



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"IZTACALA"

"CARACTERIZACION SAPROTROFICA DE
LOS LAGOS CRATER DE LA REGION DE
LOS LLANOS, PUE."

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A :
MARCO ANTONIO GARZON ZUÑIGA



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los Reyes Iztacala Edo. de Méx.

1990



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

AGRADEZCO

De manera muy especial a mi directora de tesis Dra. Gloria Vilaclara Fatjó por su inmejorable asesoramiento, por el gran interés mostrado -en que las cosas salieran bien-, por su apoyo desmedido y, por su entusiasmo contagioso.

A mis revisores de tesis: Biol. Mario M. Chávez A.; Biol. Guadalupe Oliva M.; G.F.B. Esperanza Robles G., y Mat. Antonio Labastida N. Por sus críticas acertadas, sus elogios alienantes y por su paciencia y amistad.

A los biólogos Mario Chávez Arteaga, Alfonso Lugo Vázquez, Javier Alcocer Duran y Arturo Calderón Vega por su valiosa ayuda y sus sugerencias.

Al proyecto C y M A por las facilidades en el uso del material e instalaciones.

A los siguientes integrantes del proyecto C y M A por la realización de los análisis físico-químicos y bacteriológicos y por la facilitación de los datos: Biólogos: Elvia Gallegos, Victor Rivera, Gloria Vilaclara, Alfonso Lugo y Mario Chávez y a los P. de B. Martha Gaytán, Ma. Teresa Castro, Hector Rodriguez, Guadalupe Sáinz y Yolanda Molina.

A los integrantes del grupo OCELIZ por sus palabras de motivación para seguir adelante; por el esfuerzo que juntos hemos hecho, y por nuestra amistad.

A CONACyT por su apoyo económico a: 1) el proyecto clave P220CCOR880369 "Estudio comparado de la Región de los Llanos, Pue., y su aplicación en la utilización y preservación del recurso acuático de la cuenca hidrográfica". 2) y particularmente al presente trabajo de tesis con No. de registro 5568

Agradezco, de manera especial, a esa fuerza sobrenatural que rige todas las cosas -y que es llamada de tantas formas-, por haber creado este bello mundo. "mi fuente de trabajo".

Falta página

N° 11

DEDICO EL PRESENTE TRABAJO:

**A MIS PADRES, Marco Antonio y Ma. Teresa, por su apoyo,
paciencia y cariño incondicionales.**

**A MIS HERMANOS, Ivonne y Eric por el cariño
que me brindan y porque juntos
integramos una bella familia.**

**A LA FAMILIA, en general, por sus palabras de aliento y por el
gusto de que gozan con la superación de cada uno de
nosotros.**

**A LA MEMORIA de todos aquellos que han
contribuido para hacer de mi lo
que soy y que siempre estaran
presentes en mi corazón:
Gerardo, Fernando,
Martin, Ma. Luisa.**

"CARACTERIZACION SAPROTROFICA DE
LOS LAGOS-CRATER DE LA REGION DE
LOS LLANOS, PUEBLA"

INDICE.

RESUMEN.....	01
INTRODUCCION.....	03
Importancia del recurso acuático.....	03
Eutrofización.....	03
-natural.....	04
-cultural.....	04
Metas y Objetivos.....	05
ANTECEDENTES.....	06
Antecedentes Limnológicos en México.....	06
Antecedentes del área de estudio.....	07
JUSTIFICACION.....	08
UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO.....	09
Localización.....	09
Características morfométricas de los lagos-cráter.....	12
Clima de la Cuenca de Oriental.....	12
Flora de la Región y de los lagos cráter.....	16
Fauna de los lagos-cráter.....	17
MATERIAL Y METODOS.....	18
Muestreo.....	18
Análisis Físico-Químico.....	18
-Descriptores in situ.....	18
-Parámetros Tróficos.....	19
-Parámetros Saprobios.....	20
Análisis Matemático.....	20
RESULTADOS Y DISCUSION.....	21
Clinas de Oxígeno y Temperatura.....	21
Perfiles de Parámetros Tróficos.....	30
-Nutrimientos y Clorofilas.....	30
-Relación Nitratos/Ortofosfatos.....	41

-Índice de Margalef.....	41
-Índice de Feopigmentos.....	42
Parámetros Saprobios.....	44
-DQO.....	44
-DBO ₅	44
-pH.....	49
Resultados y discusión de los análisis de Componente Principal.....	53
-Análisis de C.P. para Columna	53
-Análisis de C.P. para Superficie	53
CONCLUSIONES.....	60
RECOMENDACIONES.....	63
APENDICE # 1 : Clorofilas.....	65
Introducción.....	65
Definición del Problema.....	66
Material y Métodos.....	69
Resultados.....	71
Análisis de Resultados.....	79
Conclusiones.....	80
APENDICE # 2 : Evaluación de la técnica DQOp en realción a otros descriptores de materia orgánica.....	81
Introducción.....	81
Justificación y Objetivos.....	82
Material y Métodos.....	83
Resultados.....	89
Discusión y Conclusiones.....	93
BIBLIOGRAFIA CITADA.....	94
ULTIMAS PALABRAS.....	102

RESUMEN.

Debido a la gran importancia que para el hombre representa el recurso acuático epicontinental y, por lo tanto, cualquier estudio encaminado hacia su tipificación y conservación, se decidió caracterizar los lagos-cráter de la Región de los Llanos -en el estado de Puebla, México- desde un punto de vista saprotrófico. Para ello, se llevó a cabo un muestreo trimestral de abril-1988 a mayo-1989, como sigue: Alchichica y Atexcac en abril, julio y octubre de 1988 y febrero y mayo de 1989; La Preciosa y Quechulac en mayo, agosto y diciembre de 1988 y marzo de 1989, y Aljojuca, Tecuitlapa y Tecuitlapa-Norte en junio y septiembre de 1988 y en enero y abril de 1989.

En cada lago se determinaron -tanto en columna como en zona litoral- los siguientes parámetros tróficos, saprobios y físico-químicos: Nitrógeno inorgánico como NO_2^- y NO_3^- , fósforo inorgánico como PO_4^{3-} , concentración de clorofilas "a", "b" y "c", índice de Margalef e índice de feopigmentos (tróficos); DBO_5 , DQO , y O.D. (saprobios); temperatura del agua (físico), y pH (químico).

Los resultados se graficaron para describir el comportamiento saprotrófico de los cuerpos de agua a lo largo del ciclo y se emplearon para determinar la posición de cada lago dentro de las diferentes clasificaciones tróficas y saprobias que toman como base cada uno de los parámetros medidos (Wetzel, 1975; Sládeček, 1978; Arrignon, 1984 y Vilaclara, 1987). Por último, se aplicó un análisis estadístico de componente principal para visualizar las diferencias que existen entre los lagos con relación a su capacidad de producción primaria y al acúmulo de materia orgánica, así como para corroborar que las variables con base en las cuales debe hacerse la caracterización de los lagos-cráter son la DBO_5 y la clorofila "a".

Del análisis y discusión de los resultados se desprenden las siguientes conclusiones y recomendaciones generales:

Presentan un comportamiento típico en cuanto al establecimiento de termoclina en el invierno, que los coloca como lagos monomicticos templados según Wetzel (op.cit.). Además, las termoclinas parecen asociarse con las oxiclinas.

La capacidad de producción primaria de los lagos estudiados es muy heterogénea, va de muy poca en La Preciosa, Alchichica y Atexcac, hasta una excesiva producción en Tecuitlapa-Norte pasando por productividades medias en Aljojuca y Quechulac y altas en Tecuitlapa.

Todos los lagos registraron altas concentraciones de fósforo inorgánico debido a la elevada concentración de sodio y la subsiguiente poca capacidad de autodepuración del mismo, hecho que explica el porqué en todos ellos, excepto en La Preciosa, el nitrógeno actúa como elemento limitante. Con base en lo anterior, se recomienda evitar el uso de detergentes, así como el introducir contaminación por materia orgánica (aguas negras domésticas) y aún menos como nutrimentos (aguas tratadas secundariamente).

A partir del análisis de componente principal, se determinó que los lagos presentan características saprotróficas -basadas principalmente en la concentración de clorofilas, el O.D. y la DBO₅-, que permiten distinguir unos de otros y que a la vez los agrupa en tres categorías, como sigue: 1) Alchichica, Atexcac, La Preciosa, Aljojuca y Quechulac. 2) Tecuitlapa y 3) Tecuitlapa Norte.

Por último y de acuerdo con las clasificaciones de Sládeček (1978) y de Vilaclara (1987), se determinó que los lagos-cráter son:

La Preciosa, xenosaprobio y oligotrófico; Alchichica, oligosaprobio y oligo-mesotrófico; Atexcac (sólo la zona litoral) oligosaprobio y oligotrófico; Quechulac y Aljojuca se presentan como oligo- mesosaprobios y mesotróficos; Tecuitlapa es α -mesosaprobio y eutrófico, y Tecuitlapa-Norte aparece como isosaprobio e hipereutrófico.

INTRODUCCION.

El agua es imprescindible para el progreso de toda nación, dado que diariamente se consumen enormes volúmenes en las ciudades y en el campo. Franco (1981) menciona que el desarrollo agrícola, ganadero e industrial, así como la mayoría de las actividades humanas y aun la propia existencia del hombre, dependen de la disponibilidad de dicho recurso. Sin embargo, el agua es también importante desde un punto de vista no antropocéntrico, pues los escurrimientos y reservorios epicontinentales que conforma son hábitats naturales para un sinnúmero de especies, desde cosmopolitas hasta endémicas.

Los numerosos programas de investigación que tanto los países desarrollados como las organizaciones internacionales dedican al estudio del control y preservación de la calidad de las aguas epicontinentales, demuestran su importancia a nivel mundial (Vilaclara et al., 1988a). Esta importancia ha surgido, en parte, como respuesta al notorio incremento de la contaminación de los medios dulceacuicolas, en los cuales son verdaderas sustancias extrañas (desechos industriales, fertilizantes, plaguicidas y productos residuales de tipo urbano, entre otros) que alteran su composición y/o estado original (Stanford, 1986).

Dos de los tipos de contaminación más frecuentes son la contaminación trófica -es decir, aquella que se da por la presencia de elevadas cantidades de nutrientes- y la saprobia -debida al acúmulo y degradación de materiales biológicos-; ambas se encuentran íntimamente ligadas y, en conjunto, se pueden denominar como contaminación saprotrófica, a causa de la cual se acumulan diversas cantidades de materia orgánica dentro de los cuerpos de agua (desde aproximadamente 10 hasta más de 1000 mg/l de oxígeno disuelto, medidos según la D.B.O.) (Vilaclara, no publicado), que finalmente producen el agotamiento parcial o total del oxígeno y el consiguiente deterioro del recurso.

En el caso particular de la contaminación trófica, los nutrientes inducen el aumento en la productividad primaria -asociado a un cambio en la composición y diversidad de las especies-, todo lo cual acelera los pasos hacia la eutrofización e, incluso, la hipereutrofización.

La eutrofización es el proceso evolutivo de enriquecimiento en nutrientes que se da naturalmente en los cuerpos de agua. Dicha "evolución"¹ va de un estado oligotrófico (pobre en

¹ Cabe aclarar que tal proceso evolutivo se da en los lagos en sentido oligotrofia-eutrofia y no es considerado propiamente como una sucesión, sino más bien como una regresión, ya que la oligotrofia es un estado más maduro porque posee el coeficiente productividad/biomasa más bajo (Margalef, 1974). Sin embargo, Reid & Wood

nutrimentos) hasta un estado hipereutrófico (muy rico en nutrientes) (Vivier, 1979), pasando por los estados intermedios de mesotrofia y eutrofia (Rodhe, 1969). *

Así pues, la eutrofización natural ocurre en forma lenta y gradual, siendo temporalmente imperceptible comparada con el ciclo vital del hombre. Sin embargo, durante los últimos decenios tal proceso se ha visto notable y, en ocasiones, indeseablemente acelerado, merced a un gran número de actividades humanas que lo favorecen, como son: la fertilización y fumigación agrícola; la descarga de aguas negras crudas o tratadas secundariamente en los cuerpos de agua, y el uso indiscriminado de los detergentes; etc.. Es por eso que algunos autores han querido hacer una distinción práctica, denominando a este proceso evolutivo como "eutrofización natural", cuando se da por azolve progresivo del cuerpo de agua y sin que intervenga directa o indirectamente la mano del hombre, y como "eutrofización cultural", cuando se ve acelerado como consecuencia de la influencia humana.

② Un fenómeno inherente al de la eutrofización de los cuerpos de agua es el incremento de la productividad primaria; por lo tanto, es de gran importancia estimar dicha productividad cuando se desea conocer el estado saprotrófico de algún sistema. Al respecto y desde hace tiempo, se ha observado que la productividad primaria sostiene una relación estrecha con el contenido de clorofilas, por lo que la medición de estos pigmentos puede emplearse como un indicador de productividad (Wood, 1975).

Como consecuencia del proceso de eutrofización y del fenómeno de la contaminación, la obtención de agua de buena calidad² representa un gasto de recursos físicos y económicos cada vez mayores, sobre todo en las regiones áridas y/o muy elevadas. Es por ello indispensable que cada país estudie y conozca sus recursos acuáticos. La investigación limnológica es el vehículo que nos permite tipificar los cuerpos de agua, de

(1976) consideran el proceso de eutrofización -desde el punto de vista de la productividad- como un claro ejemplo de sucesión, donde el periodo de mayor duración es la eutrofia y el clímax ocurre con el establecimiento de un ecosistema terrestre.

² La calidad del agua depende del uso que se le pretenda dar. Ciertas fertilizaciones pueden ser indeseables en algunos tipos de agua (p.e. las utilizadas para consumo humano y recreación), deseables en otros (p.e. las de estanques comerciales para cría de peces), o no tener mayor importancia en otros (Lund, 1967).

acuerdo con las características que cada uno de ellos presenta. Dicha tipificación cumple con un fin práctico, pues el determinar un "tipo" cualquiera implica automáticamente el conocimiento de una serie de características de composición y dinámica que deberán tenerse en cuenta al manejar y administrar estos recursos (Margalef, 1974).

Por tal motivo y pensando en que aún no se ha trabajado lo suficiente para obtener una visión general de la composición, comportamiento y potencialidad de los cuerpos de agua mexicanos, la realización del presente trabajo se ha fijado los siguientes metas y objetivos:

METAS.

- Realizar un muestreo trimestral de cada uno de los seis lagos cráter de la Región de los Llanos, Pue., durante un ciclo anual.
- Determinar los descriptores tróficos (clorofilas "a", "b" y "c1+c2"; nitritos, nitratos, ortofosfatos, oxígeno disuelto, índice de Margalef e índice de feopigmentos) y saprobios (DGO, DBO₅, pH y OD) de cada lago.
- Poner a punto y probar la técnica de "Valor al Permanganato" (V.P.) o "Demanda Química de Oxígeno con Permanganato de Potasio" (DQOp) como parámetro rápido y económico para detectar contaminación orgánica.

OBJETIVOS.

- Discutir la capacidad de producción de cada uno de los cuerpos de agua estudiados, con base en los datos obtenidos (clorofilas y descriptores tróficos en general) y en datos bibliográficos.
- Describir el comportamiento de los parámetros saprobios en cada cuerpo de agua.
- Caracterizar desde el punto de vista saprobio y trófico, según las clasificaciones de Sládeček (1978) y Vilaclara (1987).
- Determinar los factores que influyen en la calidad del agua y las posibilidades de uso, así como los riesgos del mal uso del recurso.

ANTECEDENTES.

México cuenta con una superficie de 12,000 Km² de aguas interiores, de las cuales un 70% se considera importante para su explotación (FIRA, 1986). Tales espejos de agua se han empleado empíricamente para el cultivo de peces desde el siglo pasado, teniendo como metas el aprovechamiento óptimo de los recursos naturales y el incremento de la producción agropecuaria (Moncayo, 1988). No obstante, es hasta el presente siglo que se inician los trabajos de tipo limnológico en nuestro País, los cuales presentaron un desarrollo lento, que más tarde quedaría truncado durante el movimiento social de la Revolución Mexicana. Estos estudios se reiniciaron a principios de 1930, al crearse el Instituto de Biología; dentro de él -en la sección de Hidrobiología- se empezaron a realizar trabajos con tendencia limnológica que pretendían aminorar el desconocimiento de los cuerpos de agua continentales (Moncayo, op. cit.), entre los cuales Chávez (1986) cita trabajos descriptivos sobre: ciliados (Sokoloff, 1931 y 1936); algas (Sámamo, 1932, 1933 y 1934; Sokoloff, 1933 a y b); lemnáceas (Bravo, 1930); moluscos (Contreras, 1930) y peces (Beltrán, 1934). Sin embargo, no fue sino hasta Osorio Tafall (1944 y 1946) cuando se trabaja de forma más integrativa, al determinar las relaciones tróficas y la biodinámica de algunos cuerpos de agua (Chávez, op. cit.).

