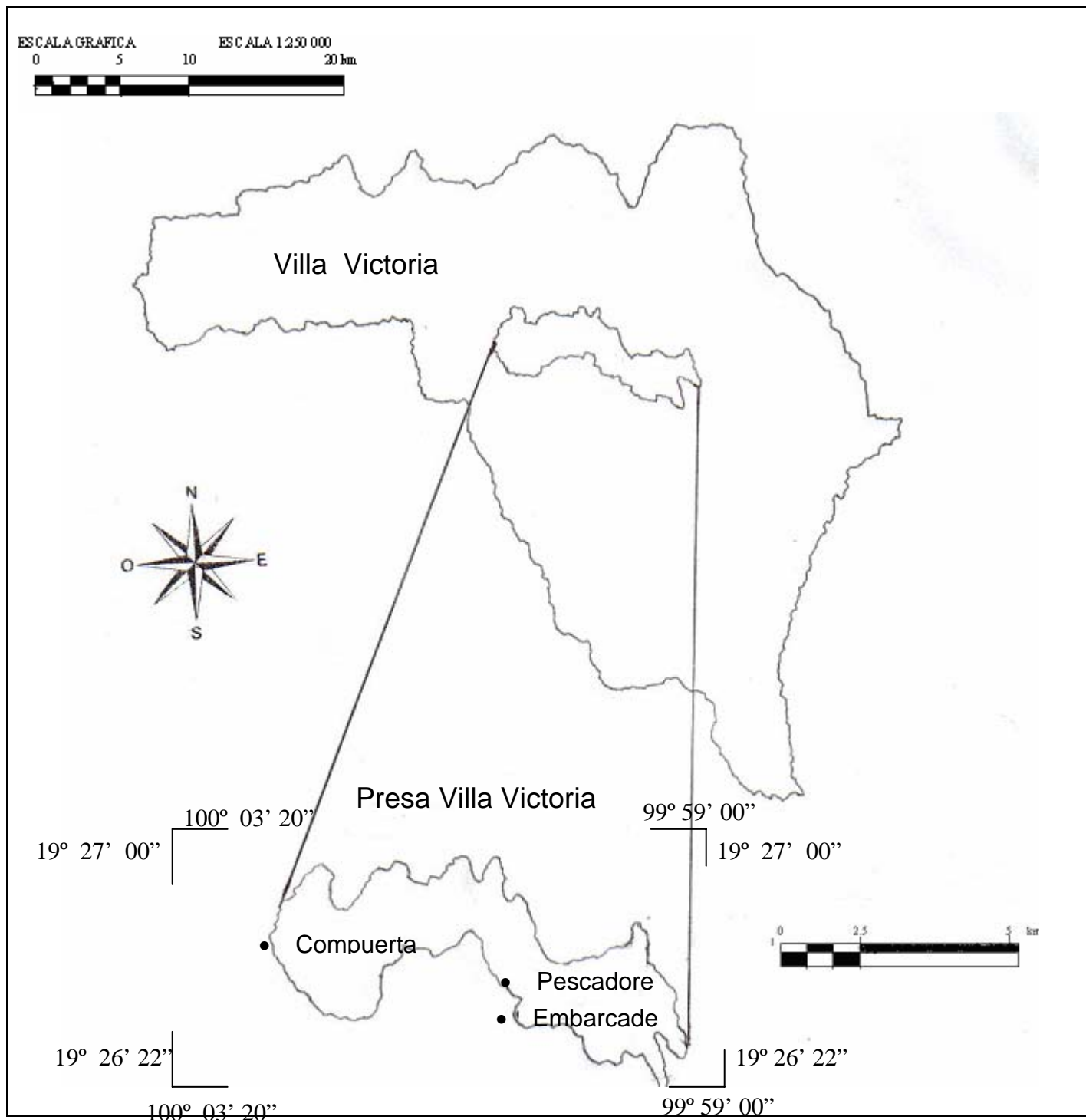
La presa Villa Victoria está ubicada al norte de la cabecera municipal. Dicha presa alimenta al sistema de agua potable Cutzamala, contribuyendo así al suministro del vital líquido al Distrito Federal.

La zona de trabajo se encuentra localizada en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico y en la subprovincia mil cumbres y pertenece a la región hidrológica denominada Lerma-Chapala-Santiago, que es un sistema importante del país, los sistemas de topofomas que presenta son los valles.

El clima es de tipo C (W<sub>2</sub>) (W), templado subhúmedo con lluvias en el verano y temperatura media anual de 25° C, con temperatura máxima 28° C y mínima de 7° C. La precipitación anual es de 887.5 mm. La vegetación es en general de pastizal inducido y las herbáceas más representativas de la zona litoral de la presa son Papaveraceae, Solanaceae, Onagraceae y Compositae.

La presa presenta un suelo de rocas sedimentarias, compuesta por arenisca y aluviales de tipo vertisol crómico fino y ferozem medio y fino. El embalse inunda una superficie promedio de 1800 hectáreas, tiene un perímetro de 48.8 kilómetros y una longitud de 3701 metros.

La cortina de la presa tiene una altura total de 19.0 metros y su longitud es de 307.10 metros (INEGI, 1999).



Mapa 3.- UBICACIÓN GEOGRAFICA Y LOCALIZACION DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE LA PRESA VILLA VICTORIA, ESTADO DE MEXICO (SCT, 1994).

## SISTEMAS LÓTICOS DEL PARQUE NACIONAL

### SISTEMAS LÓTICOS DEL PARQUE NACIONAL IZTA - POPO

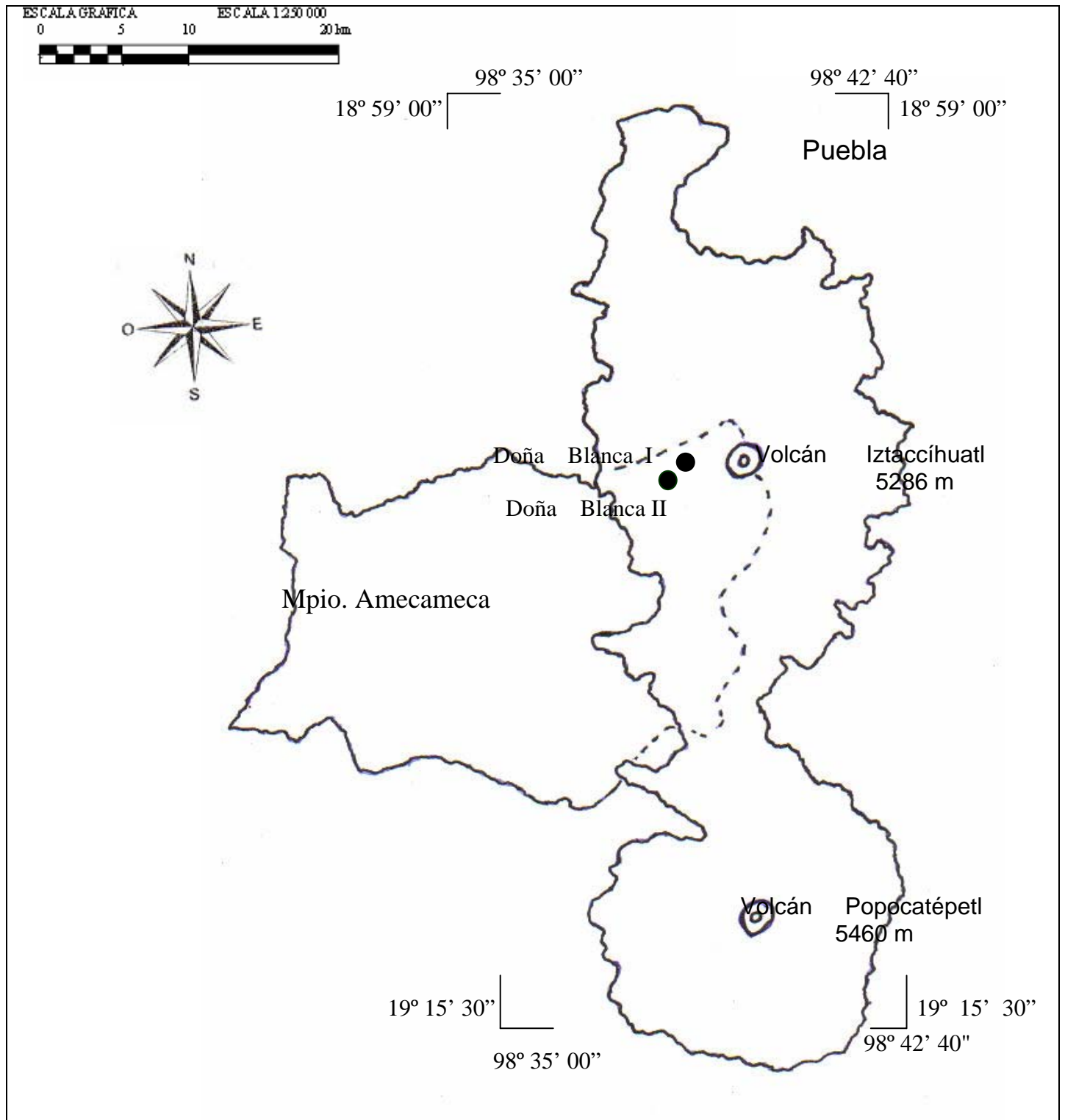
El municipio de Amecameca está situado en las faldas de la Sierra Nevada, dentro de la provincia del Eje volcánico y la cuenca del río Moctezuma – Pánuco. Se localiza geográficamente entre los meridianos de coordenadas 98° 35' 00" y 98° 42' 40" de longitud oeste y entre los paralelos de 18° 59' 00" y 19° 15' 30" de latitud norte (Vargas, 1984; Mapa 4).

La sierra Nevada culmina en los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl, que tienen una altitud de 5 432 y 5 283 metros, respectivamente y son la segunda y tercera montañas más altas de México.

Presenta dos tipos de clima: ETH Muy frío, lluvias en verano, temperatura media anual menor de -2°C, la del mes más caliente menor de 0°C. C (w'2) (w) Semifrío subhúmedo, temperatura media anual de 5 a 12°C, mes más frío de 3 a 18°C. (Vargas, 1984).

Los ríos, arroyos y manantiales de este municipio son alimentados por los escurrimientos de la Sierra Nevada. La red hidrológica cubre toda la zona debido al deshielo permanente de los volcanes. En la época de lluvias aumentan considerablemente los escurrimientos y se forman innumerables arroyos y riachuelos; así mismo, el caudal de los ríos es mayor. Los cauces principales son, en la zona norte, el arroyo Chopanac, el cual se une más adelante al río de Tlalmanalco; en la zona centro-norte corren los arroyos Almoloya y Coronilla, que a su vez dan origen al río de Amecameca, proveedor de agua potable a la Cabecera Municipal; en la zona sur se encuentran los arroyos de Amilpulco, de la Ciénega y de Alcalican, tributarios del río Tomacoco (INEGI, 1999).

La clasificación del clima, elaborada para esta zona por el Instituto de Geografía de la UNAM, indica que es el clima de tipo C (W2) (W), la temperatura media anual es de 14.1°C; el mes más frío es enero con 2.4°C promedio, pero la máxima temperatura puede llegar hasta 34°C en mayo o a 32°C en octubre y diciembre. Esto quiere decir que es el clima más húmedo de los templados subhúmedos, con lluvias en verano (INEGI, 1999).