Más recientemente se han estudiado varias presas y lagos, como son: Los lagos de Chapala (Chávez, 1973) y Páztcuaro (Garduño, 1983). Las presas Requena (Moncayo y Hernández, 1978; Salazar, 1981); Valle de Bravo (Franco, 1981; Chávez, 1986); Taxhimay (Navarrete, 1981); Concepción (Moreno y Palacios, 1987); Danxhó (Moreno, 1987; González, 1987; Rodríguez, 1988; Cruz, 1989) y La Goleta (Eliás et. al., 1989), entre otros.

Sin embargo, los lagos de origen volcánico son los menos estudiados en nuestro país (Arredondo *et al.*, 1984). Tal es el caso de los lagos cráter de la Región de los Llanos, Pue., ya que no han sido suficientemente estudiados aun cuando presentan características poco frecuentes de composición físico-química y biológica, así como un delicado equilibrio, por encontrarse en una zona árida y endorreica, con un balance desfavorable evapotranspiración-precipitación (Vilaclara *et al.*, 1988a).

El primer trabajo que se realizó en la zona fue de tipo geológico (Ordóñez, 1905; en Reyes, 1979) y no es sino hasta casi cuarenta años después que se reportan algunos trabajos faunísticos de tipo taxonómico sobre anfibios (Taylor, 1943) y peces (de Buen, 1945; Alvarez del Villar, 1950). En las décadas de los 60 y los 70 se realizaron nuevos estudios geológicos y geográficos (Masser, 1964; en Reyes, *op.cit.*; Fuentes, 1972; Reyes, *op.cit.* y Gasca, 1981), y muy pocos biológicos (Alvarez, 1972). Ya en la década de los 80 se reportan trabajos más completos de tipo batimétrico (Arredondo *et al.*, *op.cit.*); biológico (Díaz, 1981) y ecológicos (Vázquez, 1982; Piña, 1984; Ramírez-García y Novelo, 1984). No obstante, aún no se han estudiado desde el punto de vista de su comportamiento trófico y del acúmulo de materia orgánica, puntos estratégicos para el conocimiento de su mejor explotación y conservación.

JUSTIFICACION.

La preocupación en torno de las aguas continentales y su continuo deterioro hace que su estudio presente grandes perspectivas de utilidad, ya que con el conocimiento generado se pueden diseñar las medidas adecuadas de control, aprovechamiento y administración de estos recursos (Margalef, 1974).

Además del problema de la contaminación, se presenta el de la fertilización progresiva de las aguas, que aumenta su producción de materia orgánica. La Región de los Llanos es una zona donde esta problemática empeora por la naturaleza química de las aguas, que les resta capacidad de autodepuración ante cualquier infiltración contaminante. Estas circunstancias, aunadas a la composición volcánica de los suelos, confiere a los lagos características únicas desde el punto de vista limnológico, que los hacen ideales para el desarrollo de una limnología regional. Aguas de este tipo sólo se encuentran en Africa y en América (Vilaclara et al., 1988a).

Aparte de su fragilidad como ecosistemas, estos lagos presentan, por su misma rareza, una belleza poco frecuente, así como endemismos y otras especies de reducida área de distribución que es necesario preservar (Vilaclara et al., op.cit.).

Por otra parte, ya que la contaminación acuática es uno de los problemas ecológicos más graves de nuestro País, todo conocimiento que se derive de las actividades dirigidas al estudio de los factores que resultan de la mencionada contaminación, es de suma importancia para encontrar métodos de detección y soluciones técnicas y prácticas poco costosas (Vilaclara et al., op.cit.).

UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO.

El área de estudio del presente trabajo comprende la llamada Cuenca de Oriental¹. Dicha Cuenca se encuentra en la parte este del eje Neovolcánico, entre los 97°09' y 98°03' de longitud oeste y los 18°48' y 19°43' de latitud norte, en la unión de los estados de Puebla, Tlaxcala y Veracruz (Gasca, 1981) (lámina 1). Es endorreica² y tiene una superficie aproximada de 5,250 km²; la zona se encuentra en parte cubierta por lagunas temporales y someras y se halla rodeada por altas y escarpadas montañas. Al norte limita con la Caldera de las Humeras y la Sierra de San Antonio; al noroeste con la Sierra de Tlaxco; al oeste con la Malinche; al sur limita con la Sierra de Sultepec, y en el este se cierra la cuenca con la Sierra del Citlaltepétl, que inicia en el sur con la Sierra Negra y el Pico de Orizaba y se continúa hacia el norte hasta culminar en el Cofre de Perote. La altura de la Cuenca va de 2,312 a 2,334 msnm (Reyes, 1979).

Dentro de la mencionada Cuenca de Oriental se encuentran varias estructuras volcánicas con lagunas internas denominadas axalapazos (voz náhuatl que significa "vasijas de arena llenas de agua"), mismos que presentan las características necesarias para considerarse como lagos tipo maars (Reyes, *op. cit.*). Estos lagos son alimentados por las aguas del manto freático y la precipitación pluvial que captan sus pequeñas cuencas. Los axalapazos se localizan en dos grupos: 1) el de Techachalco, al noreste de la cuenca, integrado por Alchichica, La Preciosa, Quechulac y Atexcac, y 2) el de Aljojuca, en el sur de la cuenca, formado por Aljojuca y Tecuitlapa (Alvarez, 1950) (lámina 2).

Alchichica es el más norteño de la región, se localiza a un costado la carretera Huamantla-Perote, sobre el Km 64; en relación con Alchichica, Quechulac se localiza 3 Km. al sureste; La Preciosa a 2.5 Km. al sur-sureste y Atexcac a aproximadamente 10 Km. al sur (Alvarez, 1950; Guerra, 1986). Aljojuca y Tecuitlapa se encuentran a unos 15 km al noreste de Cd. Serdán (Alvarez, *op. cit.*; Guerra, *op. cit.*) (lámina 2).

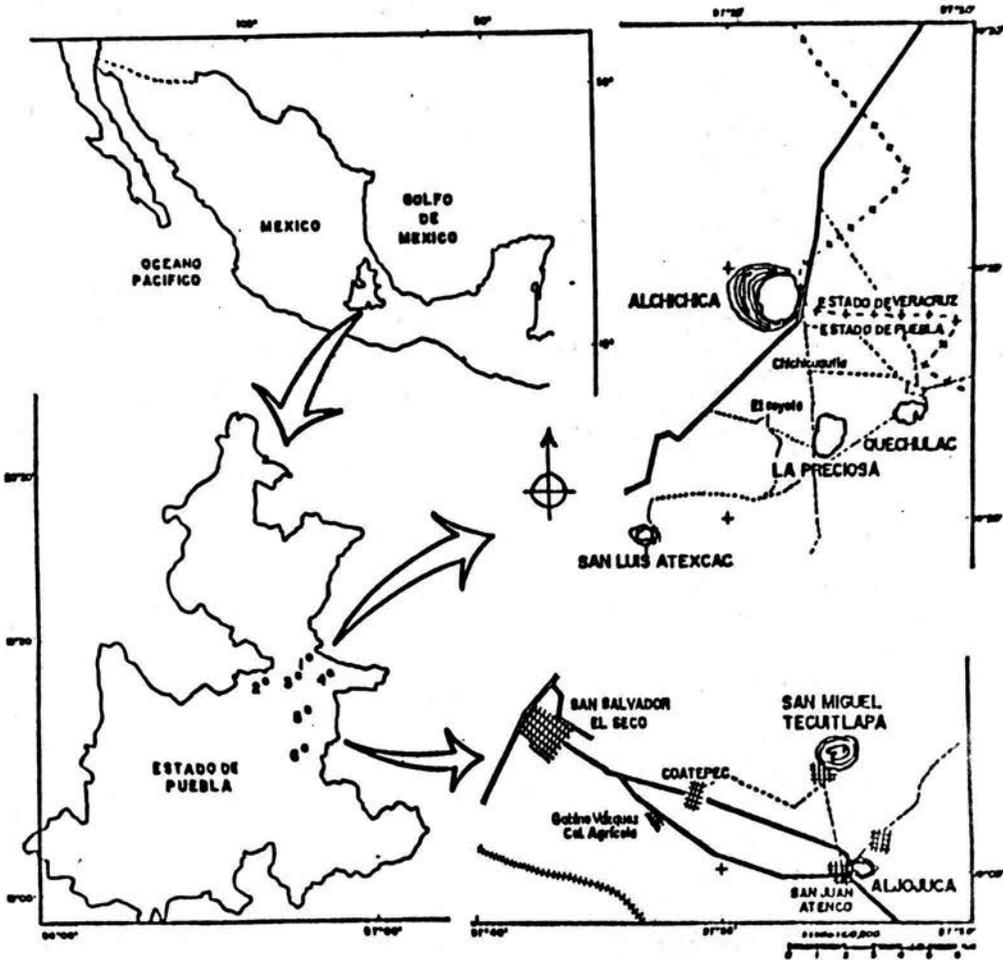
¹ También conocida como "Región de los Llanos" (Alvarez, 1950), dividida en 2 regiones: la de los "Llanos de San Juan" y la de los "Llanos de San Andrés" (Guerra, 1986).

² Una cuenca endorreica es aquella en la que los escurrrrimientos del agua captada por precipitación pluvial no salen directamente al mar, sino que se acumulan en las partes bajas de la misma y/o en el manto freático.



Mapa que ilustra la ubicación de la llamada "Cuenca de Oriental". Tomado y modificado de Reyes y Cortés (1979).

LAMINA No 02



Mapa que muestra la localización de los lagos-cráter dentro de la República Mexicana, así como la ubicación de los mismos en dos grupos: el de Tehachalco al noreste y el de Aljojuca al sur. Tomado de Arredondo et.al. (1983).

Según Arredondo et al. (1983), las principales características morfométricas para cada lago son (láminas 3,4 y 5):

Alchichica, de forma circular, posee el mayor volumen y área, con una longitud máxima de 1733 m en dirección SE-NO. Sus paredes son muy inclinadas y la profundidad aumenta con gran rapidez al alejarse de la orilla, presentando una plataforma a los 60 m de profundidad.

La Preciosa ocupa el segundo lugar en área superficial y volumen. Su forma es triangular, la longitud máxima es de 1344 m en dirección SE-NO y alcanza unos 45 m de profundidad.

Quechulac es el tercero en área superficial y el cuarto en volumen. Su forma es de elipse y su longitud máxima es de 983 m, con una profundidad de 40 m.

Atexcac es el quinto en cuanto a área y volumen. Tiene forma semejante a una elipse, su longitud máxima es de 780 m y su profundidad mayor de 39 m. Presenta pendientes moderadas que forman pequeñas playas al NO. y SE., y en dirección opuesta presenta paredes muy inclinadas.

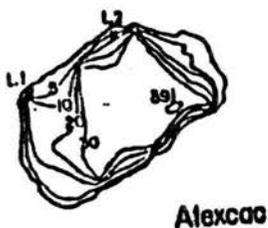
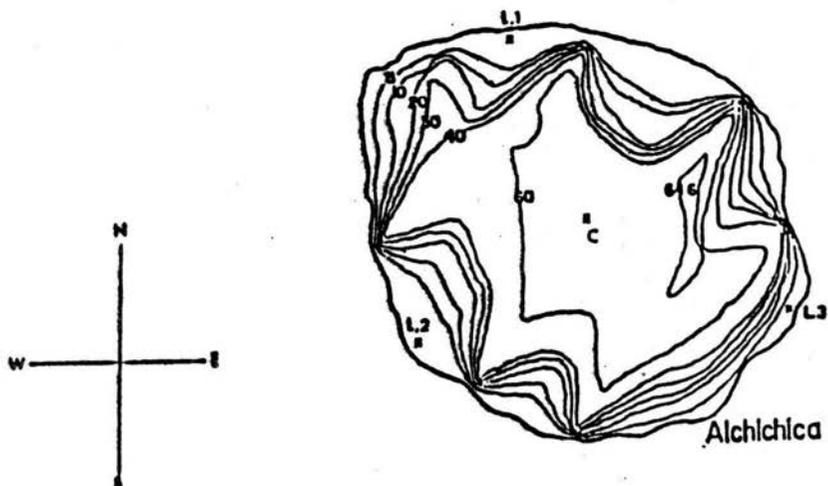
Aljojuca es el cuarto en área y el tercero en volumen, con una longitud máxima de 871 m y una profundidad cercana a los 50 m.

Tecuitlapa es el que presenta menor área superficial y volumen. Tiene forma irregular, su máxima longitud es de 750 m y su máxima profundidad es de 2.5 m. Presenta dos pequeños charcos aislados al norte y al este del lago principal que son remanentes del antiguo lago

CLIMA.

De acuerdo con Gasca (1981), la Cuenca de Oriental presenta dos tipos principales de clima, que corresponden a los subgrupos templado-húmedo (C) y seco-estepario (B) de la clasificación de Köppen, modificada por García (1964).

El tipo templado-húmedo se caracteriza por presentar temperaturas, en el mes más frío, entre 3° y 18° C, siendo en el

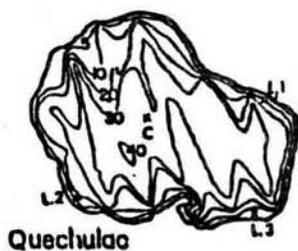
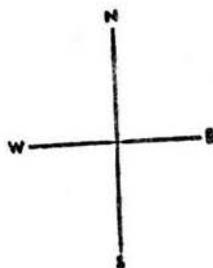


escala :

ESCALA : 1 : 20,000



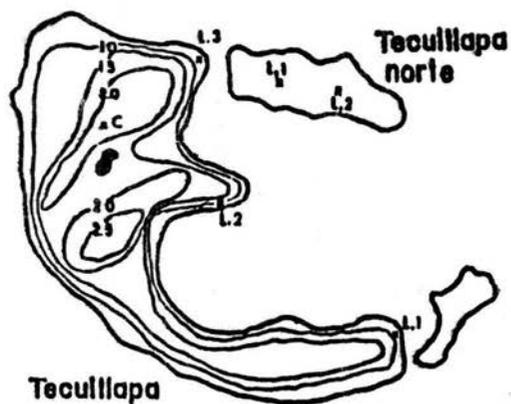
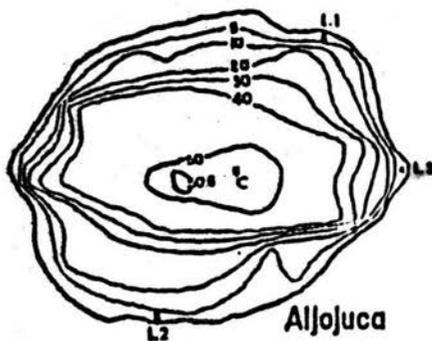
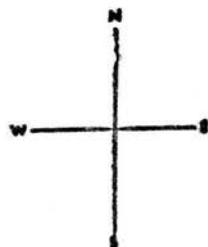
Mapas batimétricos de los lagos-cráter Alchichica y Atexcac en los que se marcan las estaciones de muestreo Litorales (L) y de columna (C). Tomado y modificado de Arredondo et.al. (1983).



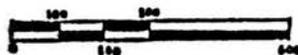
ESCALA: 1:19.500



Mapas batimétricos de los lagos-cráter La Preciosa y Quechulac en los que se marcan las estaciones de muestreo Litorales (L) y de columna (C). Tomado y modificado de Arredondo et al. (1983).



ESCALA 1 : 12,000



Mapas batimétricos de los lagos-cráter Aljojuca y Tecuillapa en los que se marcan las estaciones de muestreo Litorales (L) y de columna (C). Tomado y modificado de Arredondo et.al. (1983).

mes más caliente mayor de 6.5° C. Dicho tipo se presenta en el límite este de la Cuenca formado por la sierra que se encuentra entre los volcanes Pico de Orizaba y Cofre de Perote, misma que funciona como una barrera natural que detiene los vientos húmedos provenientes del Golfo de México, provocando lluvias de convección en la planicie costera.

Hacia el interior de la Cuenca existe una falta de humedad, correspondiendo el clima al tipo seco-estepario (Gasca, 1981).

El único lago con datos climatológicos *in situ* (de 10 años) es Alchichica, donde se presenta un marcado déficit de agua debido a que los valores de precipitación son muy inferiores a los de evaporación. La precipitación es estacional, alcanzando su nivel máximo en junio con 90 mm, mes en el que la evaporación es mayor que 130 mm, en promedio. En esta zona la temperatura varía desde -5° hasta 27°C, siendo de diciembre a marzo la época más fría y de abril a junio la más cálida (Arredondo et al., 1984).

FLORA.

La vegetación de la Cuenca es muy diversa, varía con la altitud, el clima y humedad de cada región. En las altas montañas existen los zacatonales, más abajo se localizan los bosques de pino y aun más abajo encinos. En la parte central de la Cuenca, en los alrededores de los lagos-cráter, se presentan las monocotiledóneas arborescentes - Yuca filifera y Yuca elephantipes - en gran cantidad, localizándose algunos ejemplares de Juniperus dippeana. Al borde de los espejos de agua, permanentes y temporales, se desarrollan halófitas (Gasca, *op.cit.*).

En cuanto a la flora de los lagos-cráter, Alvarez (1950) menciona que Alchichica y Quechulac carecen de vegetación sumergida o emergente; que en La Preciosa y Quechulac se presenta una faja de tulares a unos 3-5 m de la orilla (Taylor, 1943) y que en Aljojuca y Tecuítlapa existen hidrófitas emergentes, cercanas a la orilla. Por otra parte, Ramirez-García y Novelo (1984) reportan que la vegetación vascular de los lagos-cráter está formada por 14 especies de angiospermas, pertenecientes a 13 géneros y 9 familias, siendo las más importantes -por su distribución y abundancia- para cada lago las que siguen:

En Aljojuca Potamogeton pectinatus (hidrófita sumergida) y Iypha domingensis; en Tecuitlapa Eleocharis montevidensis, Juncus andicola y Juncus mexicana; en Atéxcac Phragmites australis y Cyperus laevigatus; en La Preciosa Scirpus californicus, Potamogeton pectinatus y Juncus andicola; en Quechulac Scirpus californicus y Potamogeton pectinatus, y en Alchichica Ruppia maritima (pasto marino) y Cyperus laevigatus, ambas plantas halófitas. Con relación al fitoplancton Arredondo et al. (1984) reporta para Alchichica, 14 géneros de crisofitas, 5 de cianofitas y 4 de clorofitas. Por su parte Piña (1984) reporta para Aljojuca 7 especies de cianofitas, una euglenofita, 2 de pirrofitas, 30 de crisofitas y 16 de clorofitas, siendo Anacystis cysena la especie dominante; para La Preciosa 10 especies de cianofitas, 4 de pirrofitas, 27 de crisofitas y 16 de clorofitas y como especies dominantes Peridiniopsis borgei y Synedra acus var. radians, y para Quechulac reporta 13 especies de cianofitas, 1 de euglenofita, 5 de pirrofitas, 20 de crisofitas y 23 de clorofitas, siendo las especies dominantes Ceratium hirudinella, Peridiniopsis elpatiewski, Synedra acus y, en menor proporción, Mougeotia sp.

FAUNA.

Se conoce poco de la fauna terrestre de la Cuenca, pero sí se sabe que en los lagos cráter se encuentran representadas 3 familias de peces: La familia Cyprinidae con Cyprinus carpio y Carassius auratus presentes en Aljojuca y Tecuitlapa; la familia Poeciliidae con Pseudoxiphophorus bisaculatus en Aljojuca y Pseudoxiphophorus bisaculatus ionessi en Tecuitlapa (especie y subespecie endémicas), y la familia Atherinidae representada por Poblana alchichica alchichica (especie endémica de Alchichica), Poblana alchichica squamata (subespecie endémica de Quechulac) y Poblana letholepis (especie cuya localidad típica es la laguna La Preciosa) (de Buen, 1945). Además Taylor (1943) reporta la especie Ambystoma subsalsum que es una salamandra endémica de Alchichica, adaptada a sus aguas salobres.

MATERIAL Y METODOS.

i) MUESTREO.

Durante el ciclo anual 1988-1989 se muestreó trimestralmente cada uno de los siete cuerpos de agua de origen volcánico, ubicados en la "Región de los Llanos", Estado de Puebla. Cada muestreo representó una estación del año: primavera, verano, otoño e invierno. En cada mes se muestrearon 2 de ellos en el siguiente orden: Alchichica y Atexcac en abril, julio y octubre de 1988 y febrero de 1989, realizando un segundo muestreo de primavera en mayo de 1989; La Preciosa y Quechulac en mayo, agosto y diciembre de 1988 y marzo de 1989, y Aljojuca y Tecuitlapa¹ en junio y septiembre de 1988 y enero y abril de 1989.

En cada lago se establecieron 4 estaciones, 3 litorales escogidas de acuerdo con un criterio de máxima diversificación, y una limnética o de columna, en la zona más profunda (que corresponde casi al centro de cada espejo de agua), donde se tomaron muestras a 0 m, 5 m, 10 m y, progresivamente, cada 10 m hasta el fondo de cada lago² (láminas 3,4 y 5).

ii) ANALISIS FISICO-QUIMICO.

Los descriptores que se evaluaron *in situ* en cada estación fueron los siguientes:

- Perfil de temperatura, empleando un termistor con cable de 30 m. Se tomó la temperatura a 0 m, 5 m, 10 m, 20 m y 30 m y, posteriormente, las mediciones se hicieron cada 10 m con un termómetro de mercurio y precisión numérica de 0.5°C. En las estaciones litorales sólo se midió la temperatura en superficie.

¹ Junto con Tecuitlapa se muestreó el charco permanente, reminiscencia del antiguo lago, que ya he mencionado y que se denominó como Tecuitlapa-Norte (lámina No 5).

² A excepción de Atexcac, donde sólo se establecieron 2 estaciones litorales debido al difícil acceso hacia el lago, y de Tecuitlapa, donde -a causa de la poca profundidad en la estación limnética y de la variación anual de la profundidad en la misma- se muestreó a 0 m, nivel medio y fondo, y de Tecuitlapa-Norte, donde se establecieron únicamente 2 estaciones limnéticas subsuperficiales debido a su escasa profundidad (inferior a 50 cm).

- Transparencia, directamente con un disco de Secchi de 30 cm de diámetro.

- Oxígeno Disuelto (O.D.), con un oxímetro marca YSI modelo B-51, de 0 a 15 mg/l. La exactitud se determinó repitiendo el análisis en una muestra litoral, empleando el método de Winkler modificado.

- pH, con un potenciómetro marca Digi-sense de Cole Parmer, modelo 5985-00.

Para los parámetros que se determinaron en el laboratorio fue necesario tomar muestras de agua (en las estaciones y niveles antes citados), y preservarlas con las técnicas propuestas por Estrada et al. (1975) y Greenberg et al. (1985), como sigue:

- Una muestra de 3 litros (en garrafones de plástico) agregando 1 ml de cloroformo /l de muestra, para determinar Nitrógeno como Nitratos ($N-NO_3^-$) y como Nitritos ($N-NO_2^-$).

- Una muestra de 2 litros (en garrafones de plástico) mantenida en condiciones de hielo y oscuridad, para determinar Clorofilas, Demanda Bioquímica de Oxígeno al quinto día (D.B.O.₅) y Oxidabilidad o Valor al Permanganato (V.P.) en medio alcalino.

- Una muestra de 2 litros (en garrafones de plástico) reduciéndole el pH hasta un valor menor a 2 con H_2SO_4 concentrado, para cuantificar Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.) y V.P. por el método ácido.

- Una muestra de 300 ml (en una botella de cristal con tapón de rosca, lavada con extrán sin fósforo y enjuagada con HCl diluido), agregando 0.1 ml de cloroformo / 100 ml de muestra, para determinar Fósforo como Ortofosfatos ($P-PO_4^{3-}$).

Para tomar las muestras de agua de los niveles profundos se empleó una botella Niskin de 5 litros y/o una botella Van Dorn de 2.5 litros de capacidad.

Una vez en el laboratorio, se realizó el análisis de los siguientes parámetros:

Tróficos:

-Ortofosfatos ($P-PO_4^{3-}$) según el método n.º 417 del Standard Methods (Greenberg et al., op.cit.) de digestión con cloruro estanoico (de mayo a julio de 1988) y por el método A.D.515 del A.S.T.M. (1989), por digestión preliminar con persulfato de amonio y digestión con ácido ascórbico (de agosto de 1988 a mayo de 1989).

-Nitrógeno como Nitratos ($N-NO_3^-$) según el método 418.C. del A.S.T.M. (op.cit.) ,por reducción con columna de cadmio.

-Nitrógeno como Nitritos ($N-NO_2^-$) según el método n.º 380 del

- Standard Methods (Greenberg et al., 1985.), por Diazotización.
- Clorofilas por el método 7.8.2. según Golterman et al. (1978) y Estrada et al. (1975) modificada (Vilaclara, com.pers., véase apéndice 1), con metanol como extractor.
 - Índice de Margalef por la fórmula $IM = D_{430}/D_{665}$ (Margalef, 1974 y 1983).
 - Índice de feopigmentos con la fórmula $IF = D_{665} - D_{675}$ (Margalef, op.cita.).

Saprobios:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno al quinto día (D.B.O.₅) según el método n.º 507, por dilución, del Standard Methods (Greenberg et al., op.cit.).
- Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.) por el método D.1252-88 del A.S.T.M. (1989), por reflujo con dicromato de potasio. Los blancos se modificaron de manera que contuvieran la misma cantidad de cloruros detectada en cada lago y así eliminar su interferencia.
- Valor al Permanganato (V.P.) por los métodos ácido y alcalino a ebullición, según Degrémont (1973) y Rodier (1981) (ver apéndice 2). Los blancos se modificaron de la misma forma que para la DQO.

iii) ANALISIS MATEMATICO.

Para analizar los datos se buscó una herramienta estadística del tipo multivariado que presentase la capacidad de discernir cuáles son las variables más importantes -que establezcan agrupamientos o diferencias notables-, y con base en ellas poder fundamentar la tipificación de cada cuerpo de agua, para posteriormente determinar su posición dentro de una clasificación saprotrófica.

El análisis escogido fue el denominado de "Componentes Principales". Dicho análisis proporciona una ordenación en forma descendente respecto de la variabilidad de una serie de "componentes", resultado de la asociación de cada uno de los parámetros o variables medidas con el resto de las mismas, de manera que descubre aquellos que presentan un mayor peso explicativo de la variabilidad (Pla, 1986).

Para el manejo de los datos se empleó una computadora personal marca Printform modelo 5640. Para la base de datos el programa Lotus 123 versión 2.0 (1985). El análisis estadístico se hizo con el programa Statgraphics versión 2.1 (1985) y para la elaboración de gráficas el programa Harvar Graphics versión 2.12 (1987).

RESULTADOS Y DISCUSION.

CLINAS DE OXIGENO Y TEMPERATURA.

Alchichica presentó solamente un periodo de circulación durante la época fría, registrándose una termoclina de superficie¹ en primavera y verano. En cuanto a las oxiclina, éstas también ocurrieron durante todo el año, agotando total o casi totalmente el oxígeno en el fondo, a excepción del invierno, en que se registraron 6.5 mg OD/l en el fondo (gráficas 01 y 02).

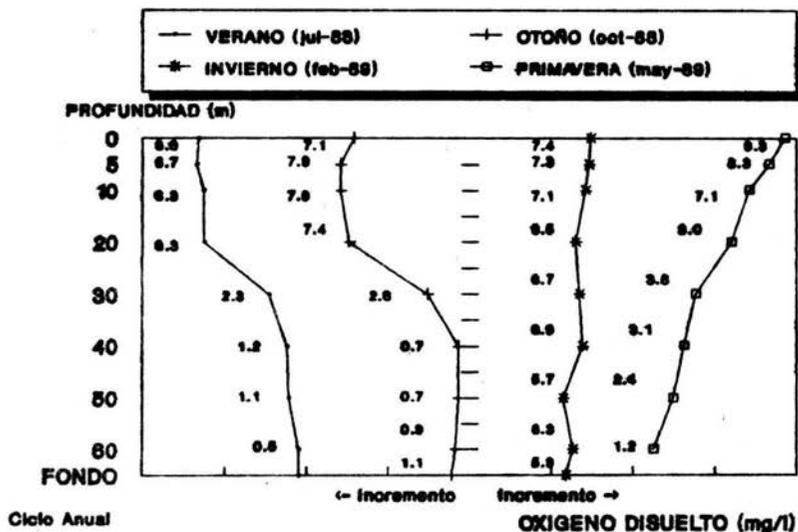
Así mismo, puede observarse toda una secuencia en el establecimiento y desarrollo de la oxiclina, la cual ya se encuentra perfectamente formada en el verano y se hace mucho más marcada en el otoño -presentando una diferencia de 6.7 mg de OD/l, entre el hipo y el epilimnion-, para desaparecer en el invierno por completo y comenzar a reestablecerse en primavera, época en la que la diferencia de O.D. dentro del mesolimnion es de tan sólo 2.9 mg/l.

De lo anterior se deduce que parece existir una relación entre el establecimiento de las termoclinas (que se da entre la superficie y los 40 m de profundidad) y las oxiclina (que ocurren entre los 20 y 30 m) para este lago. Sin embargo, esta relación no es de tipo directo, pues la termoclina que presenta mayor diferencia en grados centígrados corresponde a la oxiclina menos marcada y viceversa. Esta relación puede explicarse si consideramos que, en un inicio, para que la termoclina se forme es necesaria una energía considerable, la cual se consigue precisamente con una diferencia mayor de temperatura, que es dada por el calentamiento de las capas de agua más superficiales, y que permite formar un gradiente de densidades; éste, a su vez, impide la circulación o mezcla entre las distintas capas de agua y, por ende, no permite recargar el oxígeno del fondo, el cual se agota paulatinamente -pues sus fuentes de abastecimiento se localizan en la porción más superficial-. Por todo ello, al registrarse la mayor diferencia de temperatura en columna se establece la termoclina y comienza a

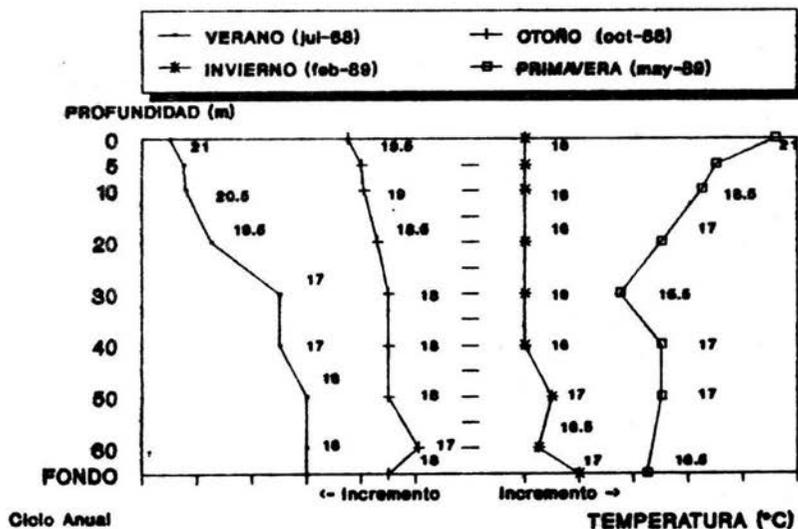
¹ Los distintos tipos de termoclina se determinaron según la clasificación que presenta Chávez (1975).

GRAFICA 01 ALCHICHICA Oxígeno Disuelto

22



GRAFICA 02 ALCHICHICA Temperatura



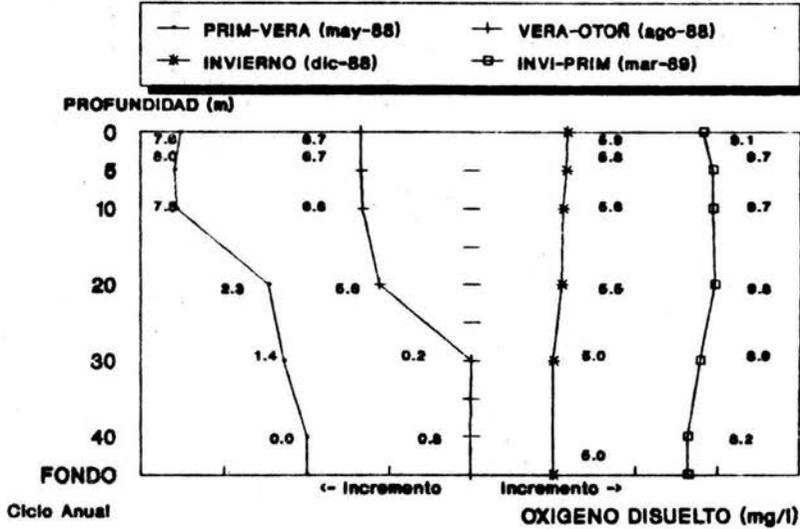
consumirse el oxígeno del fondo sin ser repuesto y, por lo tanto, se inicia la formación de la oxiclina. Así pues, ocurre que la diferencia de temperatura en columna debe ser mayor al iniciarse el comportamiento clinogrado y, a medida que transcurre el tiempo, se va haciendo menor, al contrario de lo que ocurre con el oxígeno, pues la diferencia al inicio es poca y se va incrementando hasta llegar a un máximo que tiene lugar justo antes de la siguiente época de mezcla, donde desaparece la oxiclina.

En La Preciosa y Quechulac, a consecuencia de la huelga laboral de la UNAM -en noviembre de 1988-, no se realizó el muestreo programado para ese mes, quedando desfasado el seguimiento estacional como sigue: primavera-verano (28-mayo-1988); verano-otoño (20-agosto-88); invierno (10-dic-88) e invierno-primavera (20-mar-89). Sin embargo, se puede apreciar (en las gráficas 03 a la 06) que se presentaron clinas de temperatura y oxígeno de primavera a otoño y un comportamiento ortogrado en la época fría, de invierno a principios de primavera.