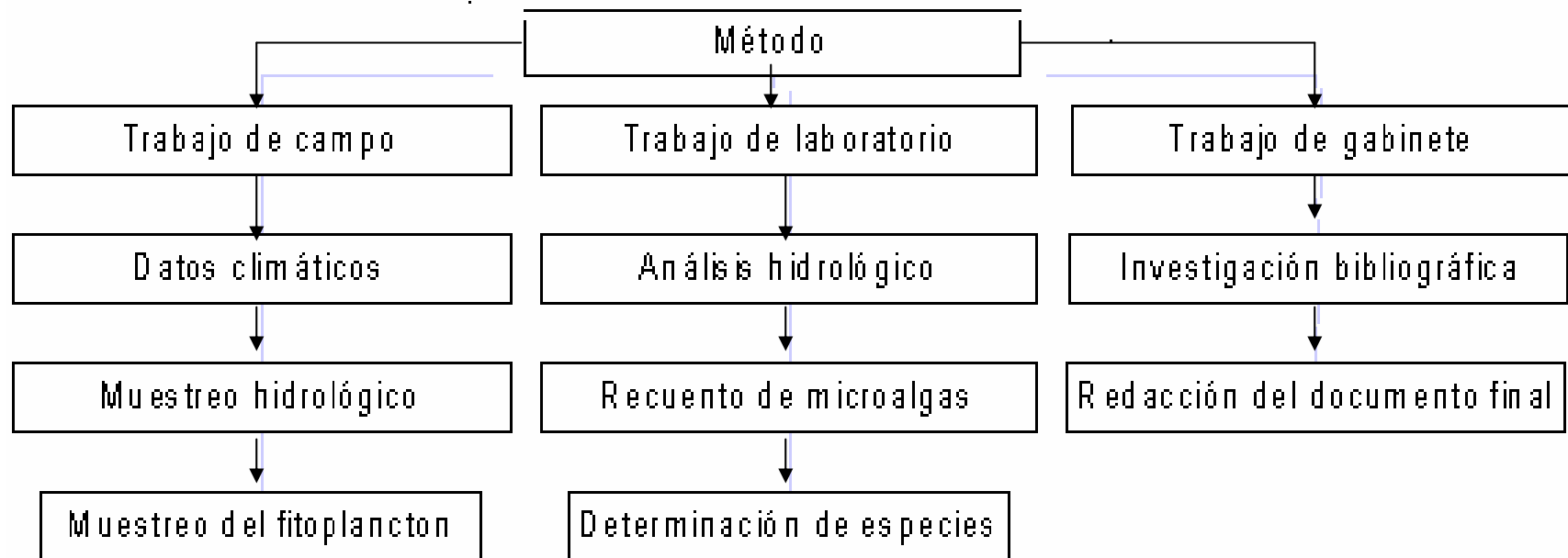
Mapa 4.- UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DEL PARQUE NACIONAL IZTA-POPO (SCT, 1994).

## OBJETIVOS

- Evaluar las condiciones físicas y químicas de forma individual de las presas Valle de Bravo, Villa Victoria y el arroyo Ameca en el Parque Nacional Iztapalapa.
- Determinar las especies de microalgas presentes en dichos sistemas del Estado de México.
- Hacer una evaluación de la composición específica de microalgas relacionada con la calidad del agua.
- Determinar con base en la concentración de nutrientes y la composición algal y el grado de eutrofización que presentan los sistemas estudiados.

## MÉTODO

El trabajo realizado se dividió en 3 rubros principales:



## TRABAJO DE CAMPO

El estudio incluye colectas de muestras de agua para análisis físicos, químicos y biológicos. Las muestras se tomaron en la presa Valle de Bravo, en la presa Villa Victoria y el arroyo Ameca del Parque Nacional Izta-Popo.

I.- En la presa Valle de Bravo (Mapa. 2) (viernes 12 de Marzo, 1999).

- 1.- Estación Embarcadero, junto al poblado de Valle de Bravo y cuya hora de muestreo fué a las 11:00 hrs.
- 2.- Estación en la parte central de la presa, tomada la muestra a las 12:00 hrs.
- 3.- Estación Velo de novia, que está en la parte oriente de la presa, tomada la muestra a las 13:00 hrs.

II.- En la presa Villa Victoria (Mapa. 3) (viernes 26 de Marzo, 1999).

- 1.- Estación Compuerta, se encuentra al este de la presa, cerca de la cortina que alimenta al sistema de agua potable, tomada la muestra a las 10:00 hrs.
- 2.- Estación Embarcadero, se encuentra situada en la parte sur de la presa y a faldas de poblado de Villa Victoria, la muestra se tomó a la 11:30 hrs.
- 3.- Estación Pescadores, se encuentra situada al noroeste del embarcadero y del poblado de Villa Victoria, tomada la muestra a las 13:00 hrs.

III.- En los arroyos de deshielos de Izta – Popo (Mapa. 4) (viernes 14 de Abril y viernes 19 de Mayo, 2000).

- 1.- Estación: Doña Blanca I, origen del Río Ameca a una altitud de 3950 msnm tomada la muestra a las 14:00 hrs.
- 2.- Estación Doña Blanca II, arroyo tributario del Río Ameca a una altitud de 3 400 m, la muestra se tomo a las 16:00 hrs.
- 3.- Estación Doña Blanca II, a 50 m del punto antes mencionado a 3350 msnm.

Nota: Las muestras que se tomaron en Valle de Bravo y Villa Victoria fueron extraídos a nivel superficial (30 cm.).

## DATOS AMBIENTALES

En cada sitio de muestreo se obtuvieron datos generales del ambiente: temperatura con ayuda de un termómetro de mercurio de - 10 a 150 °C marca Brannan con precisión de 1°C.

## DATOS HIDROLÓGICOS.

En los sistemas lóticos las muestras se tomaron directamente en botellas de vidrio de capacidad de 300 ml, en los sistemas lénticos se utilizó una botella Van Dorn horizontal de 3 litros de capacidad. Para el análisis hidrológico se registraron los siguientes parámetros: visibilidad al disco de Secchi, temperatura del agua (con ayuda de un termómetro de mercurio de con precisión de 1°C), pH (con un potenciómetro digital Conductronic con precisión de  $\pm 0.02$ ) y oxígeno (registrado con la ayuda de un oxímetro YSI Model 57 con una precisión de 0.1 mg/l).

## MUESTREO DE FITOPLANCTON

Se realizó la toma de muestras mediante el uso de la botella Van Dorn con capacidad de 3 litros tomada a nivel superficial de 30 cm. La muestra de fitoplancton (100 ml), fué fijada adicionando 5 gotas de acetato de lugol para que además de fijar, también tiñera a los organismos (González, 1989) y se transportaron al laboratorio para su cuantificación en un microscopio invertido a través del método de Utermöhl, determinando así la cantidad de organismos y las especies existentes en la muestra (Schwöerbell 1975).

## TRABAJO DE LABORATORIO

Dureza total (método complejométrico), dureza de calcio (método complejométrico), alcalinidad (método de indicadores), bióxido de carbono (método volumétrico), amonio (método del fenato), nitratos (método del ácidofenoldisulfónico), ortofosfatos: (método del fosfomolibdato) (A.P.H.A., 1980).

## CUANTIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE ORGANISMOS FITOPLANCTONICOS

Se realizó con la ayuda de claves taxonómicas para determinar a los organismos: Ortega (1984); Needman y Needman (1978), Edmonson (1976) y Prescott (1970). Para llenar la cámara, la muestra debe ser homogeneizada, con una pipeta se toma una alícuota (1 ml.) y se procede al vaciado, midiendo el volumen de un ml de muestra y llenando hasta el borde de la cámara de sedimentación con agua destilada, se dejó reposar 4 horas por cada centímetro de altura. Se utilizó el recuento por campos al azar con una lectura de 10 campos a 40 X hasta obtener un resultado representativo (diez campos con al menos 10 organismos cada uno) y se extrapola al número total de campos en la cámara (315) y a un litro de volumen (Rossell *et al*, 1981).

Los datos de recuento se utilizaron para calcular la densidad de los organismos definida ésta como el número de individuos por unidad de volumen a diferencia de la abundancia que expresa el número de individuos en un volumen dado (Brower y Zar, 1977).



## TRABAJO DE GABINETE

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de diversidad aplicando la fórmula de Shannon y Weiner éste índice habla de la probabilidad de que un organismo tomado al azar pertenezca a una especie dada ( Reynolds, 1988; Begon *et al*, 1990) .

a) Índice de diversidad de Shannon-Weiner

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln p_i \quad \text{donde } p_i = n_i / N,$$

Donde:

P = Es la proporción de individuos de una especie.

$n_i$  = Es el número de individuos de una especie.

N = Número total de individuos.

b) Riqueza = ( S ) Es el número total de especies en la comunidad

c) Diversidad Máxima (  $H_{Max}$  ) Es el máximo valor que podría asumir la densidad, si los individuos estuvieran distribuidos de modo totalmente uniforme entre las especies.

$$H_{Max.} = \ln S$$

d) Equitatividad (  $J'$  ) Es la regularidad con que los individuos están distribuidos entre las especies.

$$J' = \frac{H'}{H_{Max.}} \quad \begin{array}{l} H' = \text{Es el índice de diversidad de Shannon- Weiner.} \\ H_{Max.} = \text{Es la diversidad máxima.} \end{array}$$

a) Análisis exploratorio

En ésta última fase se realizó el análisis exploratorio de los datos, el cual proporciona al analista una serie de técnicas para explorar los valores numéricos y centrar la atención en sus características prominentes por medio de novedosos resúmenes numéricos y gráficos (Salgado-Ugarte, 1991). El modelo que se utilizó fue el de diagramas de cajas múltiples, dado que el número de datos es pequeño y no es adecuada la aplicación de métodos estadísticos tradicionales como el análisis de varianza que exige una distribución al azar, una distribución normal y una igualdad de varianzas.

Con este tipo de análisis, se procedió a trabajar los datos de los 3 sistemas para tener referencia visual de sus características (Anexo 1).

## Diagramas de cajas

Muestra un gráfico de cajas en el cual los límites de la caja indican el intervalo en el que se concentra el 50% central de los datos. Sus extremos son, por lo tanto, el 1<sup>er</sup> y 3<sup>er</sup> cuartil de la distribución. La línea central de la caja es la mediana. De este modo, si la variable es simétrica, dicha línea se encontrará en el centro de la caja. Los extremos de los “bigotes” que salen de la caja son los valores que delimitan el 95% central de los datos, aunque en ocasiones coinciden con los valores extremos de la distribución. Se suelen también representar aquellas observaciones que caen fuera de este. Esto resulta especialmente útil para comprobar, gráficamente, posibles errores en los datos. En general, los diagramas de cajas resultan más apropiados para representar variables que presenten una gran desviación de la distribución normal. Como se verá más adelante, resultan además de gran ayuda cuando se disponen de datos en distintos grupos de sujetos (Hartwing, 1979).

## RESULTADOS

### A) PRESA VALLE DE BRAVO

Los resultados netos obtenidos de los valores físico-químicos en la Presa de Valle de Bravo se muestran a continuación (Tabla, 1).

Tabla 1.- Resultados de los parámetros físicos y químicos de Valle de Bravo.

PARÁMETRO	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Promedio	Desviación Standard	Coefficiente de variación
Hora de muestreo	11:15	12:23	13:27			
Visibilidad (cm)	30.5	35	26.5	30.66	4.25	0.13
Temperatura amb. ( °C )	26	24	23.30	24.43	1.40	0.05
Temp. Agua ( °C )	23.3	20	20.2	21.16	1.85	0.08
pH	7.5	7.0	7.2	7.23	0.25	0.03
Oxígeno ( mg/l )	7.7	6.1	6.7	6.83	0.80	0.11
Bióxido de carbono ( mg/l )	2.8	2.3	1.8	2.3	0.5	0.21
Alcalinidad total ( mg/l )	33	26	28	29	3.60	0.12
Dureza total ( mg/l )	34.51	35.80	34.62	34.97	0.71	0.02
Amonio ( mg/l )	2.31	1.65	2.18	2.04	0.34	0.16
Nitrato ( mg/l )	0.104	0.186	0.122	0.133	0.041	0.30
ortofosfatos (mg/l)	0.9	1.5	1.24	1.2	0.3	0.25

Los resultados de la composición y densidad de algas fitoplanctónicas para Valle de Bravo se muestran en las tablas 2, 3 y Fig. 1, algunas microfotografías de géneros representativos en este embalse se muestran en las Figs. 2 y 3.