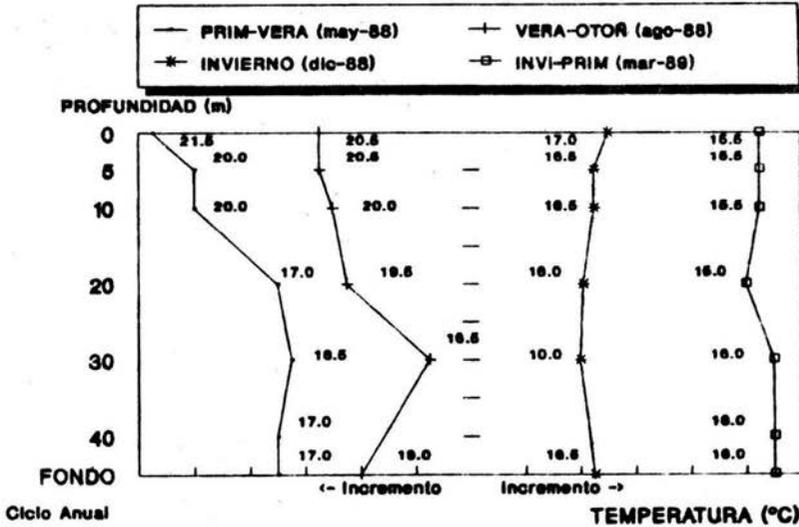
Para La Preciosa se observa la termoclina más marcada en primavera-verano, así como una oxiclina pronunciada entre los 10 y 20 mts de profundidad. En verano-otoño la termoclina parece comenzar a desvanecerse, siendo enviada hacia el fondo del sistema debido posiblemente a los vientos y a la disminución de la temperatura en la superficie, lo cual se refleja también en la oxiclina, pues aun cuando la diferencia de OD entre el hipo y el epilimnion es la misma que para primavera-verano (5.5 mg/l)- el gradiente ocurre 10 m más abajo, entre los 20 y 30 m. Para el invierno, la temperatura desciende y se hace homogénea, existiendo sólo 0.5 ° C de diferencia entre la superficie y el fondo. La oxiclina desaparece, registrándose desde los 0 m hasta el fondo una concentración entre los 5.9 y 5.0 mg de OD/l. En invierno-primavera se observa una disminución de temperatura en la superficie y aun cuando la diferencia de 0.5 ° C se mantiene la temperatura es mayor en el fondo que en superficie. En cuanto al OD, su concentración aumenta en toda la columna presentando los valores más altos de todo el ciclo (de 9.1 a 8.2 mg de OD/l).

En Quechulac, las termoclinas que se presentan en primavera-verano y verano-otoño son del tipo llamado subtermoclina (Chávez, 1975), presentando una disminución continua hasta el fondo, suave al principio y más brusca al final. La mayor diferencia térmica se registró en primavera-verano entre los 20 y 30 m. Este tipo tan particular de termoclina induce

GRAFICA 03 LA PRECIOSA Oxígeno Disuelto

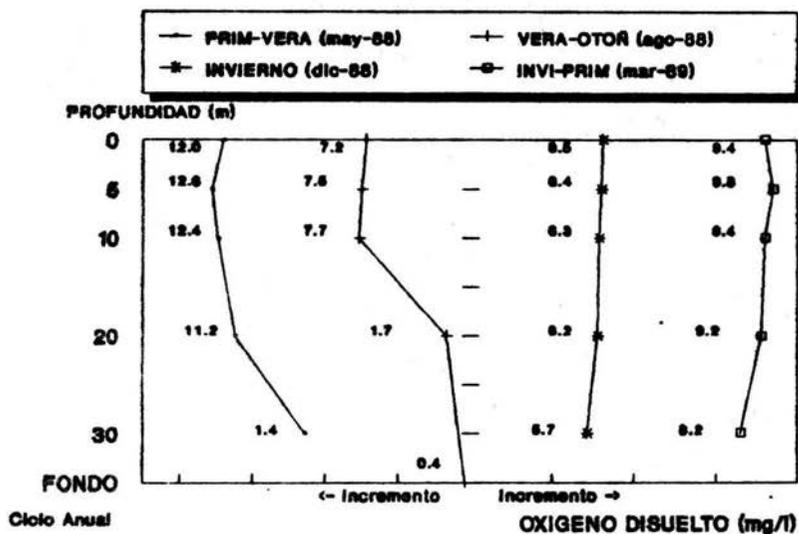


GRAFICA 04 LA PRECIOSA Temperatura

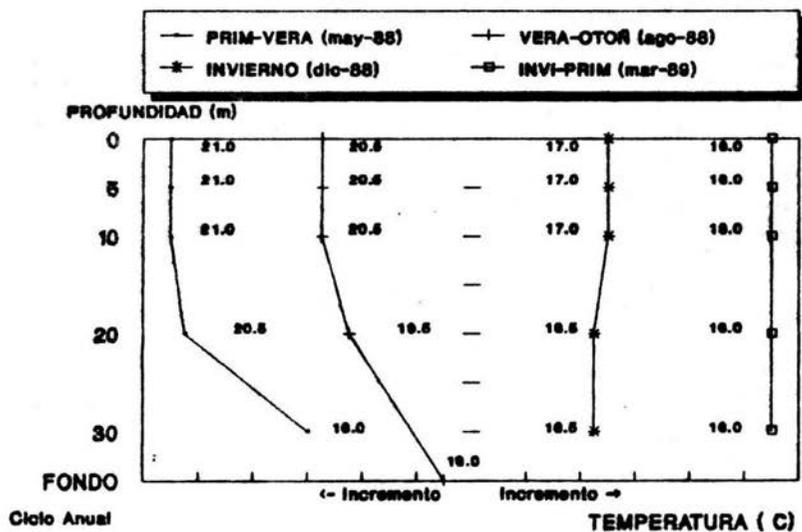


GRAFICA 05 QUECHULAC Oxígeno Disuelto

25



GRAFICA 06 QUECHULAC Temperatura



la formación de oxiclina atípicas, que -por analogía con la clasificación de Chávez (1975)- podrían llamarse epioxiclinas, y que experimentan una disminución continua de OD hasta el fondo, a partir de una cierta profundidad cercana a la superficie. Para el periodo primavera-verano, la zona con la disminución más marcada (rápida) de OD se localiza entre los 20 y 30 m, en tanto que para verano-otoño se localiza entre los 10 y 20 m; ello nos indica que el oxígeno comienza por agotarse en el fondo y posteriormente se consume el de las capas superiores.

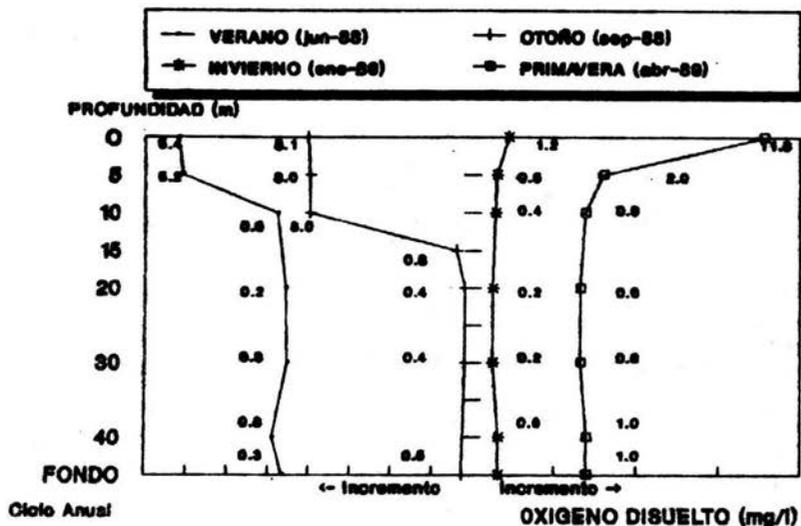
Aljojuca registró, así mismo, un periodo de mezcla en invierno, estación en la que se presentó una temperatura uniforme de los 5 m hasta el fondo y una pequeña termoclina en superficie de apenas 1.5°C de diferencia (gráf. 08). En primavera y verano ocurrieron termoclinas de superficie que se caracterizan por una disminución de la temperatura de la superficie hasta una cierta profundidad, donde se estabiliza y permanece casi constante hasta el fondo. La termoclina con mayor gradiente térmico se presentó en otoño entre la superficie y los 20 m (con una diferencia de 5.5° C), misma que se podría considerar como una doble termoclina (Chávez, *op.cit.*) ya que presenta una diferencia de 1.5° C entre la superficie y los 5m, permaneciendo constante la temperatura hasta los 10 m para posteriormente perder otros 4° C entre los 10 y 20 m de profundidad.

En cuanto a las oxiclina, éstas se presentaron durante todo el año con excepción del invierno (gráf. 07). Una oxiclina atípica ocurrió en primavera y, también por analogía con el tipo de termoclina con que se relaciona (Chávez, *op.cit.*), podría denominarse como oxiclina de superficie. Se caracteriza por una disminución gradual del OD de la superficie hasta una profundidad determinada, a partir de la cual permanece casi sin cambios, porque se ha agotado. En verano y otoño se presentaron oxiclina típicas, siendo la de otoño la más acusada, y en invierno la oxiclina desaparece completamente; sin embargo, las concentraciones de OD permanecen muy cercanas a cero en toda la columna a consecuencia de la ya mencionada "enfermedad"² del lago

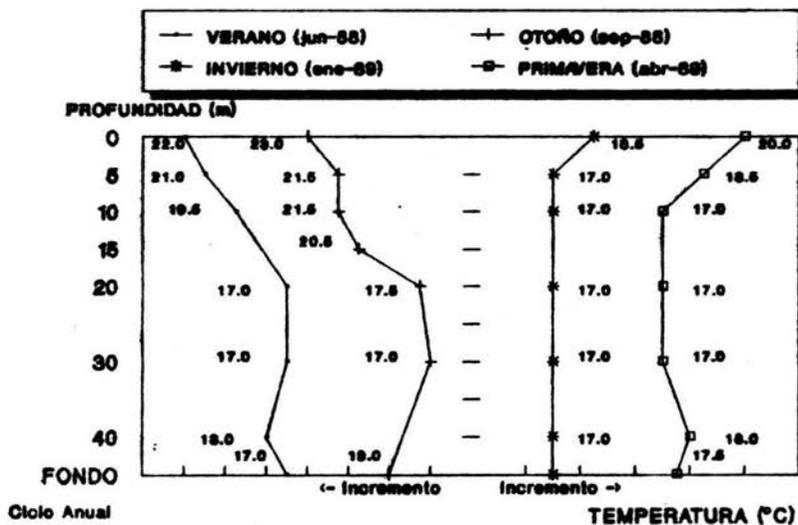
² Se cree que el lago se encontró enfermo debido posiblemente a una difusión de H₂S (ác. sulfhídrico) volcánico, proveniente del fondo, ya que el agua de todos los niveles -excepto el superficial- presentaba un olor característico a huevos podridos. Además, el agotamiento de oxígeno no se puede atribuir a un exceso de productividad inmediato anterior, porque los niveles de Clorofila "a" y de feopigmentos son bajos y, en cambio, se presentan elevados niveles de Nitratos (.01-.03 mg/l) y Ortofosfatos (.500-1.600 mg/l), que son las formas asimilables para los organismos autótrofos (gráf. 09).

GRAFICA 07 ALJOJUCA Oxígeno Disuelto

27



GRAFICA 08 ALJOJUCA Temperatura



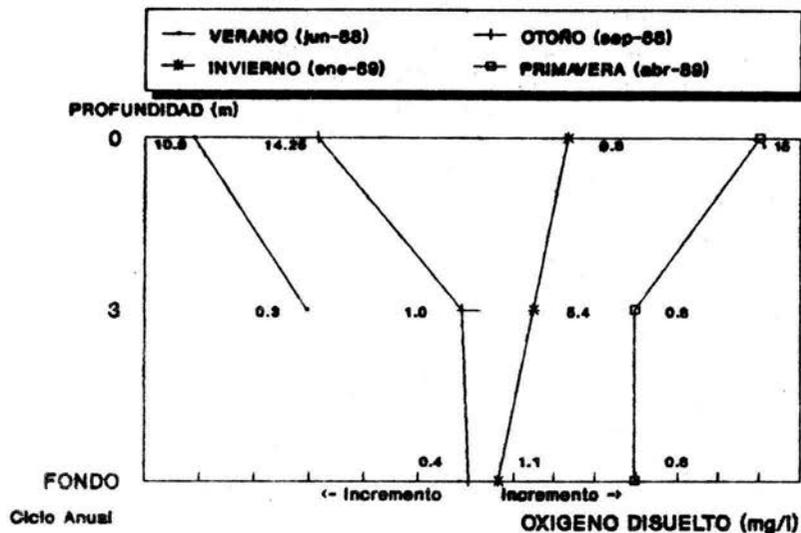
por ácido sulfhídrico.

Tecuitlapa presentó termoclinas de superficie durante todo el ciclo anual, incluido el invierno; sin embargo, en este último, la diferencia térmica entre la superficie y el fondo es de tan sólo 0.5°C aproximadamente. También se registraron oxiclinas durante todo el año; no obstante, la oxiclina de invierno no presenta relación con la débil termoclina, pues el agotamiento del OD es continuo de la superficie al fondo (grafs.09 y 10), debido más bien a una muy elevada productividad -que como se verá más adelante, es estimada entre 150 y $250 \mu\text{g/l}$ de clorofila "a" (gráf.30)-, ya que existe una mayor disponibilidad de nutrimentos a consecuencia de la débil termoclina, prácticamente inexistente.

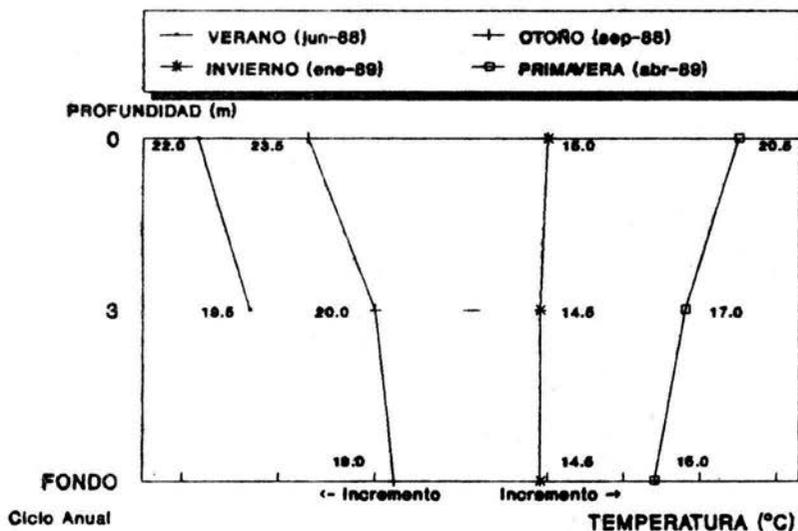
Como puede observarse, todos los lagos-cráter revisados anteriormente presentaron solamente un periodo de mezcla en la época más fría; esto, aunado al hecho de que su temperatura superficial siempre fue mayor de 4°C , nos permite situarlos como lagos monomicticos templados según la clasificación propuesta por Wetzel (1975), quien sugiere precisamente que los lagos subtropicales pueden quedar dentro de este tipo.

GRAFICA 09 TECUITLAPA Oxígeno Disuelto

29



GRAFICA 10 TECUITLAPA Temperatura



PERFILES DE PARAMETROS TROFICOS.

NUTRIMENTOS Y CLOROFILAS.

Se conoce que el comportamiento de los perfiles de clorofila "a" (chl "a") en la columna de agua ofrece información sobre los procesos fundamentales que determinan la estructura vertical del ecosistema planctónico, especialmente en los aspectos trófico-dinámicos (Cullen y Eppley, 1981; Cullen, 1982 y Cullen *et al.*, 1983), siendo también particularmente importantes la nitra y nitriclina, fosfoclina, termoclina y oxiclina (Cullen *et al.*, *op.cit.*; Margalef, 1983). Estas clinas se graficaron, obteniéndose los siguientes resultados:

Con base en los perfiles de clorofila "a" se determinó que las columnas de los lagos-cráter oscilan de oligotróficas (La Preciosa, inferior a 5 $\mu\text{g/l}$) a eutróficas (Tecuitlapa, superior a 50 $\mu\text{g/l}$), pasando por meso-eutrófico (Quechulac, 5 a 55 $\mu\text{g/l}$, y Aljojuca, inferior a 5 hasta más de 30 $\mu\text{g/l}$), o bien típicamente mesotrófica (Alchichica, inferior a 5 hasta 15 $\mu\text{g/l}$) (Sládecek, 1978 ; Margalef, *op.cit.*) (tabla 01).

Alchichica presentó generalmente bajas concentraciones de clorofila "a" (menores de 6 $\mu\text{g/l}$), registrando sus máximos entre 30 y 40 m de profundidad, a excepción del invierno, época en la que alcanzó valores entre 12 y 15 $\mu\text{g/l}$ desde los 5 m hasta el fondo, prácticamente no existiendo un pico de clorofila "a" (gráficas 11 a la 14).

Así mismo, se observó que las nitriclinas parecen estar más o menos asociadas con los picos de clorofila "a" durante los meses de estratificación térmica -abril, julio y octubre de 1988-, desapareciendo los nitratos casi por completo en la época de mezcla -febrero de 1989- (gráfs. 01 y 14).