En el anexo 1 se muestran diagramas de cajas múltiples para los parámetros físicos y químicos comparando las tres zonas de estudios.

La descripción de las especies registradas se muestra en la anexo 2.

Tabla 2.- Lista de especies registradas en Valle de Bravo.

Cyanophyta	
<i>Anabaena sp.</i>	Bory 1822
<i>Anabaena solitaria</i>	(Brunnthaler) Komárek in Komárek et Ettl, 1853
<i>Aphanocapsa elachista</i>	West & West 1895
Chlorophyta	
<i>Closterium parvulum</i>	Nitzsch, 1817
<i>Pediastrum duplex</i>	Meyen, 1829
<i>Pediastrum simplex</i>	Lemmermann, 1897
<i>Scenedesmus quedricauda</i>	Brébisson & Godey 1835
<i>Scenedesmus protuberans</i>	Fritsch et Rich, 1929
<i>Staurastrum gracile</i>	Ralfs & Ralfs, 1848
<i>Staurastrum paradoxum</i>	Meyen 1872
<i>Tetraedrom regulare</i>	Kuetzing 1845
Chrysophyta	
<i>Aulacoseira italica</i>	(Ehrenberg) Simonsen, 1979
<i>Asterionella formosa</i>	Hassall, 1850
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	Kützing, 1844
<i>Cymbella lanceolata</i>	(Ehrenberg) Kirchner, 1878
<i>Fragilaria brevistriata</i>	Lyngbye, 1819
<i>Fragilaria crotonensis</i>	Kitton, 1869
<i>Fragilaria virescens</i>	Ralfs, 1843
<i>Gomphonema crotonensis</i>	Kitton, 1869
<i>Gomphonema parvulum</i>	Kützing, 1849
<i>Melosira varians</i>	Agardh 1869
<i>Navicula amphioxus</i>	Bory, 1822
<i>Navicula sp.</i>	Ehrenberg 1880
<i>Navicula platalea</i>	Ehrenberg 1878
<i>Navicula radiosa</i>	Kützing 1844
<i>Nitzschia amphibia</i>	Grunow, 1862

Tabla 3.- Tabla de densidad de microalgas en Valle de Bravo (organismos por mililitro)

ESPECIE	ESTACION 1	ESTACION 2	ESTACION 3	PROMEDIO
Cyanophyta	org /ml	org / ml	org / ml	org / ml
<i>Anabaena sp</i>	1576	2432	1986	1998
<i>Anabaena solitaria</i>	6878	5738	4861	5826
<i>Aphanocapsa elachista</i>	1308	1752	1297	1452
Chlorophyta				
<i>Closterium parvulum</i>	2616	4872	3752	3747
<i>Pediastrum duplex</i>	6730	7341	7590	7220
<i>Pediastrum simplex</i>	3665	2641	3217	3174
<i>Scenedesmus quedricauda</i>	1962	2647	2691	2433
<i>Scenedesmus protuberans</i>	10466	8642	9735	9614
<i>Staurastrum gracile</i>	3270	4721	5498	4496
<i>Staurastrum paradoxum</i>	9812	8638	8495	8982
<i>Tetraedrom regulare</i>	1308	2354	1878	1847
Chrysophyta				
<i>Aulacoseira italica</i>	3925	4872	5329	4709
<i>Asterionella formosa</i>	698	743	861	767
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	6541	7890	7982	7472
<i>Cymbella lanceolata</i>	2786	2649	2219	2552
<i>Fragilaria brevistriata</i>	687	890	982	853
<i>Fragilaria crotonensis</i>	1567	5764	4721	4017
<i>Fragilaria virescens</i>	2724	3861	4381	3655
<i>Gomphonema crotonensis</i>	1793	1562	765	1373
<i>Gomphonema parvulum</i>	1287	1863	1892	1680
<i>Melosira varians</i>	3925	2931	3542	3466
<i>Navicula amphioxus</i>	2616	3871	3198	3228
<i>Navicula sp.</i>	4391	5329	4924	4881
<i>Navicula platalea</i>	2764	2436	2654	2618
<i>Navicula radiosa</i>	1643	1981	1520	1715
<i>Nitzschia amphibia</i>	689	942	475	702
Total	87627	99362	96445	94478

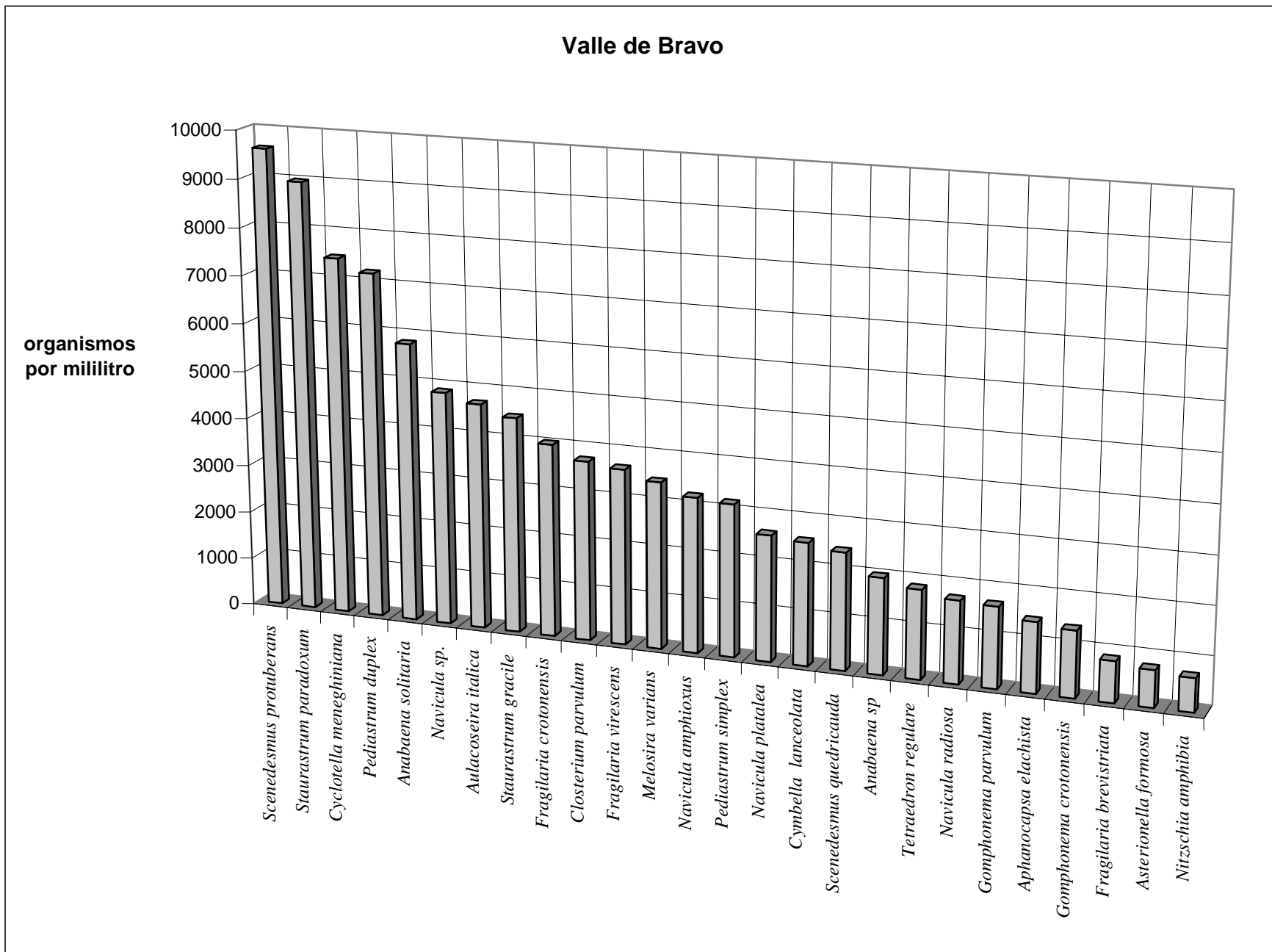


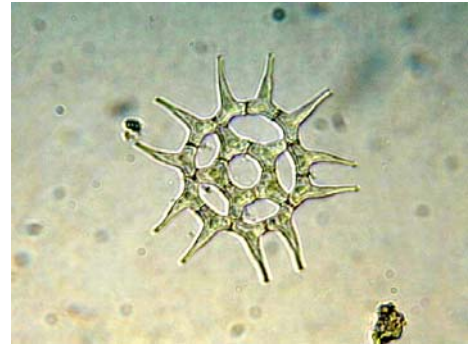
Figura 1.- Densidad total de especies del fitoplancton en Valle de Bravo.

La Tabla 4 presenta los resultados de Riqueza, Equitatividad, Diversidad máxima e Índice de Diversidad de Shanon – Weiner en la presa Valle de Bravo.

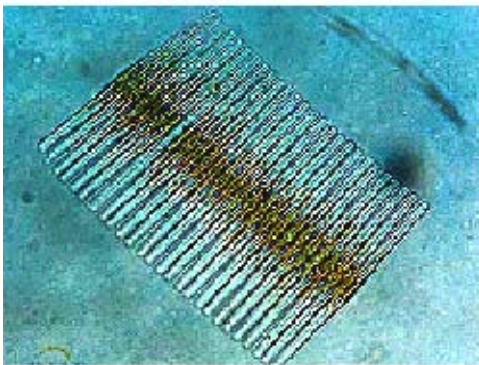
	Valle de Bravo
Riqueza “ S ”	26 Especies
Equitatividad “ $E = H/H_{max}$ ”	0.353
Diversidad máxima “ $\ln S$ ”	3.25
Índice Shanon-Weiner “ H ”	1.15



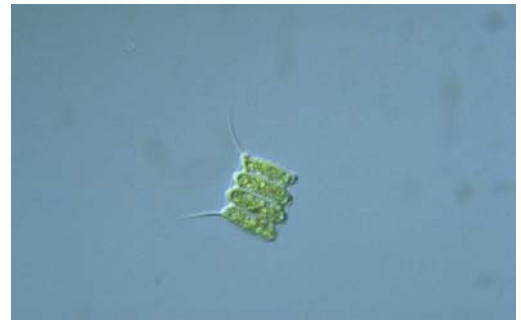
*Melosira varians*



*Pediastrum simplex*



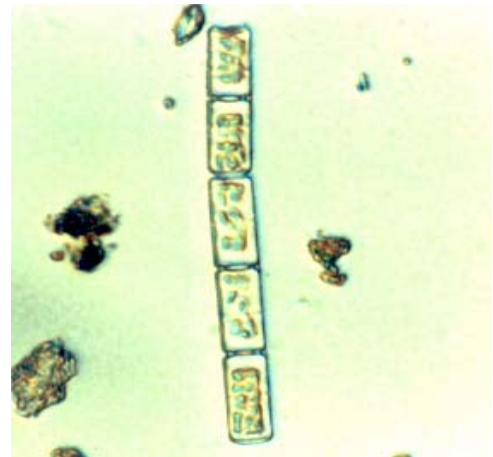
*Fragilaria brevistriata*



*Scenedesmus quadricauda*



*Closterium parvulum*



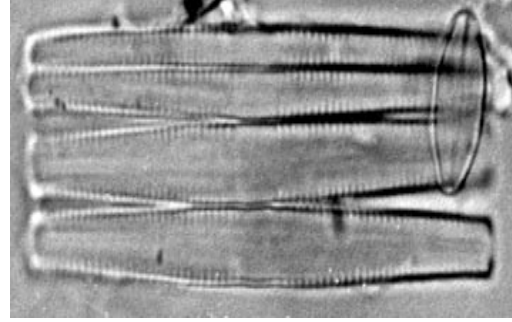
*Aulacoseira italica*

Fig.2.- Algunas especies registradas en Valle de Bravo

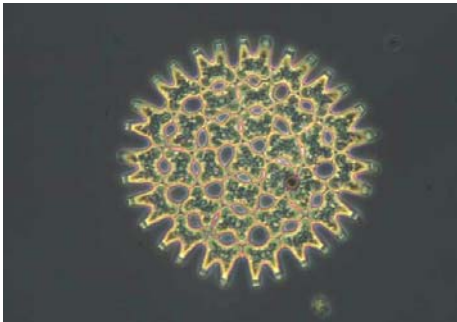




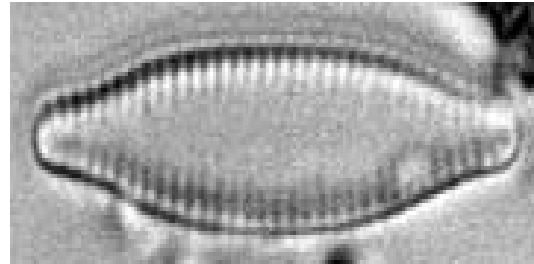
*Staurastrum paradoxum*



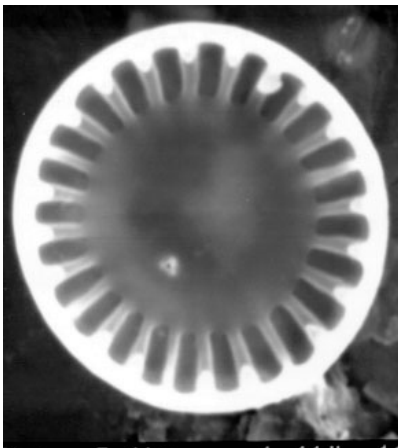
*Fragilaria crotonensis*



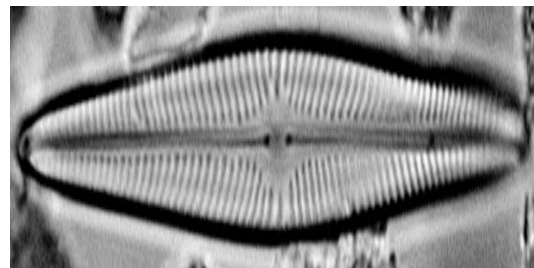
*Pediastrum duplex*



*Fragilaria virescens*



*Cyclotella meneghiniana*



*Navicula radiosa*

Fig.3.- Algunas especies registradas en Valle de Bravo

## B) PRESA VILLA VICTORIA

A continuación se presenta un cuadro con los principales parámetros físicos y químicos registrados en la presa Villa Victoria.

Tabla 5.- Resultados de los parámetros físicos y químicos de Villa Victoria.

PARÁMETRO	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Promedio	Desviación Standard	Coefficiente de variación
Hora de muestreo	10:00	11:30	13:00			
Visibilidad (cm)	33.33	39.28	36.15	36.25	2.97	0.08
Temperatura amb. ( °C )	18.82	21.5	20	20.1	1.34	0.06
Temp. Agua ( °C )	18	20	17	18.33	1.52	0.08
pH	7.5	7.9	7.7	7.7	0.2	0.02
Oxígeno ( mg/l )	9.31	6.4	7.4	7.7	1.47	0.19
Bióxido de carbono ( mg/l )	2	2.4	1.8	2.06	0.30	0.14
Alcalinidad total ( mg/l )	26	32	28	28.66	3.05	0.10
Dureza total (mg/l)	37.24	34.26	33.45	34.98	1.99	0.05
Amonio ( mg/l )	1.80	1.79	1.87	1.82	0.04	0.02
Nitrato ( mg/l )	0.116	0.127	0.317	0.18	0.11	0.61
Ortofosfatos (mg/l)	0.45	0.51	0.43	0.46	0.041	0.08

Los resultados de la composición y densidad de algas fitoplanctónicas para Villa Victoria se muestran en las tablas 6, 7 Fig. 4 y algunas microfotografías de géneros representativos en éste embalse se muestra en las Figuras 5 y 6.

En el anexo 1 se muestran diagramas de cajas múltiples para los parámetros físicos y químicos comparando las tres zonas de estudios.

La descripción de las especies registradas se muestra en el anexo 2.

Tabla 6.- Lista de especies registradas en Villa Victoria.

Cyanophyta	
<i>Anabaena sp</i>	Bory 1822
<i>Anabaena solitaria</i>	(Brunnthaler) Komárek in Komárek et Ettl, 1853
<i>Aphanocapsa elachista</i>	West & West 1895
Chlorophyta	
<i>Closterium parvulum</i>	Nitzsch, 1817
<i>Melosira varians</i>	Agardh 1869
<i>Pediastrum duplex</i>	Meyen, 1829
<i>Pediastrum simplex</i>	(Meyen) Lemmermann, 1897
<i>Scenedesmus quedricauda</i>	Brébisson & Godey 1835
<i>Scenedesmus protuberans</i>	Fritsch er Rich, 1929
<i>Staurastrum gracile</i>	Ralfs & Ralfs, 1847
<i>Staurastrum paradoxum</i>	Meyen 1872
<i>Tetraedrom regulare</i>	Kuetzing 1845
Chrysophyta	
<i>Aulacoseira italica</i>	(Ehrenberg) Simonsen, 1979
<i>Asterionella formosa</i>	Hassall, 1850
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	Kützing, 1844
<i>Cymbella brevistriata</i>	Lyngbye, 1819
<i>Cymbella lanceolata</i>	(Ehrenberg) Kirchner, 1878
<i>Fragilaria crotonensis</i>	Kitton, 1869
<i>Fragilaria virescens</i>	Ralfs, 1843
<i>Gomphonema crotonensis</i>	Kitton, 1869
<i>Navicula fulva</i>	Ehrenberg 1880
<i>Navicula radiosa</i>	Kützing 1844
<i>Navicula platalea</i>	Ehrenberg 1878
<i>Nitzschia amphibia</i>	Grunow, 1862

Tabla. 7.- Tabla de densidad por especie en Villa Victoria (organismos por mililitro).

ESPECIE	ESTACION 1	ESTACION 2	ESTACION 3	PROMEDIO
Cyanophyta	org / ml	org /ml	org / ml	org / ml
<i>Anabaena sp</i>	2765	2541	1736	2347
<i>Anabaena solitaria</i>	1647	1731	1580	1652
<i>Aphanocapsa elachista</i>	681	573	731	661
Chlorophyta				
<i>Closterium parvulum</i>	957	1590	2169	1572
<i>Melosira varians</i>	1792	1924	2581	2099
<i>Pediastrum duplex</i>	2574	2417	2782	2591
<i>Pediastrum simplex</i>	4682	3761	4783	4408
<i>Scenedesmus quedricauda</i>	2169	3721	2795	2895
<i>Scenedesmus protuberans</i>	2769	3741	1598	2702
<i>Staurastrum gracile</i>	1659	1793	2169	1873
<i>Staurastrum paradoxum</i>	3791	2658	2168	2827
<i>Tetraedrom regulare</i>	1592	1487	1852	1643
Chrysophyta				
<i>Aulacoseira italica</i>	3897	2864	3815	3525
<i>Asterionella formosa</i>	1698	2691	2618	2335
<i>Ciclotella meneghiniana</i>	2761	3751	2867	3126
<i>Cymbella brevistriata</i>	2581	1983	2941	2501
<i>Cymbella lanceolata</i>	2658	2964	1897	2506
<i>Fragilaria crotonensis</i>	3721	2482	4218	3473
<i>Fragilaria virescens</i>	1732	965	1975	1557
<i>Gomphonema crotonensis</i>	1297	1472	1957	1575
<i>Navicula fulva</i>	2659	2183	3749	2863
<i>Navicula radiosa</i>	1765	1947	1630	1780
<i>Navicula platalea</i>	2769	3568	2591	2976
<i>Nitzschia amphibia</i>	3761	4321	2176	3419
Total	58377	59128	59378	58961

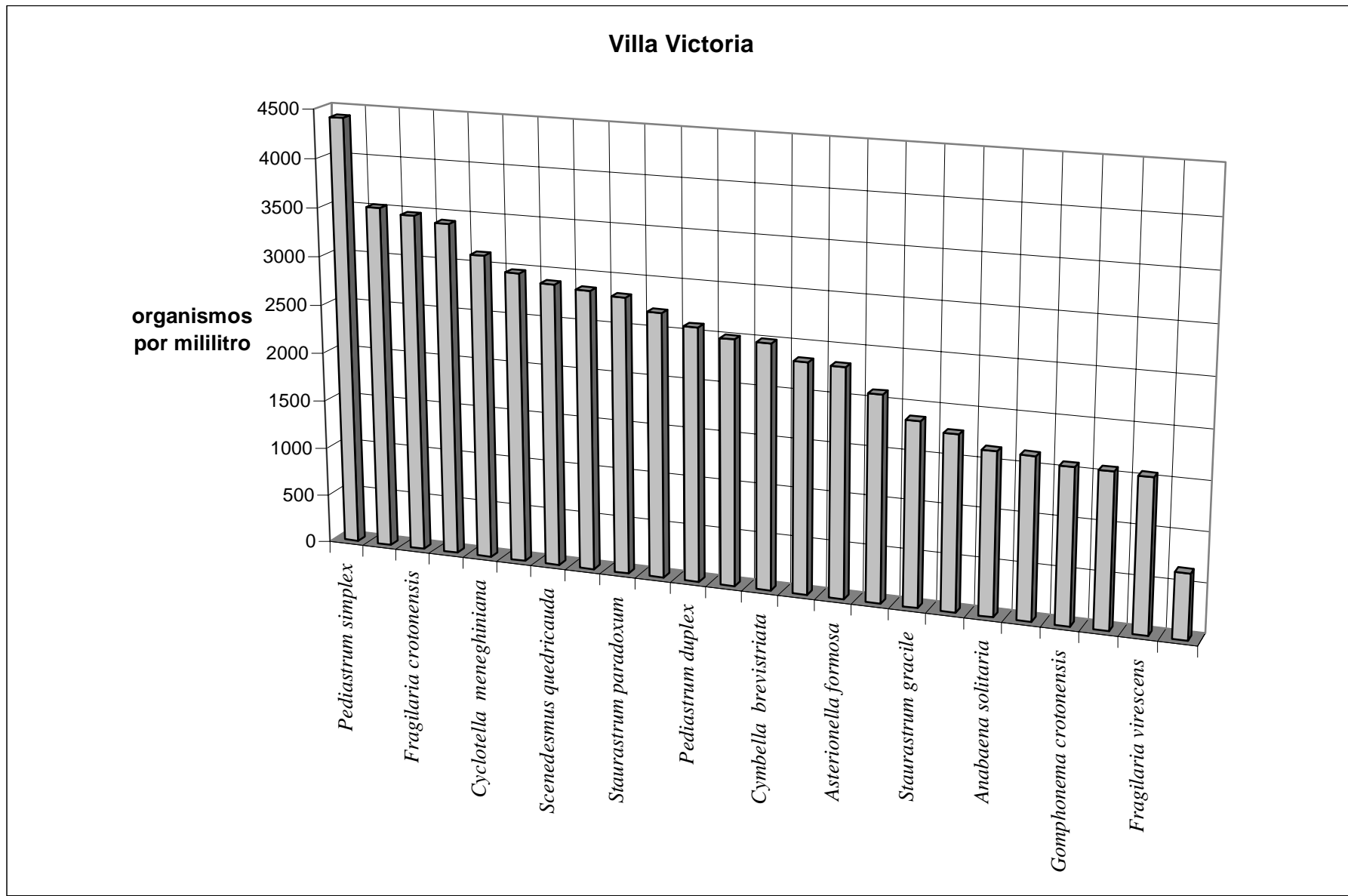
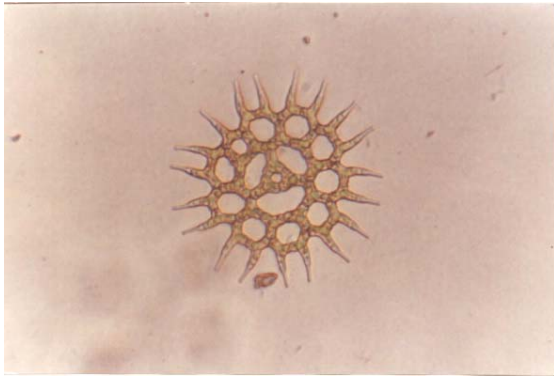


Fig. 4 .- Densidad total de especies de 33 microalgas en Villa Victoria

La Tabla 8 presenta los resultados de riqueza, equitatividad, diversidad máxima e índice de diversidad de Shanon – Weiner en la presa Villa Victoria.