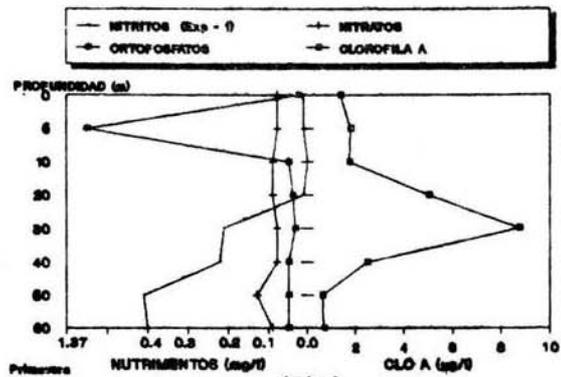
En mayo de 1989 se presentó un florecimiento algal, registrándose concentraciones de clorofila "a" mayores que 30 $\mu\text{g/l}$ en superficie y a 40 m; ello se asoció con un agotamiento de nitratos y nitratos en toda la columna de agua (gráf. 15). Este fenómeno puede ser explicado ya que Reynolds & Walsby (1975; en Marshall, 1987) mencionan que los florecimientos se componen generalmente de algas cianofitas de los géneros *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, o *Gloeotrichia*. Para

TABLA 01

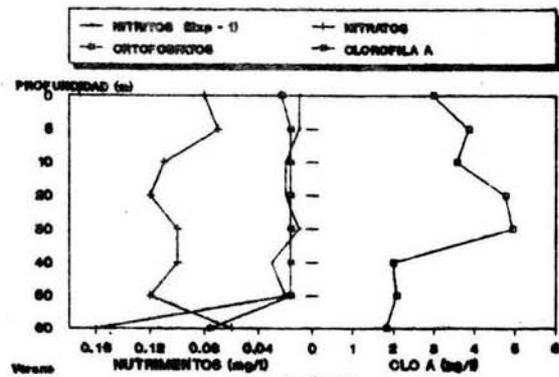
VALORES PROMEDIO + - DESVIACION ESTANDAR DE LOS PARAMETROS MEDIDOS EN LA COLUMNA Y ZONA LITORAL DE CADA LAGO.

	OXIGENO	TSAT	(N-NO2)	(N-NO3)	(P-PO4)	NO3/PO4	(DOO)	(DBO5)	pH	TEMPER	Clo ^a	Clo ^b	Clo ^c +c2	IN FE/V	IN NADG
ALCHICHICA															
COLUMNA	4.9	69	0.005	0.038	0.087	1.5	412	1.7	9.0	17.5	6	1	1	2.6	3.5
+ - DS	2.6	37	0.010	0.045	0.203	2.3	230	0.9	0.1	2.0	6	1	1	0.8	1.0
LITORAL	7.7	117	0.001	0.061	0.044	2.3	355	4.4	9.0	21.0	37	1	6	2.6	3.6
+ - DS	2.1	36	0.001	0.078	0.021	3.3	158	0.6	0.1	2.5	81	1	12	0.6	1.2
PROMEDIO	5.7	83	0.004	0.044	0.076	1.7	397	2.4	9.0	18.5	14	1	3	2.6	3.6
+ - DS	0.0	0	0.177	2.601	214.278	2.6	39	0.1	0.1	1.0	7	1	1	0.7	1.0
ATEXCAC															
LITORAL	6.9	105	0.003	0.026	0.043	1.2	460	2.4	8.2	21.0	2	1	0	2.4	4.7
+ - DS	0.6	12	0.004	0.027	0.023	0.9	154	1.7	0.1	2.5	1	1	0	0.4	1.0
LA PRECIOSA															
COLUMNA	5.9	83	0.002	0.018	0.042	9.6	37	1.6	8.7	17.5	4	1	1	2.0	5.2
+ - DS	3.0	40	0.002	0.027	0.040	13.9	30	0.6	0.1	2.0	8	2	2	0.7	4.8
LITORAL	9.1	135	0.002	0.012	0.041	3.3	36	1.9	8.8	20.5	6	1	2	2.0	4.0
+ - DS	1.6	26	0.002	0.016	0.041	6.7	23	1.0	0.1	3.0	6	1	1	0.7	2.0
PROMEDIO	7.0	101	0.002	0.016	0.042	7.7	36	1.7	8.7	18.5	5	1	1	2.0	4.8
+ - DS	3.0	44	0.002	0.024	0.040	12.5	28	0.8	0.1	2.5	7	2	2	0.7	4.1
QUECHULAC															
COLUMNA	7.6	108	0.005	0.011	0.031	0.2	31	2.3	8.6	18.0	19	3	4	2.2	3.4
+ - DS	3.4	50	0.010	0.016	0.036	0.5	17	1.0	0.3	2.0	20	4	3	0.6	2.9
LITORAL	9.4	137	0.001	0.019	0.032	1.2	30	2.2	8.8	19.5	20	4	4	2.3	3.0
+ - DS	2.0	32	0.001	0.025	0.038	1.8	21	0.7	0.1	2.5	21	6	3	0.3	1.0
PROMEDIO	8.2	118	0.003	0.014	0.031	0.6	31	2.3	8.7	18.5	19	4	4	2.2	3.3
+ - DS	3.1	47	0.008	0.020	0.037	1.2	18	0.9	0.2	2.5	21	5	3	0.5	2.4
ALJOJUCA															
COLUMNA	2.2	34	0.006	0.029	0.482	0.2	33	2.2	8.9	18.5	9	3	2	1.7	3.0
+ - DS	3.2	48	0.006	0.023	0.339	0.3	37	1.1	0.2	2.0	10	5	2	0.4	1.3
LITORAL	6.9	107	0.002	0.080	0.380	0.4	38	3.2	8.9	21.5	12	2	3	2.1	3.2
+ - DS	3.0	47	0.001	0.131	0.197	0.5	37	1.6	0.2	2.0	12	2	2	0.2	0.8
PROMEDIO	3.6	57	0.005	0.044	0.451	0.2	34	2.5	8.9	19.5	10	3	2	1.8	3.1
+ - DS	3.8	58	0.006	0.078	0.307	0.4	37	1.4	0.2	2.5	11	5	2	0.4	1.2
TBCUITLAPA															
COLUMNA	5.5	81	0.009	0.248	0.226	4.7	128	15.7	8.6	18.0	122	2	19	2.0	2.9
+ - DS	5.8	87	0.012	0.383	0.338	10.8	50	3.7	0.1	3.0	59	1	8	0.2	0.4
LITORAL	12.0	186	0.010	0.178	0.115	1.8	256	18.0	9.7	22.0	97	2	14	1.8	3.1
+ - DS	2.1	35	0.012	0.155	0.077	3.0	363	4.1	0.1	2.0	40	2	8	0.4	0.7
PROMEDIO	8.8	133	0.009	0.213	0.171	3.3	195	16.9	9.7	20.0	109	2	17	1.9	3.0
+ - DS	5.4	84	0.012	0.294	0.251	8.0	272	4.1	0.1	3.5	52	2	9	0.3	0.5
TBC-NTE.															
SUPERFIC.	16.0	237	0.002	0.573	0.782	0.8	2118	76.1	10.5	20.5	1517	65	252	1.5	2.3
+ - DS	0.0	7	0.004	0.457	0.186	0.6	648	54.6	0.3	2.0	255	92	26	0.5	0.3

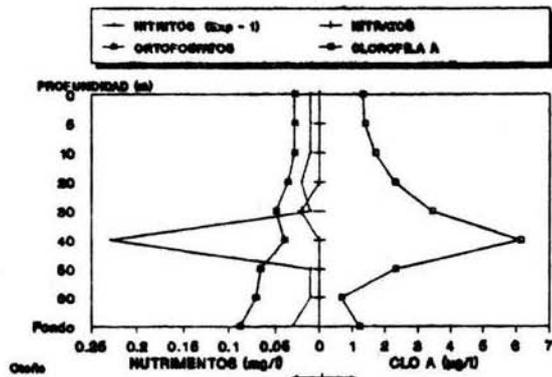
GRAFICA 11 ALCHICHICA ABR-88



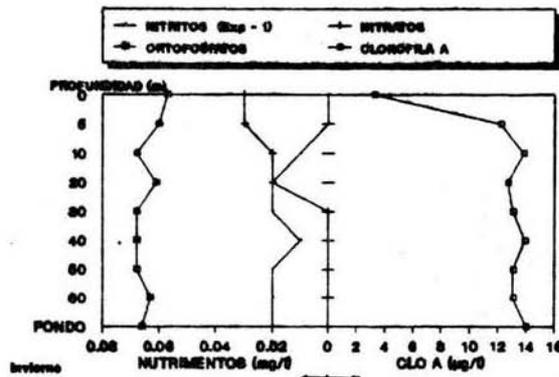
GRAFICA 12 ALCHICHICA JUL-88



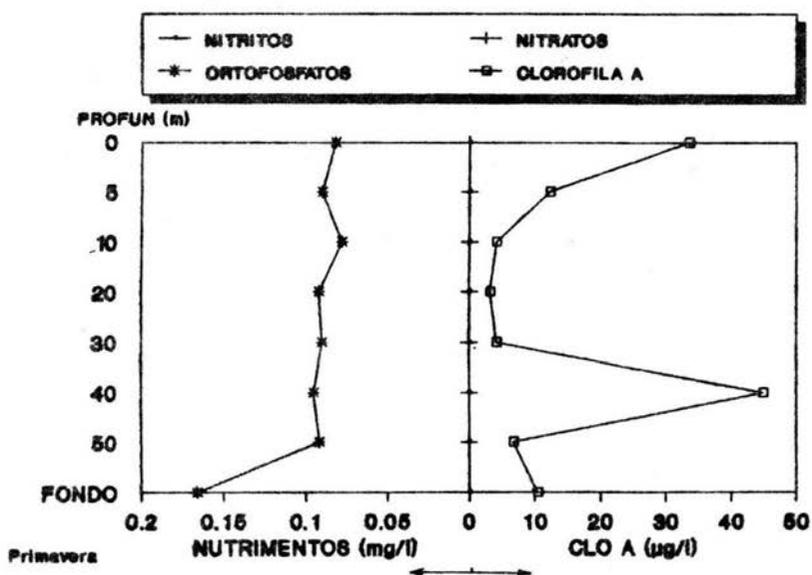
GRAFICA 13 ALCHICHICA OCT-88



GRAFICA 14 ALCHICHICA FEB-89



GRAFICA 15 ALCHICHICA MAY-89



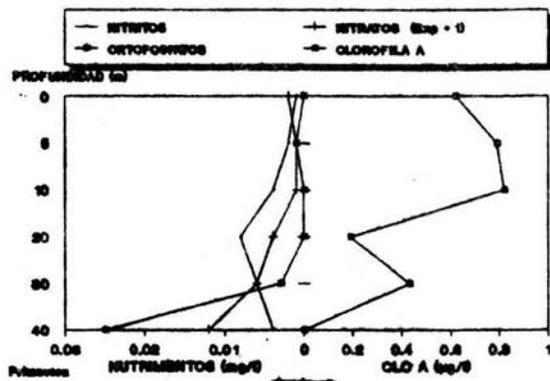
Alchichica se reporta el genero *Nodularia* e incluso en ocasiones se encuentra como sp. dominante (*Vilaclara* com. pers.). Por otra parte, Marshall (1987) menciona que las algas verde-azules propias de los florecimientos prefieren las aguas moderadamente alcalinas, cálidas y ligeramente eutróficas -características que corresponden a las de Alchichica- y que este fenómeno ocurre cuando las poblaciones que se desarrollaron durante varias semanas bajo la superficie emergen repentinamente durante periodos de clima tranquilo².

En cuanto a La Preciosa, este lago presenta la menor productividad primaria de los 6 lagos-cráter -menos de 5 µg/l de clorofila "a", presentando en mayo valores aun inferiores a 1 µg/l en toda la columna-, a excepción de 2 picos muy acusados (13 µg/l y 40 µg/l) y profundos, detectados en diciembre de 1988 y marzo de 1989 (gráfs. 16 a la 19), los cuales podrían ser explicados como una sedimentación por muerte de los organismos a consecuencia de la falta de nutrimentos; esta explicación tiene los siguientes puntos a su favor: el ortofosfato (que no es elemento limitante) se encuentra disponible en cualquier punto, mientras que el nitrógeno como nitratos está prácticamente ausente y los nitritos se presentan sólo en dic-88. Además, a estos puntos corresponden valores bajos del índice de feopigmentos (1.4 y 2.3 respectivamente para el pico de diciembre-88 y el pico de marzo-89) y ello indica que existe un gran % de clorofila detritica y poca clorofila activa (Margalef, 1983) (tabla 01).

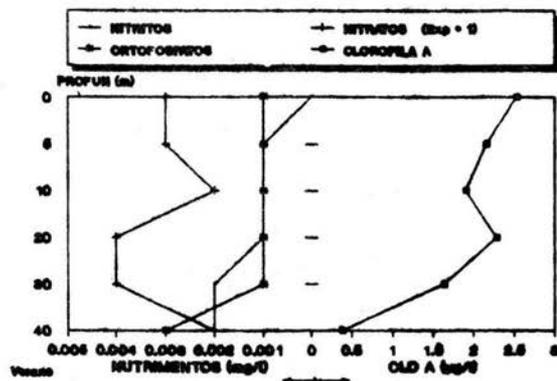
Por otra parte, los ortofosfatos se presentan todo el año, alcanzando sus niveles más elevados (entre .081 y .096 mg/l) en el periodo de mezcla (diciembre-88) y localizando picos en el fondo durante el resto del ciclo (.025 en mayo-88, .003 en agosto-88, .096 en diciembre-88 y .079 mg/l en mayo-89). En cuanto a los nitratos, éstos están presentes por debajo de la zona trofógena durante la época de estratificación y, especialmente, en mayo de 1988 (profundidad de la zona trofógena -calculada según el disco de secchi (Margalef, op.cit. y Feuillade, 1985)- : mayo-88 = 9.2 m, agosto-88 = 12.8 m), para posteriormente estar ausentes. Los nitritos son escasos o indetectables (entre .000 y .002 mg/l), presentando pequeños picos en mayo y diciembre de 1988 (.008 y .005 mg/l respectivamente) (gráfs. 16 y 18).

² El 20 de mayo de 1989, día en que se registró el florecimiento, el clima era muy tranquilo, presentando un cielo limpio con 0% de nubosidad, viento ausente y, por lo tanto, la superficie del lago no presentaba ondulaciones, permaneciendo estática como el agua de una alberca (nota tomada de la bitácora de campo).

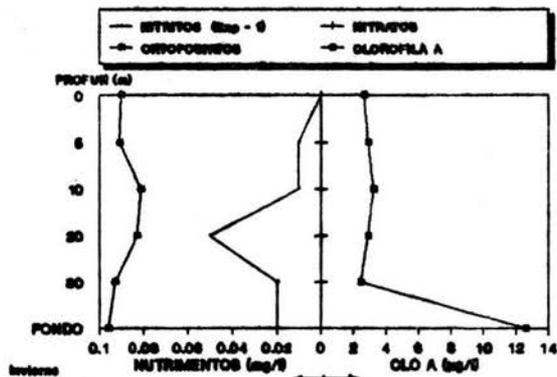
GRAFICA 16 LA PRECIOSA MAY-88



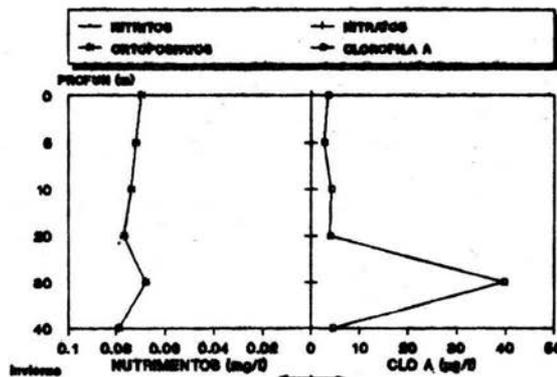
GRAFICA 17 LA PRECIOSA AGO-88



GRAFICA 18 LA PRECIOSA DIC-88



GRAFICA 19 LA PRECIOSA MAR-89

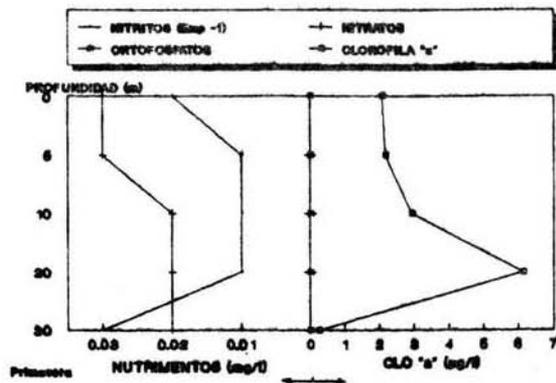


Quechulac tuvo un comportamiento fluctuante desde el punto de vista trófico: oligotrófico en mayo y agosto (2.7 y 4.2 $\mu\text{g/l}$ de clorofila "a") -asociado con estratificación térmica en el fondo-, mesotrófico en diciembre (12 $\mu\text{g/l}$) -asociado con la desaparición de la termoclina- y eutrófico (52 $\mu\text{g/l}$) en marzo -asociado con un periodo de mezcla perfecta que registró exactamente la misma temperatura en la superficie y en el fondo- (gráfs. 20 a 23, 06 y 08). En agosto de 1988 se detecta un pico de nitritos muy acusado (.044 mg/l) a 10 m de profundidad, con un máximo profundo de clorofila "a" (38 $\mu\text{g/l}$) y valores relativamente bajos de ortofosfatos (entre .000 y .008 mg/l), mientras que los nitratos prácticamente no se encuentran presentes, indicando que la característica de oligotrofia procede de un agotamiento de los nutrientes, misma que causó la sedimentación masiva del fitoplancton y el consiguiente agotamiento del oxígeno. En este lago, las nitriclinas no mostraron ningún comportamiento asociado con los picos de clorofilas.