	Villa Victoria
Riqueza “ S ”	24 Especies
Equitatividad “ $E = H/H_{max}$ ”	0.394
Diversidad máxima “ $\ln S$ ”	3.17
Índice Shanon-Weiner “ H ”	1.25



*Pediastrum duplex*



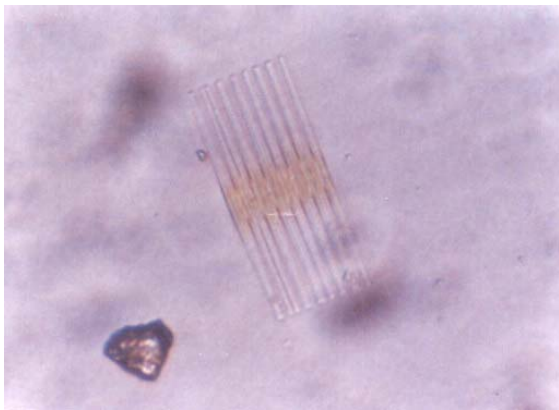
*Melosira varians*



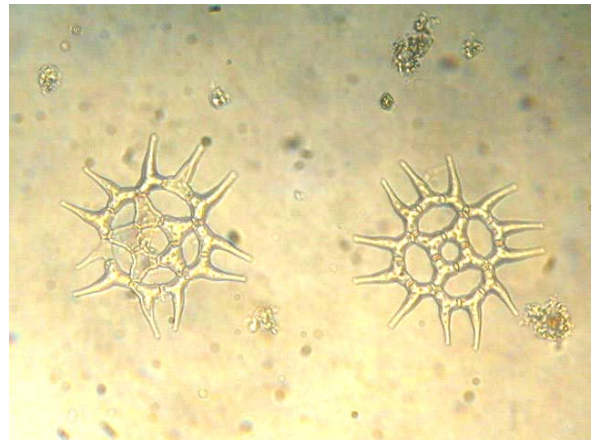
*Cyclotella meneghiniana*



*Closterium parvulum*



*Fragilaria crotonensis*

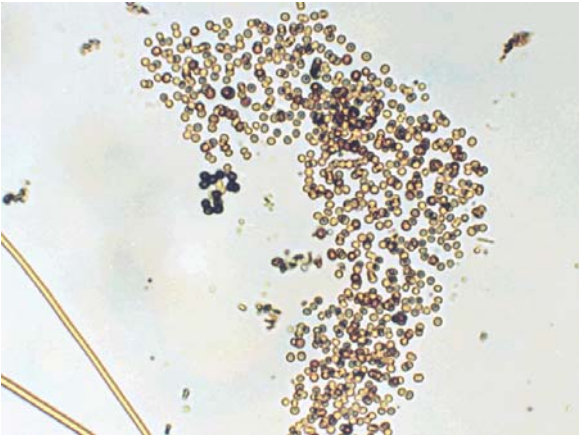


*Pediastrum simplex*

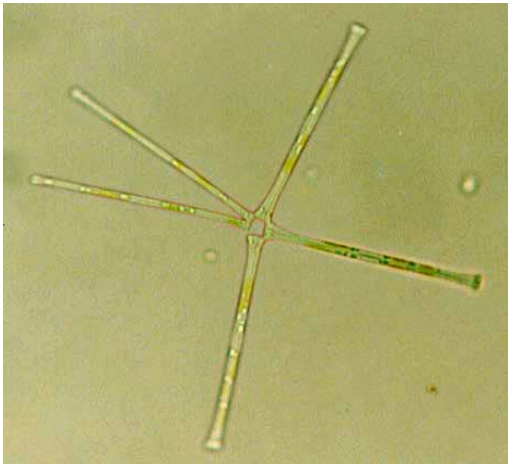
Fig.5.- Algunas especies registradas en Villa Victoria



*Cymbella brevistriata*



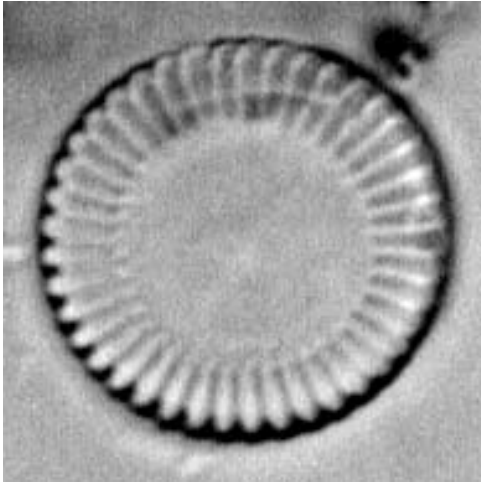
*Aphanocapsa elachista*



*Asterionella formosa*



*Cymbella lanceolata*



*Cyclotella meneghiniana*



*Scenedesmus protuberans*

Fig.6.- Algunas especies registradas en Villa Victoria



### C) ARROYOS DEL PARQUE NACIONAL IZTA-POPO

A continuación se presenta un cuadro con los principales parámetros físicos y químicos registrados en arroyos del Parque Nacional Izta-popo.

Tabla 9.- Promedios de los parámetros físicos y químicos del Parque Nacional Izta- Popo.

PARAMETRO	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Hora de muestreo	14:00	16:00	15:30			
Temperatura amb. ( °C )	15	16	15.4	15.46	0.50	0.03
Temp. Agua ( °C )	7	9	8	8	1	0.12
pH	6.2	6.5	7.7	6.8	0.79	0.11
Oxígeno ( mg/l )	4.2	7.5	6.0	5.9	1.65	0.28
Bióxido de carbono ( mg/l )	2	1.99	1.99	1.99	0.00577	0.02
Alcalinidad total ( mg/l )	28	24	26	26	2	0.07
Dureza total ( mg/l )	24	16	48	29.33	16.65	0.56
Amonio ( mg/l )	0.27	0.15	0.12	0.18	0.079	0.43
Nitrato ( mg/l )	0.028	0.020	0.016	0.021	0.00611	0.29
ortofosfatos ( mg/l )	0.3	0.4	0.2	0.3	0.1	0.33

Los resultados de la composición y densidad de algas fitoplanctónicas para los arroyos del Parque Izta-Popo se muestran en las tablas 10, 11 y 12 y figura 7, algunas microfotografías de géneros representativos en este embalse se muestran en la Fig. 8 y 9. En el anexo 1 se muestran diagramas de cajas múltiples para los parámetros físicos y químicos comparando las tres zonas de estudios.

Tabla 10.- Lista de especies registradas en los arroyos de Izta-Popo.

Chlorophyta	
<i>Pediastrum duplex</i>	Meyen, 1829
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	(Turp.) Kützing, 1933
Chrysophyta	
<i>Aulacoseira italica</i>	(Ehrenberg) Simonsen, 1979
<i>Amphora birugula</i>	Hohn 1964
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i>	(Grunow) Ross, 1966
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	Kützing, 1844
<i>Cymbella mexicana</i>	(Ehr.) Cl.
<i>Cymbella turgida</i>	Greg. 1971
<i>Diploneis puella</i>	(Schum.) 1867
<i>Fragilaria capucina</i>	Desm.
<i>Navicula radiosa</i>	Kützing 1844
<i>Navicula platalea</i>	Ehrenberg 1878
<i>Pinnularia breviscostrata</i>	Cl.

Tabla 11.- Tabla de densidad de microalgas en Izta-Popo (organismos por mililitro).

ESPECIE	ESTACION 1	ESTACION 2	ESTACION 3	PROMEDIO
Chlorophyta	org / ml	org / ml	org / ml	org / ml
<i>Pediastrum duplex</i>	1943	2745	2376	2354
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	3211	1432	2167	2271
Chrysophyta				
<i>Aulacoseira italica</i>	1682	1376	2147	1735
<i>Amphora birugula</i>	2681	2149	1681	2170
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i>	2157	2684	2517	2453
<i>Ciclotella meneghiniana</i>	1932	1738	1274	1648
<i>Cymbella mexicana</i>	1562	1231	1735	1509
<i>Cymbella turgida</i>	1890	1732	1238	1620
<i>Diploneis puella</i>	2153	1892	1350	1798
<i>Fragilaria capucina</i>	2154	1785	1932	1957
<i>Navicula radiosa</i>	2362	2158	2173	2231
<i>Navicula platalea</i>	1783	1767	1831	1793
<i>Pinnularia breviscostrata</i>	2158	2416	2921	2498
Total	27668	25105	25342	26038

### Parque Nacional Izta-Popo

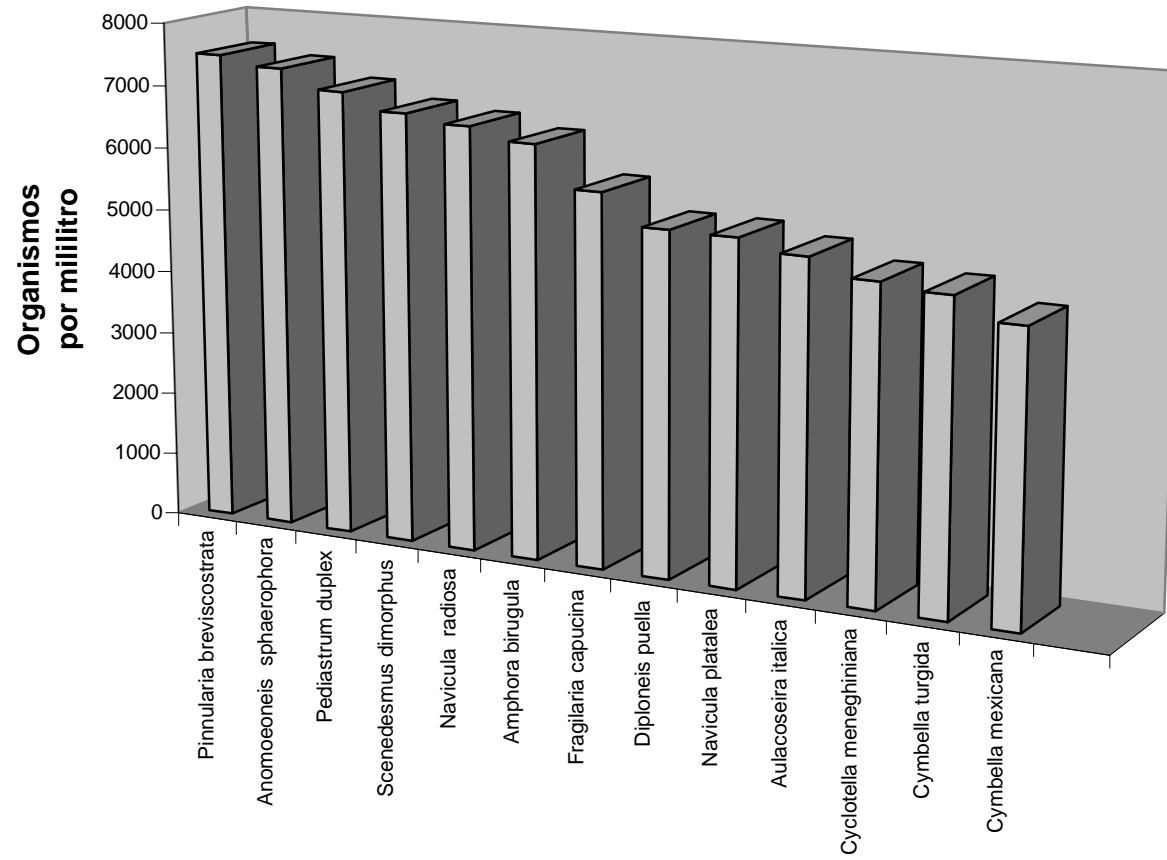
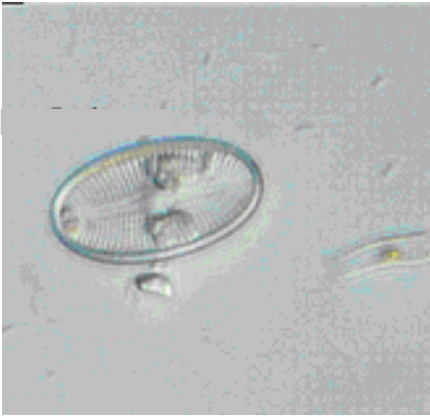


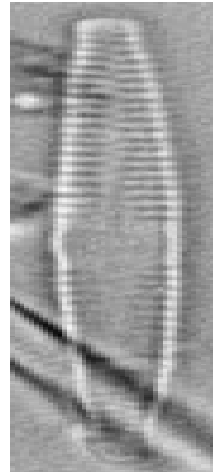
Fig. 7.- Densidad total de especies de microalgas en el Parque nacional Izta-Popo.

La Tabla 12 presenta los resultados de Riqueza, Equitatividad, diversidad máxima e índice de diversidad de Shanon – Weiner. en arroyos del Parque Nacional Izta-Popo.

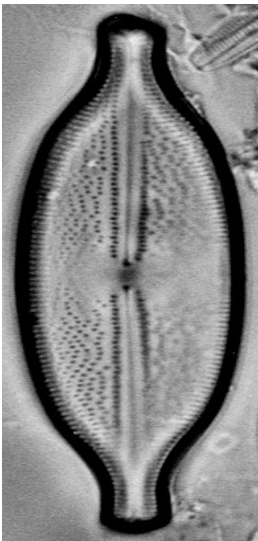
	Parque Nacional Izta-Popo
Riqueza “ S ”	13 Especies
Equitatividad “ $E = H/H_{\max}$ ”	0.406
Diversidad máxima “ $\ln S$ ”	2.56
Índice Shanon-Weiner “ H ”	1.04



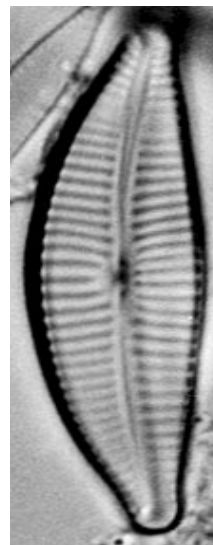
*Diploneis puella*



*Fragilaria capucina*



*Anomoeoneis sphaerophora*

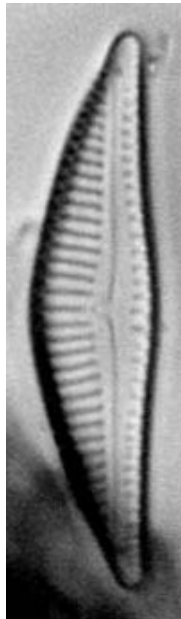


*Cymbella turgida*

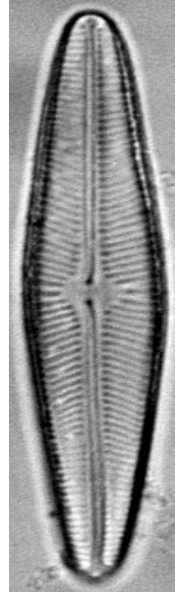
Fig.8.- Algunas especies registradas en el Parque Nacional Izta-Popo



*Aulacoseira italica*



*Cymbella mexicana*



*Navicula radios*

Fig. 9.- Algunas especies registradas en el Parque Nacional Izta-Popo



## CONCLUSIONES

- En la presa Valle de Bravo se determinó la mayor cantidad de organismos algales (94 478 org/ml). Se encontraron 26 especies de microalgas que forman el fitoplancton de la presa. De ellas, 8 pertenecen a la división Chlorophyta, siendo las más abundantes: *Melosira varians*, *Pediastrum simplex*, *Scenedesmus quadricauda* y *Staurastrum gracile*; 15 especies fueron de la división Chrysophyta, por ejemplo: *Fragilaria crotonensis*, *Navicula fulva*, *Navicula platalea* y *Nitzschia amphibia* y 3 especies de la división Cyanophyta, de entre las más abundantes fueron: *Anabaena sp*, *Anabaena solitaria* y *Aphanocapsa elachista*.
- En esta presa se detectaron altos niveles en la concentración de ortofosfatos y algunas especies consideradas como indicadoras de un proceso de eutrofización, por ejemplo: *Aulacoseira italica*, *Fragilaria crotonensis*, *Pediastrum simplex*, *Anabaena sp* y *Navicula radiosa*. Por estas razones el sistema se clasifica como eutrófico.
- Para la presa Villa Victoria se reporta una densidad promedio de 58 961 org/ml. Se registraron 24 especies, 9 pertenecientes a la división Chlorophyta siendo las más abundantes: *Staurastrum paradoxum*, *Scenedesmus quadricauda* y *Pediastrum duplex*. 12 especies de la división Chrysophyta con mayor abundancia de *Cyclotella meneghiniana*, *Navicula fulva*, *Aulacoseira italica* y *Fragilaria crotonensis* y 3 especies de la división Cyanophyta: *Anabaena sp*, *Anabaena solitaria* y *Aphanocapsa elachista*.
- Especies determinadas en Villa Victoria como *Aulacoseira italica*, *Fragilaria crotonensis*, *Pediastrum simplex* y *Scenedesmus quadricauda*. indican el estado de mesotrofia, las condiciones hidrológicas y una mediana concentración de nutrientes, ubican a la presa Villa Victoria como un sistema mesótrofico con tendencia a un proceso de eutrofización.
- En los arroyos del Parque Nacional Izta-Popo se puede observar que hay una menor cantidad de organismos (26 038 org/ml), esto se debe a que hay poca productividad en el sistema, por una parte por la falta de materia orgánica y por otra parte por el flujo del cuerpo acuático. Se registraron 13 especies, algunas de las especies más abundantes fueron: *Anomoeoneis sphaerophora*, *Fragilaria capucina* y *Pinnularia brevisostrata*, de la división Chrysophyta. Sólo se encontraron 2 especies de la división Chlorophyta: *Pediastrum duplex* y *Scenedesmus dimorphus*.
- Considerando la baja concentración de nutrientes y la composición algal de los arroyos del Parque Nacional Izta-Popo que está representada básicamente por diatomeas como: *Pinnularia brevisostrata*, *Anomoeoneis sphaerophora* y *Amphora birugula*, los sistemas se clasifican como oligotróficos.



## LITERATURA

- ◆ Abascal, H., Guijarro, M., Rojo, J. L. y Sanz, J. A. (1994). Cálculo de Probabilidades y Estadística. Barcelona: Ariel Economía. (Temas 1-3).
- ◆ Alcocer J., A. Lugo, M. R. Sánchez y E. Escobar, (1998). Isabela Crater-Lake: a Mexican insular lake. *Hidrobiología* 381:1-7.
- ◆ American Public Health Association A. P. H. A., (1980), “Análisis de suelos y aguas de desecho, sedimentos bentónicos y lodos”, Editorial Interamericana. USA. pp. 609.
- ◆ Arredondo F. J. y C. Aguilar D., (1987). Bosquejo histórico de las investigaciones limnológicas realizadas en lagos mexicanos, con especial énfasis en su ictiofauna. En Gómez Aguirre S. y V. Arenas Fuentes (ed). *Contribuciones en Hidrobiología*. UNAM. México 91-133 pp.
- ◆ Balbuena P. Y. L. y A. E. González S., (2003). Hidrología y microalgas de arroyos y manantiales del Parque Nacional Izta-Popo. Resúmenes del IV Coloquio Internacional sobre Servicio Social Comunitario. Ciudad de México.
- ◆ Balbuena P. Y. L., M. L. Ledesma M. y A. E. González S., (2002). Diatomeas bentónicas de arroyos y manantiales del parque Nacional Izta-Popo. Resúmenes del IV Congreso Mexicano de Ficología. Merida, Yucatan.
- ◆ Begon M, JL Harper y CL Townsend (1990). *Ecology: individuals, populations and communities*. Second edition. Sinauer, Massachusetts. 450 pp.
- ◆ Berenson, M. (1996): *Estadística Básica en Administración*. Prentice Hall, México. 352 pp.
- ◆ Bold H. C. y M. J. Wynne, (1978). *Introducción to the algae. Structure and Reproducción*. Prentice - Hall Inc. U. S. A. 720 pp.
- ◆ Brower J. E., (1977). *Field and laboratory methods for general ecology* Wm. C. Brown Company Publishers U. S. A. 194 pp.
- ◆ Cantoral E. A. (1999), *Diatomeas de ambientes lóticos en la cuenca baja de la huasteca potosina tesis de doctorado*. 200 pp.
- ◆ Contreras E. F., (1994), *Manual de técnicas Hidrobiológicas*, Trillas, México D. F. pp 231.
- ◆ Contreras E. F. y J. Kerekes, (1993). Total phosphorus chlorophyll relationships in lagoons in México. *Verh. Internat. verein. limnol.* pp. 325.
- ◆ Darley M. W. (1987). *Biología de las algas*. Ed. Limusa México D. F. pp, 236.

- ◆ Edmonson W. T., (1976). Fresh - Water Biolgy, 2a edición, John Wiley and Sons Inc. pp 479.
  
- ◆ De la Lanza E. G., S. Hernández Pulido y J. L. Carvajal Pérez (compiladores), (2000). Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores), editado en México por Plaza y Valdés, S. A. de C. V. pp 537.
  
- ◆ Fruh, G. E., K. M. Steward, G. F. LEE and G. A. Rohlich, (1966). Jour. Water Pollut. Fed., Measurement of eutrophication and trends. 1237-1258.38.
  
- ◆ García G. M. A., (1994). Análisis Preliminar de las comunidades algales en el embalse Villa Victoria, Edo. de México. Tesis profesional. ENEP Iztacala. pp 374.
  
- ◆ Gómez Márquez, J. L., B. Peña M., M. Arteaga M., E. A. Guerra H., R. Arcos R., E. Mendoza V., C. Machuca R. y A. González S. (2001). Análisis de la calidad de agua de los escurrimientos del parque Nacional Izta-Popo y áreas de influencia, Resúmenes del Congreso Nacional de Áreas Protegidas. Guadalajara, Jalisco del 17 al 20 de octubre del 2001.
  
- ◆ González S. A. E., (1989). Manual de técnicas básicas para el muestreo de plancton Material didáctico de la FEZ Zaragoza UNAM. 43 pp.
  
- ◆ Haynes, W. 1989. Variación de la comunidad planctónica de la presa Requena, Hidalgo. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 160 pp.
  
- ◆ Hartwing, F y Dearing, B.E. (1979). Exploratory Data Analysis. Beverly Hills. 242 pp.
  
- ◆ Hoaglin, D, Mosteller, F, & Tukey, J.W. (1991). Fundamentals of Exploratory Analysis of variance. New York. J. Willey. 342 pp.
  
- ◆ Hutchinson, G., (1957). A treatise on Limnology. I Geography, Physics, and Chemistry. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1015 pp.
  
- ◆ INEGI, (1999). Cartas topográficas, climáticas y de vegetación E – 14 – A- 36 y E – 14 – A – 37. México D. F. 48 pp.
  
- ◆ INEGI. Marco Geoestadístico, (2000). INEGI - DGG. Superficies Nacionales y Estatales. 54 pp.
  
- ◆ Jaksic F. M. (1981). Abuse and misuse of the term "guild" in ecological studies. Oikos 37: 397-400.
  
- ◆ Lampert W, U. Sommer (1993). Limnookologie. Georg Thieme Verlag Stuttgart 440 pp.