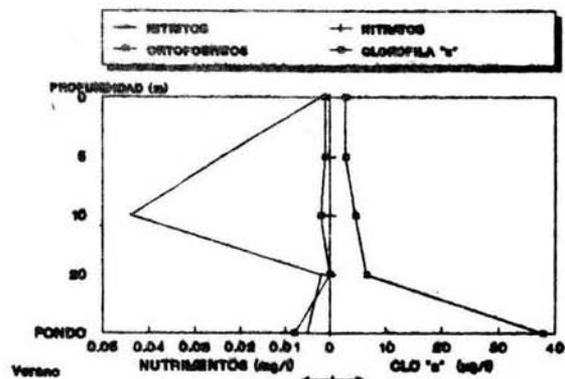
Aljojuca presentó, asimismo, un comportamiento fluctuante, mesotrófico en junio-88 y abril-89 (12 y 14 $\mu\text{g/l}$ respectivamente); se dió una muerte masiva de organismos en enero de 1989 y, en septiembre de 1988 se observa un pico de clorofilas en sedimentación (26 $\mu\text{g/l}$), ligeramente desplazado de la nitraclina, localizada en superficie, y con una nitriclina profunda. La gráfica de abril de 1989 es la más típica con relación al fenómeno que explica Margalef (1983): "cuando el fitoplancton se sedimenta y pasa a capas con poca luz ricas en nitratos, las células los absorben y se inicia su reducción con la escasa energía disponible, que no permite la ulterior reducción de amonio; por ello, el nitrito se excreta al medio" (ver gráfs. 24 a 27). Por otra parte, los picos de clorofila "a" (43 y 26 $\mu\text{g/l}$) presentan una relación directa con los nitritos y una relación inversa con los nitratos en verano y otoño (junio y septiembre de 1988), haciéndose dicha relación menos marcada en invierno (enero-89) y desapareciendo en primavera (abril-89).

En Tecuitlapa, los perfiles de clorofila "a" no parecen asociarse con las nitriclinas, pero sí presentan un comportamiento paralelo con las nitraclinas (ambas dan un máximo - 242 $\mu\text{g/l}$ de Clorofila "a" y 0.410 mg/l de N-NO_2^- en superficie en enero de 1989 y todos los demás meses, los máximos estan en la zona trofolítica) (gráfs. 28 a 31). En este lago, pues, la productividad primaria parece estar fuertemente ligada a los nitratos.

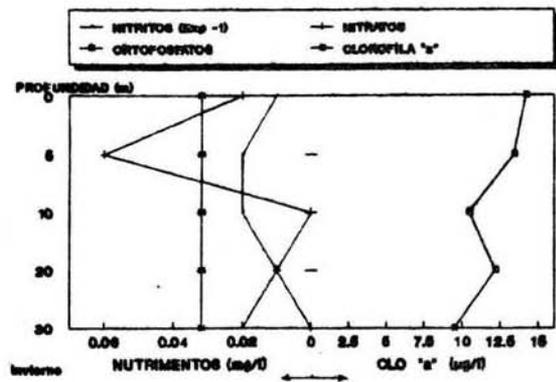
GRAFICA 20 QUECHULAC MAY-88



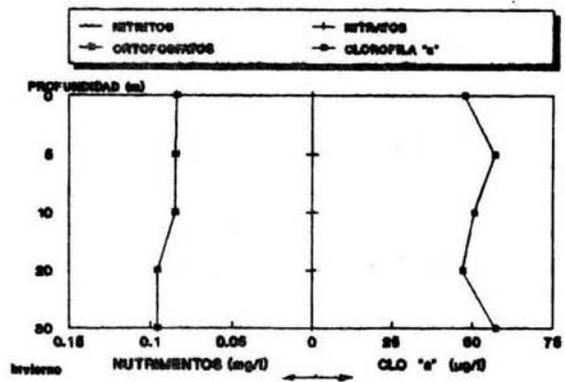
GRAFICA 21 QUECHULAC AGO-88



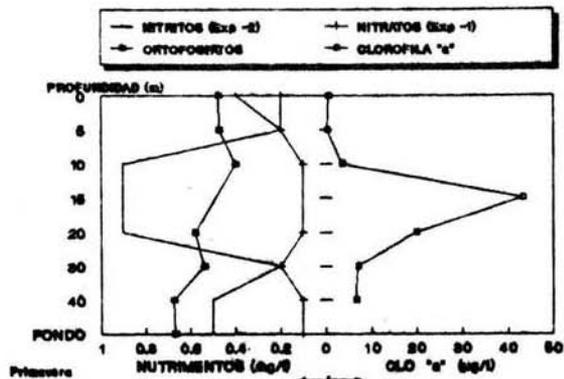
GRAFICA 22 QUECHULAC DIC-88



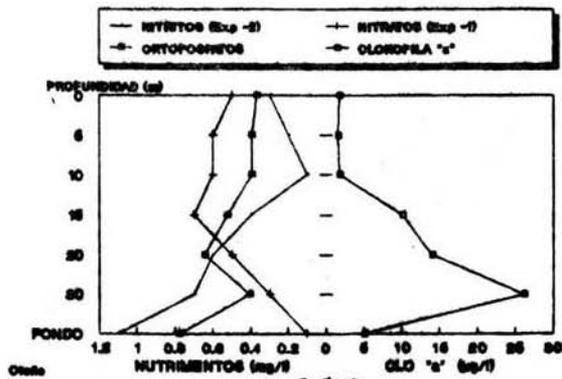
GRAFICA 23 QUECHULAC MAR-89



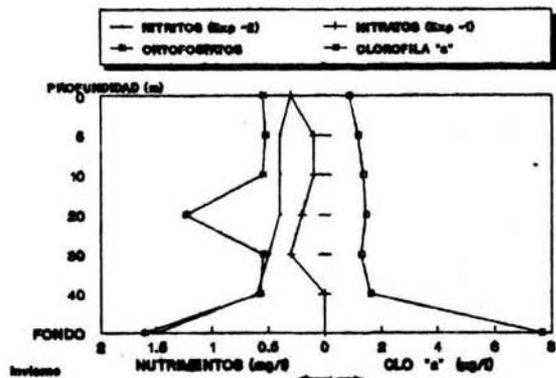
GRAFICA 24 ALJOJUCA JUN-88



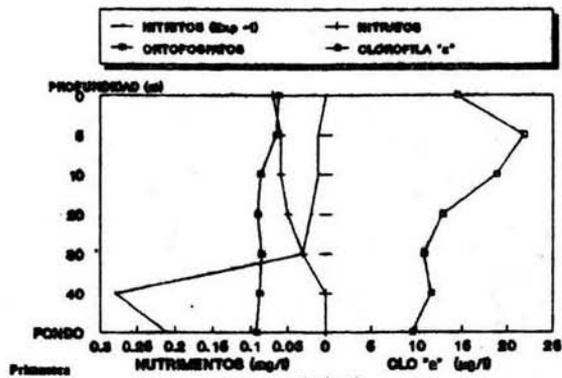
GRAFICA 25 ALJOJUCA SEP-88



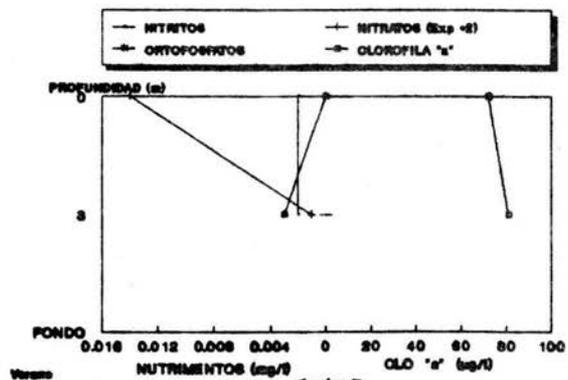
GRAFICA 26 ALJOJUCA ENE-89



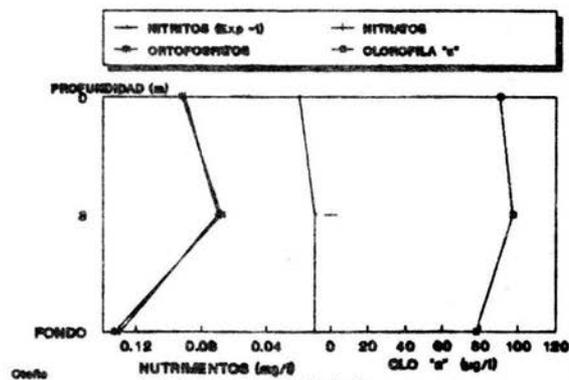
GRAFICA 27 ALJOJUCA ABR-89



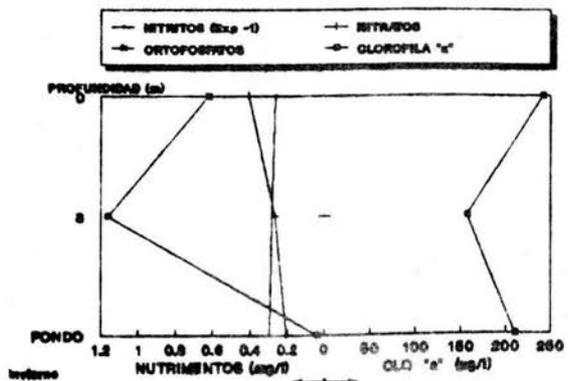
GRAFICA 28 TECUITLAPA JUN-88



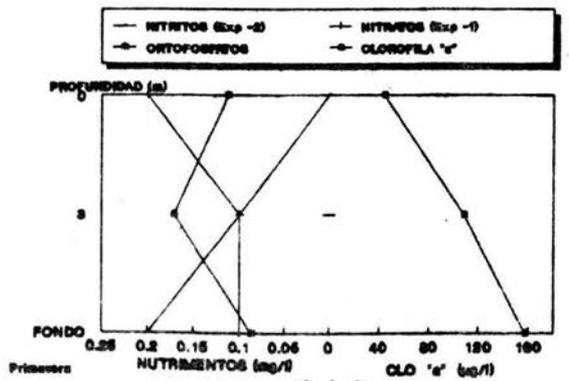
GRAFICA 29 TECUITLAPA SEP-88



GRAFICA 30 TECUITLAPA ENE-89



GRAFICA 31 TECUITLAPA ABR-89



De todo lo anterior se puede deducir que la productividad primaria, estimada como clorofila "a", fue siempre mayor en la época de mezcla, a excepción de Aljojuca cuando se encontraba enfermo. Los máximos valores de Chl "a" siempre se encuentran asociados con valores bajos de nitratos; no así de ortofosfatos, pues -como se verá más adelante- el elemento limitante en los lagos cráter no es el fósforo sino el nitrógeno.

Por otra parte, se vió que las clasificaciones de Wetzel (1975) y Arrignon (1984) para determinar niveles tróficos con base en los principales nutrientes (N-inorgánico, N-orgánico, P-total y P-ortofosfatos) presentes en los cuerpos de agua, no se ajustan a las condiciones de los lagos-cráter, pues -como ya se mencionó- el elemento limitante en ellos es el nitrógeno y, por lo tanto, las clasificaciones que toman como base este elemento subestiman sus niveles tróficos (Alchichica, Atexcac, Quechulac y La Preciosa aparecerían como "ultra-oligotróficos"; Tecuítlapa como "oligo-mesotrófico" y Tecuítlapa-Norte entre "meso-eutrófico" y "eutrófico"), mientras que las clasificaciones que toman en cuenta al fósforo superestiman su nivel trófico (quedando como "eutróficos" todos ellos, a excepción de Aljojuca, Tecuítlapa y Tecuítlapa-Norte, que aparecerían como "hipereutrófico").

En cuanto a la clasificación saprotrófica de Sládeček (1978), si tomamos en cuenta únicamente la concentración de clorofila, la columna de los lagos cráter quedaría como sigue:

- Atexcac (en la zona litoral), con 2.0 $\mu\text{g/l}$ (tabla 01), se considera oligotrófico y oligosaprobio.
- La Preciosa, con 4 $\mu\text{g/l}$ (tabla 01), también es oligotrófico y oligosaprobio.
- + Alchichica, con 6 $\mu\text{g/l}$ (tabla 01), se considera oligo-mesotrófico y entre oligosaprobio y β -mesosaprobio.
- Aljojuca, con 9 $\mu\text{g/l}$, y Quechulac, con 19 $\mu\text{g/l}$ (tabla 01), se presentan como mesotróficos y β -mesosaprobios.
- Tecuítlapa, con 122 $\mu\text{g/l}$ (tabla 01), queda como eutrófico y como β -mesosaprobio.
- Tecuítlapa-Norte, con 1516 $\mu\text{g/l}$ (tabla 01), entraría dentro de los lagos hipereutrófico (politrófico) y polisaprobios.

RELACION $\text{NO}_3^-/\text{PO}_4^{3-}$

En la mayoría de los lagos estudiados (Alchichica, Atexcac, Quechulac, Aljojuca y Tecuítlapa-Norte) la relación fue siempre inferior a 7.0 (tabla 01 y 0.2). Aljojuca y Quechulac presentaron, en general, los valores más bajos (entre 0.0 y 1.0).

En La Preciosa y Tecuítlapa se registraron alternadamente valores muy inferiores (entre 0.0 y 1.5) y muy superiores (entre 11.6 y 26.8) a 7.0.; ello nos indica que el elemento limitante en ocasiones fue el fósforo -primavera y verano para La Preciosa y verano para Tecuítlapa- y la más de las veces fue el nitrógeno. Los valores más altos de esta relación para cada lago se registraron en verano. Tomando en cuenta el promedio anual, todos los lagos presentan al nitrógeno como elemento limitante a excepción de La Preciosa, en donde la relación nitratos/ortofosfatos es igual a 7.7. Dichos resultados concuerdan con lo reportado por Vilaclara *et al.* (1988b), al respecto, para los lagos-cráter.

TABLA 02 RELACION NITRATOS/ORTOFOSFATOS
EN LOS LAGOS-CRATER.

LAGO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PROM. + D.ST.
ALCHICHICA	2.5	5.7	0.2	0.2	1.7 + 3.7
ATEXCAC	3.7	2.2	1.2	0.0	1.2 + 0.9
LA PRECIOSA	11.6	21.8	0.0	0.0	7.7 + 12.5
QUECHULAC	ec	0.7	1.0	0.0	0.6 + 0.6
ALJOJUCA	0.6	0.2	0.1	0.0	0.2 + 0.4
TECUÍTLAPA	0.4	23.8	1.0	1.5	3.3 + 8.0
TEC.-NTE.	1.6	ec	0.0	1.0	0.8 + 0.6

INDICE DE MARGALEF.

La relación de la clorofila "a" con el resto de la composición pigmentaria en poblaciones de algas planctónicas, se refleja -aunque no por completo- dentro del espectro de absorción, como la relación entre sus principales picos (430/665). Esta expresión se conoce como índice de Margalef y ofrece información valiosa sobre características de composición y de la fisiología de dichas poblaciones (Margalef, 1983).

Los valores promedio anuales de columna para este índice se ordenaron de menor a mayor, obteniéndose la siguiente secuencia: Tecuitlapa (2.9), Aljojuca (3.0), Quechulac (3.4), Alchichica (3.5) y La Preciosa (5.2) (Tabla 01). En general, una concentración elevada de clorofila "a" sobre la del resto de los pigmentos indica gran productividad o multiplicación sin trabas y que, por lo tanto, valores bajos del índice de Margalef ocurren en poblaciones que crecen rápidamente (lagos eutróficos), mientras valores altos son típicos de poblaciones más estáticas (lagos más oligotróficos) o poblaciones viejas (Margalef, 1974). Con base en ello, Tecuitlapa aparece como el más eutrófico de los 5 lagos y La Preciosa como el más oligotrófico, en tanto que Aljojuca, Quechulac y Alchichica presentan posiciones intermedias dentro de este intervalo.

En cuanto a las zonas litorales, Atexcac (4.7) se presenta como el más oligotrófico, seguido de La Preciosa (4.0) y Alchichica (3.6); mientras que Tecuitlapa Norte (2.3) aparece como el más eutrófico, seguido de Quechulac (3.0), Tecuitlapa (3.1) y Aljojuca (3.2) (tabla 01).