- ◆ Lampert W, U. Sommer (1997). *Limnookologie*. Georg Thieme Verlag Stuttgart. 532 pp.
- ◆ Lara V. M. (1996). *Fitoplancton, Conceptos básicos y técnicas de laboratorio*, UNAM, México D. F., 228 pp.
- ◆ Margalef R., (1983). *Limnología*, Omega España, 1010 pp.
- ◆ Moreno Ruiz J. L, en De la Lanza E. G., S. Hernández Pulido y J. L. Carbajal Pérez (compiladores), (2000). *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores)*. Editorial Plaza y Valdes S. A. de C. V. México. pp 43 - 108.
- ◆ Moss, B. (1998). *Ecology of freshwater. Man and Medium*. Blackwell. Oxford. 421 pp.
- ◆ Needham J. G., y Needham (1978). *Guía para el estudio de los seres vivos de las aguas dulces*. Ed. Reverté. España. pp 131.
- ◆ Odum E., (1985). *Ecología* Editorial Interamericana. México. pp 538.
- ◆ Olvera V. V. (1990) *Estudio de la eutrofización del embalse Valle de Bravo México Tesis maestría Fac. Ciencias UNAM México, D. F. pp 72.*
- ◆ Olvera V. V., (1992). *Estudio de eutrofización de la presa Valle de Bravo, México Ingeniería en México/mayo-diciembre*, pp 160.
- ◆ Ortega, M., (1984). *Catálogo de algas continentales de México*, UNAM, México D.F. 307 pp.
- ◆ Ortega M., (1987). *Doce años de Ficología en México (1987 - 1983)*. En Gómez Aguirre S. y V. Arenas Fuentes (Ed.). *Contribuciones en Hidrobiología*. UNAM México. 155 – 186 pp.
- ◆ Ortega M., (1994). *Ficología de México, algas continentales*, México D. F, 220 pp.
- ◆ Palmer C. M, (1982). *Algae in water supplies*. Dept. of Health Education & Welfare. Public Health Service. USA. 577 pp.
- ◆ Payne A. I., (1986). *The ecology of tropical lakes and rivers*. John Wiley & Sons. Great Britain. 301 pp.
- ◆ Pitois, S, M.H. Jackson y B.J.B. Wood. 2000. *Problems associated with the presence of cyanobacteria in recreational and drinking waters*. *Int. J. Environ. Health Res.* 10: 203-218 pp.

- ◆ Pizzolón, L., B. Tracanna, H. Silva, C. Prósperi, A.L.M. de Fabricius, M.O.G. de Emiliani, A.V. Otaegui, M. Amalfi, H. Labollita, N. Santinelli y V. Sastre. 1997. Inventario de ambientes dulceacuícolas de la Argentina con riesgo de envenenamiento por cianobacterias. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental* 33: 26-34 pp.
- ◆ Prescott G., (1962). *Algae of the western great lakes area*. Brown Company Inc. dobuque Iowa Printed in U.S.A. 563 pp.
- ◆ Prescott G., (1970). *How to know the freshwater algae. Fic. Key. Nature Serie.* U.S.A. 348 pp.
- ◆ Ramírez, J. J. (2000). *Fitoplancton de agua dulce. Aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios*. Editorial Universidad de Antioquia. 351 pp.
- ◆ Ramos M. S., (2001). *Análisis de calidad del agua y biomasa del fitoplancton de la presa Emiliano Zapata, Morelos, México*. Tesis profesional. FES Zaragoza, UNAM. 78 pp.
- ◆ Reid G. K. y R. D Wood. (1976). *Ecology of inland waters and estuaries*. U.S.A.: 485 pp.
- ◆ Reynolds C. S., (1984). *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press. U. S. A. 384 pp.
- ◆ Reynolds, C.S. (1997). *Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory*. Ecology Institute, Oldendorf, 371 pp.
- ◆ Rodríguez C. N., (1999). *Estudio del plancton en la presa Villa Victoria Estado de México*, Tesis profesional. Universidad Nacional Autonoma de México. 145 pp.
- ◆ Rossell V. A., H.J González., A.J Del Torno y G. M. Galván, (1981). *Manual de técnicas de muestreo y análisis de plancton y perifiton*. SARH. 3 ed. México. 243 pp.
- ◆ Salgado - Ugarte I. H., (1991). *El análisis exploratorio de datos biológicos, fundamentos y aplicaciones*. Marc-ediciones. UNAM. México. 112 pp.
- ◆ Sarabia, J. M. (2000): *Curso Práctico de Estadística 2ª Ed.* Civitas ediciones, Madrid. 326 pp.
- ◆ Sawyer, C.N., (1966) *Jour. Water. Pollut. Cont. Fed., Basic concept of eutrophication*. 737-744. pp.
- ◆ Sournia A. (Ed.), (1978). *Phytoplankton manual*. UNESCO. Page Brothers (Norwich) LTD. United Kingdom. 631 pp.

- ◆ Schwoerbel, J. (1993). *Einführung in die Limnologie*, 7. Auflage. Gustav Verlang-Stuttgart. Deutschland. 387 pp.
- ◆ Schwöerbel J., (1975). *Métodos de hidrobiología*, H. Blume, España, 262 pp.
- ◆ SCT (1994) Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Mapa turístico del Estado de México*. Estado de México. Ed. Planeta Mexicana. 152 pp.
- ◆ Sournia A. M. (1978) Organization and funtion of cell-structures in diatoms and their morphogenesis. In: *Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Diatom Symposium*. 271-292.
- ◆ Tavera - Sierra R., (1994). *Phytoplankton of the tropical lake Catemaco*. PhD Tesis. University of South Bohemia. Faculty of Biological Science. České Budejovic, Czech Republic. pp. 63.
- ◆ Torres-Orozco B, A. Pérez-Rojas, (2002). *El lago de Catemaco*. En De la Lanza E. G., y J.L. García C. (Comp.). *Lagos y presas de México*. A. G. T. Editor S. A. México pp 213 - 248.
- ◆ Tukey, J. W. (1977). *Exploratory Data Analysis*. Reading Mass. Addison & Wesley. 451 pp.
- ◆ Vargas Márquez, Fernando. 1984. *Parques Nacionales de México y Reservas Equivalentes. Pasado, presente y futuro*. Colección: Grandes problemas Nacionales. Serie: Los Bosques de México. Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM. México, D.F. 266 páginas, más 34 de fotografías y mapa.
- ◆ Vallentyne R. John, (1978). *Introducción a la limnología*, Ediciones Omega, España. 472 pp.
- ◆ Welch, P. S., (1952). *Limnology*. Mc. Graw Hill. Inc. 2nd. ed. New York..538 pp.
- ◆ Wetzel R. G., (1981). *Limnología*, Omega, España, 743 pp.

## ANEXO 1

En el anexo 1 se muestran los diagramas de cajas múltiples con muesca para todos los parámetros analizados, en ellos se puede corroborar la existencia de diferencias significativas entre los resultados.

La Fig. A muestra el diagrama para la visibilidad observando que hay un traslape de muescas lo que indica que los grupos de datos para Valle de Bravo y Villa Victoria son parecidos, sin embargo se observa un valor mayor en Valle de Bravo, pero estadísticamente se puede decir que no hay pruebas suficientes para probar que es mayor en la presa Villa Victoria ya que las diferencias no son significativas entre los dos cuerpos de agua como se muestra en el diagrama.

La Fig. B presenta el diagrama de cajas para la temperatura ambiental en la cual se puede apreciar claramente que los valores en la presa Valle de Bravo y la presa Villa Victoria se traslapan en un extremo de la muesca aunque en los valores de temperatura de Villa Victoria se ve una tendencia a ser menores como se puede apreciar en el diagrama y con un valor menor el Parque Nacional Izta-Popo.

La Fig. C. presenta el diagrama de cajas para la temperatura del agua donde se puede apreciar que la presa Valle de Bravo y la presa Villa Victoria presentan los valores son estadísticamente iguales y los arroyos del Parque Nacional Izta-Popo son menores y diferentes.

La Fig. D. presenta el diagrama de cajas para el pH donde evidentemente podemos observar las muescas que nos hay diferencias significativas y son estadísticamente iguales ya que se traslapan los tres en algún punto sin embargo con respecto a los datos de Izta-Popo que puede presentar valores mas bajos con tendencias a la acidez.

La Fig. E. presenta el diagrama de cajas para el oxígeno y aquí se muestra que las muescas en un punto se traslapan y por lo tanto se podría decir que son iguales.

La Fig. F nos señala que no hay variación en los datos de Izta-Popo y el mayor intervalo entre los valores se presenta en Valle de Bravo, los resultados se consideran significativamente iguales a Villa Victoria, pero con un intervalo superior mayor.

En la Fig. G se muestra la alcalinidad total donde podemos observar que las muescas se traslapan y se puede decir que son iguales.

La Fig. H del anexo nos muestra la dureza con un intervalo mayor para los datos de Izta-Popo, pero en general puede decirse que todas las muestras son iguales.

La Fig. I del anexo nos muestra los valores de amonio tiene un rango de variación mayor para Valle de Bravo y aunque se consideran iguales a los presentados en Villa Victoria, se observa claramente una tendencia a presentar valores mas elevados. Los valores en Izta-Popo fueron indetectables.

La Fig. J del anexo muestra valores indecibles para Izta-Popo ya que los valores fueron iguales, los valores para Valle de Bravo y Villa Victoria, con una amplitud de intervalo mayor para esta zona son iguales.

La Fig. K del anexo muestra un rango de intervalo mínimo para Izta-Popo ya que los valores fueron iguales por lo que no se pudo formar la caja, para Villa Victoria y Valle de Bravo son iguales estadísticamente, para Valle de Bravo el rango de variación es más alto.

## ANEXO 2

### Descripción de especies

■ *Anabaena* sp. Bory 1822.

Filamentos muy agregados, muy enredados y encerrados en mucílago, amorfos, solitarios y planctónicos, están algunos pegados y en forma de película y con características gelatinosas sobre un sustrato, con células cilíndricas y ovadas en forma de barril, heterocistos numerosos e intercalados en el tricoma, el género se considera como indicador de aguas contaminadas. Puede formar afloramientos en estanques permanentes y semipermanentes. (Smith, 1950; Prescott, 1962; Palmer, 1982).

■ *Anabaena solitaria* (Brunnthaler) Komárek in Komárek et Ettl, 1958.

Tricomas simples con heterocistos intercalares más o menos numerosos, acinetos contiguos a los heterocistos, tricomas con pseudovacúolas y heterocistos dilatados, acinetos alargados, principalmente planctónicas que pueden formar afloramientos. (Bourrelly, 1985).

■ *Anomoeoneis sphaerophora*

Valvas elípticas lanceoladas, márgenes convexos, frecuentemente paralelo en la mitad, porción de la valva, el área axial lineal, bordeado por una sola fila de un punto. El rafe es distal con terminaciones largas, en forma de hoz, curvadas en la misma dirección. El área central irregularmente redondeada, usualmente desarrollada unilateralmente, algunas veces alcanzando el margen. Las áreas laterales algunas veces son irregulares, estrías ligeramente radiadas, a través de la valva excepto las terminaciones donde ellos forman filas paralelas. Líneas longitudinales, estrías 15 - 17 en 10  $\mu$ . Largo 30 alrededor de 80  $\mu$ . De ancho 13 - 22  $\mu$ . (Prescott, 1962).

■ *Amphora birugula*

Valvas con el margen dorsal ligeramente convexo, y margen ventral, ensanchado en el centro, bandas intercalares en series longitudinales, monorafidia, estrías ventrales cortas e interrumpidas en la parte central, estrías dorsales en el lado del rafe y dos bandas punteadas en el lado sin rafe. (Patrick y Reimer, 1975).

■ *Aphanocapsa elachista* Komárek in Komárek et Ettl, 1853.