En este caso, la clasificación trófica de Margalef (1974) -según los valores de su índice- no se ajusta a los lagos cráter, pues menciona que vale entre 2.4 y 3.6 en el plancton de lagos oligotróficos y entre 1.4 y 2.4 en los eutróficos; sin embargo, si se guarda la relación: a mayor valor menos eutrófico y viceversa. Al respecto, el mismo Margalef (1983) menciona que el índice aumenta cada vez que hay una fracción grande de clorofila detritica -lo cual ocurre con frecuencia en Tecuitlapa Norte y Tecuitlapa como consecuencia de su elevada productividad- y que es especialmente sensible a la carencia de nitrógeno, reflejándose en valores altos del índice (430/665). Este segundo fenómeno parece explicar los valores altos generalizados en los lagos cráter, pues -como ya se ha visto- todos ellos presentan generalmente bajas concentraciones de nitrógeno.

INDICE DE FEOPIGMENTOS.

El índice de foepigmentos que se obtiene con la fórmula D_{665}/D_{680} (Estrada et al., 1975) es importante, ya que permite distinguir entre la clorofila activa y detritica, pues la mayoría de los métodos para determinar concentración de clorofila no lo hacen (apéndice 1). Además, con frecuencia se presentan

importantes concentraciones de productos de degradación de clorofila en zonas profundas, tanto en el mar como en aguas dulces (Margalef, 1983).

Se determinó el valor promedio anual del índice de feopigmentos para cada lago, correspondiendo el valor más bajo a Tecuítlapa-Norte (1.5) y el mayor a Alchichica (2.4); el resto de los lagos presentó valores intermedios -Tecuítlapa (1.9), Aljojuca (1.9), La Preciosa (2.0), Quechulac (2.3) y Atexcac (2.4) (Tabla 01)-. Por ello, al parecer, la concentración de los productos de degradación es proporcional al estado trófico y saprobio del cuerpo de agua. Al respecto, Lorenzen (1967) y Estrada (1974; en Flos, 1979) mencionan que el valor del índice de feopigmentos es directamente proporcional a la cantidad de clorofila activa del extracto. Es decir, valores bajos representan elevadas concentraciones de productos de degradación (mayor nivel saprobio) y viceversa.

En este caso, a medida que aumenta la concentración de clorofila aumenta el nivel trófico y también aumenta el % de productos de degradación del sistema (nivel saprobio).

Tecuítlapa y Aljojuca presentan valores iguales (1.9) para este índice; sin embargo, su productividad es diferente. Esto podría explicarse ya que, aun cuando Aljojuca tiene un menor grado de saprotrofismo, presentó una elevada toxicidad en cierta época del año que provocó la muerte masiva de los organismos, elevándose considerablemente los niveles de clorofila detritica.

PARAMETROS SAPROBIOS.

DQO Y DBO₅.

Alchichica presentó en columna valores de DQO mayores que 460 mg/l en primavera y otoño, alcanzando su valor mayor (621 mg/l) en otoño. Este último estuvo relacionado con la oxiclina más acusada del año (gráfs. 01 y 32). En cuanto a la zona litoral, los valores fueron menores que en columna, a excepción del verano, época en que el litoral presentó una DQO mayor que en columna (569 mg/l). La DBO₅ siempre registró valores bajos, -entre 1 y 2 mg/l de OD- para ambas zonas.

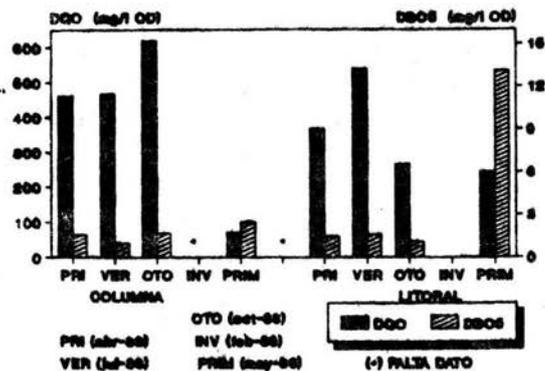
En primavera-89, mes en que se dio un florecimiento para este lago, la DQO fue la más baja del año, tanto en columna (71 mg/l) como en litoral (243 mg/l). Estos valores se asocian con la ausencia en toda la columna de nitritos y nitratos (gráf.15), los cuales se presume que fueron consumidos por los organismos autótrofos. Por el contrario, los valores de DBO₅ son los mayores de todo el ciclo (columna 2.5 mg/l y litoral 13 mg/l), al parecer como consecuencia de la acumulación de algas verde-azules, principalmente en la zona litoral y, en menor medida, en superficie y 40 m de profundidad.

Atexcac registró en la zona litoral (única muestreada) valores de DQO entre 396 mg/l (en primavera) y 598 mg/l (en verano) y valores de DBO₅ entre 1 (en verano) y 3 (en primavera). En primavera-89 parece también existir un florecimiento en el cual se presenta, al igual que en Alchichica, el menor valor de DQO (264 mg/l) y el mayor de DBO₅ (4.5 mg/l).

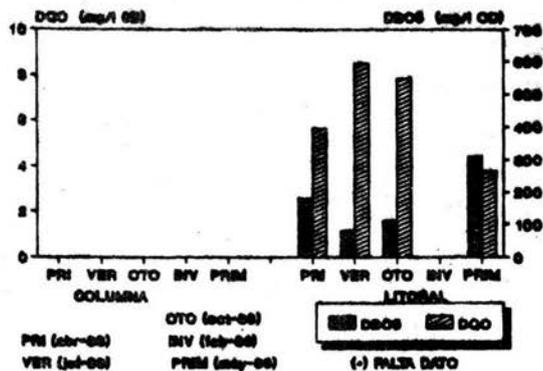
Con base en lo anterior, parece ser que en Atexcac se encuentran asociados valores bajos de DQO con valores altos de DBO₅ y viceversa (gráf. 33).

En La Preciosa los valores de DQO son ligeramente mayores en las zonas litorales, a excepción de diciembre-88, mes en que la demanda en columna fue mayor al doble de la demanda litoral. En general se presentaron valores bajos, entre 22 y 53 mg/l en columna y entre 9 y 57 mg/l en la zona litoral. La DBO₅ presentó también valores bajos entre 1.0 y 2.5 mg/l tanto en el litoral como en columna (gráf. 34).

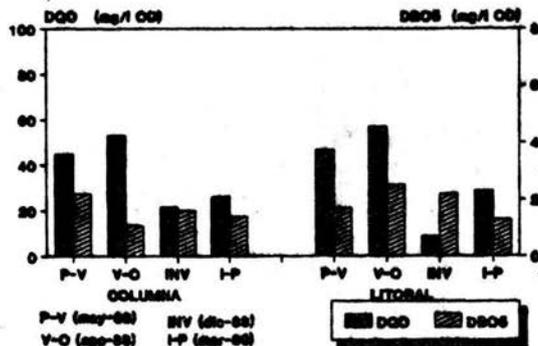
GRAFICA 32 ALCHICHICA
Parámetros Saprobios



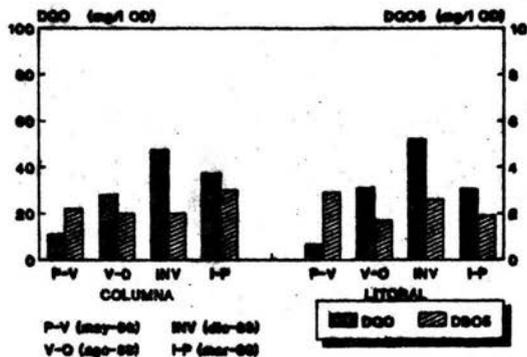
GRAFICA 33 ATEXCAC
Parámetros Saprobios



GRAFICA 34 LA PRECIOSA
Parámetros Saprobios



GRAFICA 35 QUECHULAC
Parámetros Saprobios



En Quechulac los mayores valores de DQO se registraron alternadamente en columna (11 mg/l en mayo-88 y 37 mg/l en marzo-89) y en la zona litoral (31 mg/l en agosto-88 y 52 mg en diciembre-88); sin embargo, Quechulac presentó los valores menores de DQO de los 7 cuerpos de agua y valores intermedios de DBO_5 que van de 2 a 3 mg/l en columna y en la zona litoral (gráf. 35). El hecho de que Quechulac presente los valores más bajos de DQO de los cuerpos de agua estudiados, podría explicarse si se toma en cuenta que Vilaclara *et al.* (1989) reportan a Quechulac como el menos salobre de los lagos-cráter de la Región de los Llanos, con una composición iónica muy parecida a la del agua dulce (ver tabla 03).

Para Aljojuca se determinaron valores intermedios, tanto de DQO como de DBO_5 . En columna, la DQO aumenta progresivamente de junio-88 (12 mg/l) a abril-89 (90 mg/l), a excepción de enero-89, mes en el que se registró la DQO más baja del año en todos los lagos estudiados, con sólo 1.3 mg/l de OD (gráf. 36). Este valor podría parecer erróneo (pero no hay que olvidar que se trata del promedio de todos los valores de columna); sin embargo, se asocia con la enfermedad por ácido sulfhídrico de Aljojuca y, al parecer, el H_2S pudo haber hecho la función de agente reductor, pasando el $H_2S + 2 O_2$ a H_2SO_4 , mismo que posteriormente haría las veces de agente oxidante* (durante el periodo de muestra y análisis químico) dentro de las muestras. Por ello, a pesar de encontrarse prácticamente ausente el OD en toda la columna (gráf. 01), es "mínima" la Demanda Química de Oxígeno. La DBO_5 en columna presentó el mismo comportamiento: un aumento de junio-88 (2 mg/l) a abril-89 (3 mg/l) y un valor bajo (1 mg/l) en enero-89 como consecuencia de la oxidación del sistema a través del H_2S . En cuanto a la zona litoral, los máximos valores de DQO (62 y 55 mg/l) y DBO_5 (4 mg/l) se presentaron en enero y abril de 1989, asociados con una elevada producción primaria (ver tabla 06, en apéndice # 1). Por ello, parece ser que las demandas química y biológica de oxígeno para este cuerpo de agua están muy ligadas con su productividad, sobre todo en zonas litorales.

Tecuítlapa, por su parte, presentó una elevada DBO_5 , con valores homogéneos en todo el lago -entre 15 y 20 mg/l-, asociados con una alta productividad, también en todo el sistema. Sin embargo, no presentó valores muy altos de DQO, pues oscilan entre 70 y 173 mg/l, siendo ligeramente superiores en la zona litoral (gráf. 37).

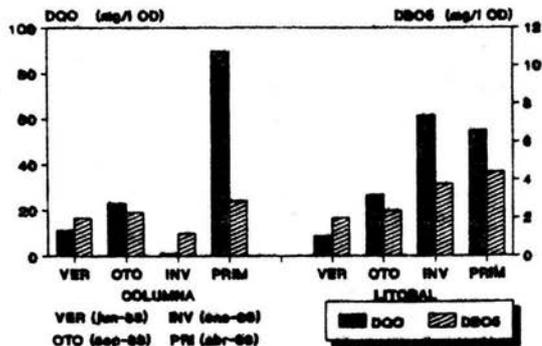
* Pues, como ya se ha dicho, aun cuando no se cuantificó el ácido sulfhídrico, su presencia se demuestra en todas las capas del sistema, menos en superficie, por su característico y fuerte olor a huevos podridos.

TABLA 03 SALINIDAD DE LOS LAGOS-CRATER *

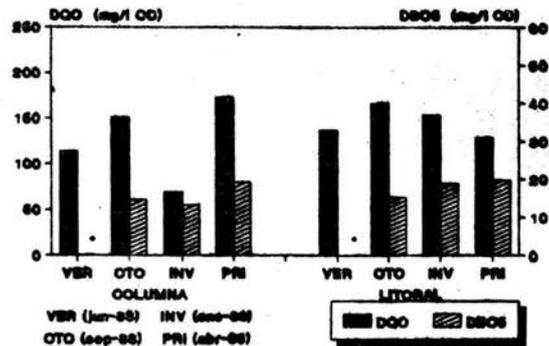
CUERPOS DE AGUA	CONDUCTIVIDAD K 25 (us/cm)	SALINIDAD g/l	pH
AGUAS DULCES CONTINENTALES (METZMEL, 1975)	< 1500	< 1.0	< 8.3
AGUA DE MAR (Shoeyink & Jenkins, 1980)	47,882	35.3	8.2 ± 0.1
ALCHICHICA	13,011 ± 425	8.4 ± 0.1	9.0 ± 0.1
ATEXCAC	11,168 ± 230	6.7 ± 0.1	8.2 ± 0.1
LA PRECIOSA	2,199 ± 31	1.3 ± 0.1	8.7 ± 0.1
ALJOJUCA	1,235 ± 28	0.8 ± 0.0	8.9 ± 0.2
QUECHULAC	780 ± 16	0.4 ± 0.0	8.7 ± 0.2
TECUITLAPA	1,659 ± 62	1.0 ± 0.0	9.7 ± 0.1
TEC.-NTE.	19,014 ± 3,201	14.98 ± 2.69	10.7 ± 0.8

(*) Tomado de Vilaclara et.al. (1989).

GRAFICA 36 ALJOJUCA
Parámetros Saprobios

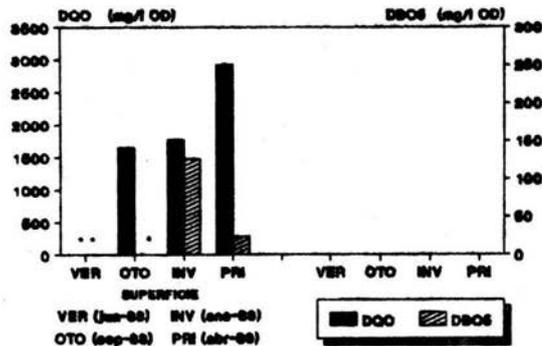


GRAFICA 37 TECUITLAPA
Parámetros Saprobios



• FALTA DATO

GRAFICA 38 TECUITLAPA-NTE
Parámetros Saprobios



• FALTA DATO

Para Tecuítlapa-Norte, tanto la DQO como la DBO₅ se disparan. La primera presentó valores que van de 1660 a 2921 mg/l en superficie (única zona muestreada debido a la escasa profundidad -50 cm-) y la segunda presentó valores entre 24 y 128 mg/l (gráf. 38). Ambas se encuentran relacionadas con una muy elevada productividad primaria, cuyos valores de clorofila "a" van de 1227 a 1682 µg/l (ver tabla 07, en apéndice # 1).

Respecto los promedios de la DBO₅ en columna y según la clasificación de Vilaclara (1987), los lagos-cráter presentan los siguientes niveles saprobios y tróficos:

La Preciosa -con 1.6 mg/l- y Alchichica -con 1.7 mg/l de O.D. (tabla 01)-, se ubican dentro de la xenosaprobiedad y la oligotrofia. Es decir, son aguas muy poco productivas y que no acumulan materia orgánica.

Aljojuca -con 2.2 mg/l- y Quechulac -con 2.3 mg/l (tabla 01)- corresponden a aguas del tipo oligo-β-mesosaprobio y oligo-mesotróficas. Son lagos de aguas azules, poco productivas y que acumulan escasa materia orgánica.

Tecuítlapa -con 16 mg/l de O.D. (tabla 01)- entra dentro de la α-mesosaprobiedad y la eutrofia típica. En este nivel están lagos con aguas de color verde, con sedimentos generalmente anóxicos y de color negro que indican acúmulo de materia orgánica en el fondo.

Por último, Tecuítlapa-Norte -con 76 mg/l de O.D. (tabla 01)- corresponde a la isosaprobiedad y a la hipereutrofia. Son aguas someras, muy alcalinas y extremadamente productivas por cianofíceas, comparables (en cuanto a la cantidad de materia orgánica acumulada) con aguas negras domésticas.

pH

El pH siempre presentó valores alcalinos (mayores que 8.0) y se comportó de manera muy constante dentro de cada cuerpo de agua a lo largo del tiempo y el espacio, aun en las épocas de máxima productividad, variando tan sólo décimas de unidad de un periodo

a otro (gráf. 39) . Ello sugiere la presencia de una elevada reserva alcalina. Vilaclara *et.al.* (1989) reporta considerables concentraciones de carbonatos y bicarbonatos para estos lagos-cráter, registrando los mayores valores Tecuítlapa Norte, Tecuítlapa, Alchichica y Atexcac (tabla 04, composición iónica), lagos que también presentan los mayores valores de pH (a excepción de Atexcac). Por todo lo anterior, se observa que el pH no se comporta como un parámetro ni trófico ni saprobio, sino más bien como un parámetro conservativo, importante en la tipificación química de estos cuerpos de agua.