Colonias elípticas o helicoidales cortas y con pocas células e interactuando con otras algas, son de color azul verdoso, células pequeñas, globosas, frecuentemente en pares y muy separadas con mucílago coloreado. Planctónica en aguas eutróficas, común en zonas tropicales, rara en regiones cálidas de zonas templadas. (Prescott, 1962; Komárek y Anagnostidis, 1999).

■ *Asterionella formosa* Hassall, 1850

Frústulas formando colonias en forma de estrella, valvas lineales, se va haciendo angosto hacia las terminaciones de las valvas, las frústulas de la colonia son muy largas fuertemente unidas, al contrario de los ápices que son muy pequeños; frecuentemente no se distinguen. El rafe es muy angosto y a menudo indistinto (Smith, 1955; Ortega, 1994).



■ *Aulacoseira italica* (Ehrenberg) Simonsen, 1979

Células cilíndricas con una longitud mayor que su ancho, presentan un anillo marginal que une a las células en filamentos, valvas circulares, las células presentan una constricción anular que las parte por la mitad, especie planctónica donde pueden llegar a ser dominantes en la primavera temprana y el otoño tardío, se considera como indicadora de estados avanzados de eutrofización. (Smith, 1955; Ortega, 1994).

■ *Closterium parvulum* Nitzsch, 1817

Es una de las desmicias sin incisión, la célula presenta dos semicélulas con un cloroplasto cada una, presentan forma alunada con diferentes grados de curvatura, los polos atenuados en los extremos. (Prescott, 1981).

■ *Cymbella brevistriata* Lyngbye, 1819

Frustulas lineales en vista singulares, las valvas se observan lunadas o semicirculares mostrando una simetría bilateral, el rafe es comúnmente lateral es decir que atraviesa la valva oblicua hacia la superficie, los extremos del rafe son difíciles de observar. Estrías punteadas o lineadas, usualmente radiadas alrededor del centro (Patrick y Reimer 1975).

■ *Cyclotella meneghiniana* Kützing, 1844.

Las valvas son lisas en la región central, en los extremos y en las puntas, estas células son circulares con estrías que se observan en el cinturón y frecuentemente como líneas paralelas, otros tienen formas de filamentos cortos. En las valvas se observa una zona radiada dentro del margen de la valva y de la región lisa y en el área final de las puntas. Estas especies son planctónicas. (Prescott, 1981).

■ *Cymbella lanceolata* (Ehrenberg) Kirchner, 1878

El campo axial está en el centro y es pequeño, estrecho en la parte de arriba; las frústulas que se presentan pueden estar formando colonias lineales en tubos de forma gelatinosa, asociadas en las terminaciones en forma de tallos gelatinosos; asimetría bilateral. (Prescott, 1981).

■ *Cymbella mexicana*

Valvas con los márgenes dorsales fuertemente arqueados, los márgenes ventrales algo abultados en el centro. De otra manera son algo cóncavos. El área axial arqueada, el área central pequeña, ovada, con un estigma aislado en la mitad, estigma en un canal vertical, con una abertura externa entre las terminaciones del rafe próximo, rafe lateral, el rafe próximo con terminaciones bulbosas. Estrías radiadas, estrías acortadas interpuestas en la mitad de las valvas; libres en las terminaciones de las estrías (menores en la parte central de la valva), aparentemente angostos, cuadros rectangulares, estrías de 7 - 8 en 10  $\mu$ . Normalmente 9 - 10 en 10 $\mu$ . En las extremidades 10 - 12 en 10 $\mu$ , largo 80 - 165 $\mu$ . Ancho 24 - 33 $\mu$ . (Patrick y Reimer, 1975).

■ *Cymbella turgida*

Vista valvar que muestra el rafe excéntrico, curvadas en uno de sus lados, lo que le da una asimetría bilateral, libres flotadoras, abundantes en verano, y algunos pueden formar tubos gelatinosos adheridos al sustrato (Prescott, 1981).

■ *Diploneis puella*

Valvas elípticas, silicio encerrado en el rafe lineal, angosto y distinto, el área central más larga que ancha, redondeada, longitudinalmente con canales angostos, lineal, área curvada alrededor del área central, costados radiados de 14 - 18 en 10  $\mu$ .. Entre el costado angosto alveolado, de largo 13 – 27  $\mu$ . De ancho 6 – 14  $\mu$ . (Prescott, 1981).

■ *Fragilaria brevistriata* Lyngbye, 1819

Frústulas cuadradas o rectangulares forma de faja, asociadas lado a lado en forma de cinta; sin rafe, las valvas se observan fusiformes, los polos son estrechos en la región alargada central (Patrick y Reimer, 1966).

■ *Fragilaria capucina*

Frústulas formando largos filamentos, valvas lineales y redondeadas, los ápices en forma de cuña, con el rafe de forma distinta. El área central usualmente rectangular, a veces algo redondeado en apariencia; casi alcanzando los márgenes de las valvas. Estrías paralelas, 14 - 18 en 10 $\mu$ , largo variable, usualmente 40 – 100 $\mu$ . No obstante puede ser que tenga 25 - 170 $\mu$ . De largo, ancho 2 – 5  $\mu$ . (Prescott, 1981).

■ *Fragilaria crotonensis* Kitton, 1869

Las frústulas en vista lineal se pueden observar en la cintura, redonda en el centro y con una menor cantidad de terminaciones de las frústulas, las frústulas agregadas están en la porción media en forma de filamentos con una apariencia distintiva. valvas lineales, distintivamente lanceoladas, usualmente el área central tiene forma rectangular, los márgenes de las valvas son extendidos para formar (Patrick y Reimer, 1966).

■ *Fragilaria virescens* Ralfs, 1843

Las frústulas tienen formas largas, filamentos rectos, valvas con líneas y márgenes ligeramente convexos, ápices pequeños, pseudorafe muy angosto, el área central angosta, estrías finas, usualmente 15-19 en 10  $\mu$  de largo 12 - 120  $\mu$  de ancho. (Reimer, 1966).

■ *Gomphonema crotonensis* Kitton, 1869

Estrías compuestas y punteadas en una sola serie; asociadas en tallos, las frústulas están en forma de cuña, son más largas de un extremo que del otro. ( Patrick y Reimer, 1975).

■ *Gomphonema parvulum* Kützing, 1849

Esta especie tiene frústulas en forma de cuñas clavadas, más grandes en las puntas terminales. Su forma es alargada en toda la región. Tiene estrías ásperas y extendidas desde los márgenes de las valvas. (Patrick y Reimer, 1975).

■ *Melosira varians* Agardh 1827

Células en forma de cápsula, con prolongaciones y son relativamente largas, observándose como un cinturón. Las valvas están una a una en un solo plano, las células están rodeadas en valvas en el centro. Las especies presentan una línea punteada. Ésta especie frecuentemente se encuentra en abundancia, en la zona pelágica. (Prescott, 1981; Ortega, 1984).

■ *Navicula amphioxys* Bory, 1822

Presenta rafe en ambas valvas, estrías compuestas por puntos, ornamento transversal compuesto de puntas, el rafe es recto. Planctónica y algunas veces sobre sustratos. Se encuentra entre musgos y en sedimentos de ríos (Prescott, 1981; Ortega, 1984).

■ *Navicula sp.* Ehrenberg 1880

Frustulas sin bandas intercaladas. Algunos taxos tienen platos internos pero que no son septos verdaderos adheridos a las bandas intercalares. Valvas lineares lanceoladas y de forma elíptica. Un rafe simple está presente en ambas valvas y el área axial se extiende a todo lo largo de la valva. Las estrías están compuestas de distintas e indistintas puntas, usualmente tiene dos cloroplastos en cada frustula. (Patrick y Reimer, 1975).

■ *Navicula platalea* Ehrenberg 1878

Se encuentra en aguas dulces dentro del plancton, las células pueden variar considerablemente de forma, especialmente en las formas de las valvas aunque principalmente presentan forma naviculoides, algunas veces distintamente en los ápices. Tiene un rafe en ambos lados de las valvas. (Patrick y Reimer, 1975).

■ *Navicula radiosa* Kützing 1844

Valvas lineales lanceoladas con terminaciones redondeadas, área axial angosta, frecuentemente apareciendo más fuerte que el resto de la valva, el área central es variable en su tamaño, transversalmente ancha no alcanzando los márgenes de las valvas, estrías radiadas en las valvas, convergente en las terminaciones, estrías 10 - 12 en 10  $\mu$ , largo 40 - 120  $\mu$  ancho 10 - 19  $\mu$ . (Patrick y Reimer, 1975).

■ *Nitzschia amphibia* Grunow, 1862.

Las frústulas de este género son angostamente lineadas y escalonadas en los polos de ambas valvas, Las células pueden ser sigmoides, el rafe se encuentra localizado hacia el extremo longitudinal de una de las valvas. Células solitarias que pueden presentarse dentro de tubos gelatinosos formando cadenas (Prescott, 1954).

■ *Pediastrum duplex* Meyen, 1829

Colonia 8 - 128 células, la superficie es lisa, con los espacios de forma cristalina entre el interior de las células, por esto son cuadradas, el margen exterior cóncavo, células de la periferia cuadradas, el margen exterior extendido tiene dos estrechos, tiene puntas chatas, la distancia entre los procesos de una célula se encuentra a la mitad de una distancia entre los procesos de las células adyacentes, comúnmente se encuentran en muchos lagos y presas. (Prescott, 1981).

■ *Pediastrum simplex* Lemmermann, 1897

Colonia entera compuesta de 16-32-64 células con pared cristalina, las células de adentro tienen de 5 a 6 lados, las células de la periferia presentan una sola prolongación hacia el exterior, las células son extendidas por fuera, tienen la pared lisa con una forma estrecha y márgenes cóncavos, comúnmente en el plancton de un gran número de lagos (Prescott, 1981).

■ *Pinnularia breviscostata*

Valvas lineales con márgenes paralelos y extremos redondeados, rafe filamentososo con las fisuras terminales en forma de gancho, estrías cortas, paralelas y ligeramente más cortas en el centro de la valva, prefieren aguas frías con bajo contenido mineral (Patrick y Reimer, 1966).

■ *Scenedesmus dimorphus* Kützing, Linnaea 1834.

Colonia compuesta de 4 a 8 células fusiformes en series alternadas, las células interiores tienen los ápices con una punta recta y las células exteriores en forma de luna, con ápices agudos, ampliamente distribuidos en lagos y estanques (Prescott, 1962).

■ *Scenedesmus protuberans* Fritsch et Rich, 1929

Células ovales o fusiformes; paredes lisas con 1 o 2 espinas curvadas y espesas en la base y en forma de dientes; colonia compuestas de 4 a 12 células, están juntas a lo largo con paredes longitudinales en series lineales. (Prescott, 1981).

■ *Scenedesmus quedricauda* Brébisson & Godey 1835

Colonia que contiene de 2-4-8 células cilíndricas ovaladas usualmente en una serie (algunas veces 2 series) otras células con una larga espina curveada, comúnmente distribuidos en diversos y variados hábitats; una de las especies algales más comunes. (Prescott, 198).

■ *Staurastrum gracile* Ralfs & Ralfs, 1848

Éste género de desmicias incluye alrededor de muchas especies. Presenta una tremenda variación en forma, tamaño y ornamentación. la característica mas significativa es la extensión de las semicélulas dentro de 3 planos o más, las células pueden ser triangulares y tener muchas rayas. (Prescott,1981).

■ *Staurastrum paradoxum* Meyen 1848.

Varias semicélulas, ovales y transversales, piramidales en forma de urna, el ápice únicamente delgado, todo lo demás elevado; semicélulas armadas con varios ornamentos como espinas y verrugas; los dos polos de las células son similares en morfología y armadas. (Prescott,1981).

■ *Tetraedrom regulare* Kuetzing 1845

Células tetragonales y piramidales, los ángulos producen una forma de lóbulos gordos, estrechamente redondeados con punta, las esquinas gruesas, los márgenes de los lóbulos son convexos y rectos, las paredes laterales entre los lóbulos son cóncavos, se encuentran en muchos lagos y presas (Prescott, 1981).