En general, se ha observado homogeneidad en cuanto al hecho de que La Preciosa se presenta como el lago con los niveles más bajos de trofismo y de saptrobiedad y Tecuítlapa-Norte como el cuerpo de agua que presenta los mayores niveles de acuerdo con cada "clasificación" (Wetzel, 1975; Sladeczek 1978; Arrignon, 1984 y Vilaclara 1987) según el parámetro que se trate. Sin embargo, se ha observado que los parámetros más adecuados para caracterizar a los lagos-cráter saprotroficamente son la clorofila "a" y la BDO₅, pues el resto de las variables estimadas presentan clasificaciones (Wetzel, *op.cit.*) que no son útiles debido a la particular composición química de estos cuerpos de agua (p.e. aquellas hechas en base a los nutrientes, ya que si recordamos el nitrógeno es el elemento limitante y no el fósforo) o bien, no existe una verdadera clasificación en base a ellos, sino únicamente reglas de proporcionalidad (p.e. índice de Margalef, índice de Feopigmentos) (Margalef, 1974 y 1983). Con la finalidad de corroborar que la clorofila "a" y la BDO₅ son las variables más adecuadas para realizar la caracterización, así como para poder visualizar gráficamente las diferencias saprotroficas que existen dentro de este grupo de cuerpos de agua, se realizó un análisis de componentes principales.

GRAFICA 39 LAGOS-CRATER
pH

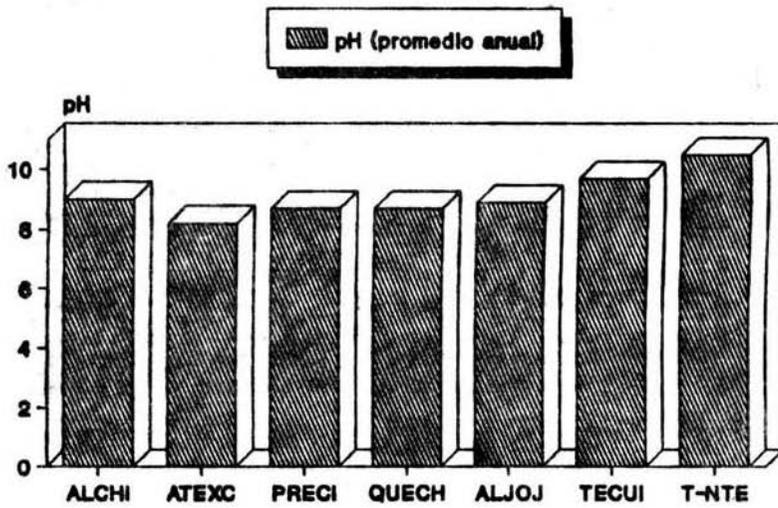


TABLA 64 COMPOSICION IONICA DE LOS LAGOS-ORIENTE.

LAGOS	IONES	CARBONATOS	BICARBONATOS	SULFATOS	CLORUROS	CALCIO	MAGNESIO	SODIO	POTASIO
ALCERQUICA	mg/l	460+-31	805+-17	1014+-59	3016+-48	13+-4	343+-19	2005+-63	251+-9
	mg/l	15.331+-1.033	13.193+-0.770	21.111+-1.228	85.070+-1.354	0.649+-0.280	28.246+-1.563	87.213+-2.748	6.419+-0.298
ATEZCAC	mg/l	114+-31	786+-72	167+-14	3077+-71	27+-8	401+-35	1297+-84	94+-6
	mg/l	3.799+-1.033	12.882+-1.198	3.477+-0.291	86.791+-2.803	1.347+-0.389	32.988+-2.879	56.416+-3.654	2.404+-0.153
LA FRENTEOSA	mg/l	56+-19	411+-182	129+-7	309+-3	16+-5	163+-8	153+-19	16+-2
	mg/l	1.866+-0.633	6.736+-1.672	2.688+-0.146	8.716+-0.085	0.798+-0.250	13.409+-0.638	6.655+-0.826	0.499+-0.051
OROCHEILAC	mg/l	17+-18	194+-45	11+-4	75+-1	16+-3	46+-2	66+-4	8+-1
	mg/l	0.587+-0.600	3.179+-0.738	0.229+-0.083	2.116+-0.028	0.798+-0.150	3.784+-0.164	2.871+-0.174	0.205+-0.026
ALJOJUCA	mg/l	52+-26	334+-79	33+-4	48+-1	37+-9	47+-3	137+-7	27+-2
	mg/l	1.733+-0.866	5.474+-1.295	0.687+-0.083	1.354+-0.028	1.846+-0.449	3.866+-0.247	5.959+-0.394	0.690+-0.057
TECUTITLAPA	mg/l	234+-58	281+-49	17+-4	60+-2	10+-1	16+-2	321+-30	50+-4
	mg/l	7.799+-1.933	4.665+-0.803	0.354+-0.083	1.692+-0.095	0.499+-0.050	1.316+-0.164	13.963+-1.305	1.279+-0.102

Tomada de Vilaclara et al. (1989).

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE COMPONENTE PRINCIPAL

Aun cuando se sabe que la columna de un cuerpo de agua da información más constante que aquella que se obtiene a partir de las zonas litorales (pues su comportamiento es muy heterogéneo), se decidió trabajar un análisis de componente principal para la superficie (zonas litorales más 0 mts de columna) y otro para las columnas de agua, ya que -como se indicó en la metodología- algunos cuerpos de agua sólo se muestrearon en superficie y/o zona litoral. De dicho análisis se obtuvieron los siguientes resultados:

Para el análisis de columna (tabla 05), los primeros 5 componentes son los principales (tomando en cuenta como criterio que son principales aquellos componentes con un porcentaje de variabilidad mayor a la media, en este caso, $x=6.66$;) (Fla, 1986). Dichos componentes representan en conjunto cerca del 70% de la variación total y los dos primeros poco más del 41%, porcentaje importante, ya que en relación con estos dos componentes se graficó la ubicación de cada uno de los parámetros evaluados (gráfica 40). En esta gráfica se observa que las variables de mayor importancia para el componente 1 son la clorofila "c", "a" y la DBO_5 , y para el componente 2 son el O.D. y % de Saturación.

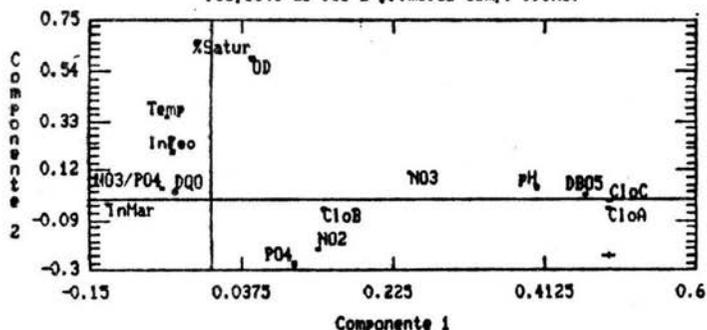
Así mismo, se graficaron los distintos puntos de muestreo con relación a los 2 componentes principales, marcando con una clave cada lago. En esta gráfica (gráf. 41) se aprecia perfectamente como Tecuítlapa se separa del resto de los lagos, principalmente con base en las altas concentraciones de los parámetros del componente 1 (niveles de clorofila y DBO_5), mostrando a su vez valores bajos de O.D. y % de Saturación. Aljojuca, por su parte, aun cuando no se separa del grupo, presenta una zonación más o menos definida, dada por las variables del componente 1 y una diferenciación interna con base en el componente 2. El resto de los puntos permanecen muy cercanos unos de otros (gráf. 41).

Para el caso del análisis de superficie se observa que los componentes principales son los primeros cinco, contribuyendo con el 78% de la variación total, en tanto que los dos principales componentes suman más del 53% (tabla 06).

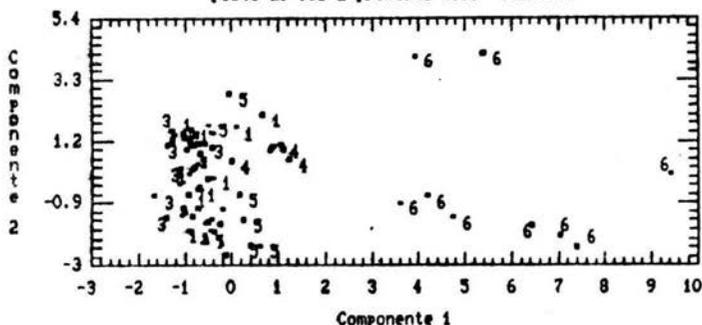
TABLA 05 Análisis de Componente Principal COLUMNA

Número de Componente	Porcentaje de Variación	Porcentaje Acumulativo
1	24.82429	24.82429
2	16.56132	41.38561
3	11.31898	52.70459
4	9.65141	62.35600
5	7.20001	69.55601
6	6.16878	75.72479
7	5.93486	81.65965
8	4.99309	86.65274
9	4.13513	90.78787
10	3.74899	94.53686
11	2.67009	97.20695
12	1.50741	98.71436
13	1.23230	99.94666
14	.04938	99.99604
15	.00396	100.00000

GRAFICA 40 Ubicación de las variables respecto de los 2 primeros Comp. Prino.



GRAFICA 41 Ubicación de los lagos respecto de los 2 primeros C.P. COLUMNA.



Cada número representa un lago: 1)Alchichica 3)La Preciosa 4)Quechulac 5)Aljojuca 6)Tecuítlapa

En la gráfica 42 se aprecia como las variables más importantes en superficie para el componente 1 son, nuevamente, los niveles de clorofila y la DBO_5 , aunque se pueden considerar también como importantes los nutrimentos y el O.D.. En tanto que las más importantes del componente 2 son: Temperatura, % de Saturación y O.D.. Sin embargo, las variables del componente 1 pueden considerarse más determinantes, ya que este componente contribuye por sí solo con el 42% del peso total.

En la gráfica No 43 se ubican los puntos de superficie, marcados para cada lago respecto de los 2 primeros componentes. Se puede apreciar una clara y marcada separación de Tecuítlapa Norte y de Tecuítlapa y una no tan clara pero existente zonación para Aljojuca y La Preciosa, con base en las variables más importantes del componente 1. Además, todos ellos presentan diferencias propias en relación con las variables del componente 2. Tecuítlapa y Tecuítlapa Norte se caracterizaron por registrar elevadas concentraciones de clorofila "c", "a" y "b", DBO_5 , DGO, PO_4^{3-} y NO_3^- y por valores bajos de O.D., % de Saturación, índice de Margalef y la relación NO_3^-/PO_4^{3-} . Esta última nos indica que el nitrógeno actúa como elemento limitante (Feuillade, 1985).

Así pues, ha quedado de manifiesto la diferenciación tajante entre Tecuítlapa y Tec.-Nte. del resto de los lagos, debido principalmente a la variación de sus parámetros tróficos Clorofila "a", "c", O.D. y, en menor medida, de los saprobios DBO_5 , DGO, O.D., % de Saturación y pH.

En ambos casos (litoral y columna) se tomó el factor producción primaria como base para explicar la ubicación de las zonas, ya que -como se observó en los 2 análisis de componente principal- las variables con el mayor peso explicativo de la variabilidad y, por lo tanto, del acomodo de los puntos, siempre fueron las clorofilas "a" y "c" (las cuales corresponden a los grupos algales dominantes: cianofíceas y diatomeas; Vilaclara, com. pers.).

Se determinó que los parámetros tróficos y saprobios que contribuyen con el mayor peso de la variabilidad son: en el primer caso, la concentración de clorofilas y, en el segundo, el O.D. y la DBO_5 , con lo cual se confirma que son las variables más adecuadas para caracterizar a estos cuerpos de agua desde el punto de vista saprotrófico, y -por lo tanto- que la clasificación saprotrófica de Sládeček (1978), que se hace con base en la concentración de clorofilas, así como la clasificación de Vilaclara (1987), que se hace con base en la

DBO₅, son también las más indicadas para ser aplicadas. Sin embargo, estas clasificaciones presentan grandes discrepancias en cuanto a la designación del nivel saprobio y no tan grandes diferencias en cuanto a la asignación de un nivel trófico, ya que a un mismo cuerpo de agua se le sitúa en diferentes niveles dependiendo del autor (tablas 09 y 10). Así, tenemos que -por ejemplo- según la clasificación de Vilaclara (basada en la DBO₅) Alchichica sería xenosaprobio y oligotrófico, en tanto que de acuerdo con la clasificación de Sládeček (basada en la clorofila "a") se presenta como oligo- β -mesosaprobio y como oligo-mesotrófico. Sin embargo, es posible que la DBO₅ haya sido subestimada - ya que como se discute en el apéndice 2, las condiciones ideales para el inóculo que se emplea en esta prueba química no corresponden a las condiciones bióticas ni abióticas presentes en los cuerpos de agua naturales, sino más bien son típicas de aguas negras crudas y/o tratadas secundariamente- y por consiguiente el nivel saprobio (basado en la DBO₅) también se encuentra subestimado ya que Alchichica no presenta el aspecto típico de la xenosaprobiedad. Con el fin de establecer un sólo criterio para la caracterización de los lagos-cráter y tomando en cuenta que, a pesar de lo anterior, la DBO₅ tiene un mayor peso para determinar el nivel saprobio y que la concentración de clorofila tiene un mayor peso para determinar el nivel trófico, se decidió hacer la caracterización desde el punto de vista trófico según la clasificación de Sládeček (1978) y desde el punto de vista saprobio según la clasificación de Vilaclara (1987). Obteniéndose los siguientes resultados:

- La Preciosa es oligotrófico y xenosaprobio.
- Alchichica es oligo-mesotrófico y xeno-oligosaprobio.
- Quechulac y Aljojuca son mesotróficos y oligo- β -mesosaprobios.
- Tecuítlapa es eutrófico y α -mesosaprobio.
- Tecuítlapa-Norte es hipereutrófico (politrófico) e isosaprobio.

Con base en los resultados gráficos del componente principal y en la caracterización saprotrofica anterior, se puede distinguir tres grupos o categorías claras dentro de los lagos-cráter, como sigue:

En la primera se encontrarían la mayor parte de los lagos-cráter, caracterizados en general por bajos niveles de productividad y de acúmulo de materia orgánica. Sin embargo, esta categoría se puede subdividir en dos: la primera, que agruparía

TABLA 09

NIVEL SAPROBIO DE LOS LAGOS-CRATER SEGUN LAS CLASIFICACIONES DE SLADECX (1978) Y VILA CLARA (1987).

	X	X-0	0	0-M	M	M-N	N	P	I
LA PRECIOSA									
DBOS	*								
CL0			*						
ALCHICHICA									
DBOS	*								
CL0				*					
QUECHULAC									
DBOS				*					
CL0					*				
ALJOJUCA									
DBOS				*					
CL0					*				
TECUTLAPA									
DBOS						*			
CL0							*		
TEC.-NTE.									
DBOS								*	*
CL0							*		*

TABLA 10

NIVELES TROFICOS DE LOS LAGOS-CRATER SEGUN LA CLASIFICACION DE SLADECX (1978) Y VILA CLARA (1987).

	U0	0	0-M	M	M-E	E	UE	HE
LA PRECIOSA								
CL0		*						
DBOS		*						
ALCHICHICA								
CL0			*					
DBOS		*						
QUECHULAC								
CL0				*				
DBOS			*					
ALJOJUCA								
CL0				*				
DBOS			*					
TECUTLAPA								
CL0						*		
DBOS						*		
TEC.-NTE.								
CL0								*
DBOS								*

a La Preciosa, Alchichica y Atexcac -con características que los colocan entre la oligotrofia y la oligo-mesotrofia y entre la xenosaprobiedad y la oligo- β -mesosaprobiedad, y una segunda, representada por Quechulac y Aljojuca -con características que van de la oligo-mesotrofia a la mesotrofia y de la oligo- β -mesosaprobiedad a la -mesosaprobiedad-.

La segunda categoría estaría representada por Tecuítlapa, con características saprotróficas que lo separan claramente del resto de los cuerpos de agua y que lo colocan en un nivel típicamente eutrófico y entre la β -mesosaprobiedad y la α -mesosaprobiedad.

En la tercera categoría se encuentra Tecuítlapa-Norte, cuyos niveles de producción y acumulación de M.O. rebasan por mucho los niveles tróficos en que se encuentran el resto de los lagos -incluido Tecuítlapa- y que lo colocan en un estado hipereutrófico y entre la polisaprobiedad y la isosaprobiedad.

CONCLUSIONES.

Del comportamiento de los parámetros tróficos, saprobios y físicos en los lagos-cráter a lo largo de un ciclo anual se pueden hacer las siguientes inferencias y observaciones:

Estos cuerpos de agua se encuentran estratificados térmicamente durante todo el año, presentando solamente un periodo de mezcla en invierno, que es la época más fría, lo cual los coloca como lagos monomicticos templados según la clasificación de Wetzel (1975). Tecuítlapa es la excepción, porque presentó termoclina durante todo el año. Estos cuerpos de agua parecen no seguir el comportamiento de la generalidad de los sistemas acuáticos del altiplano mexicano, ya que estos últimos no se adaptan a las clasificaciones estacionales (en cuanto a la implantación de termoclinas) hechas para lagos templados de Europa y Norteamérica, pues más bien presentan un comportamiento influenciado por la época de lluvias y la época de estiaje (Vilaclara, Alcocer y Elias, com. pers.).

Las oxiclina se relacionan con la presencia de termoclinas en todos los lagos, a excepción de Tecuítlapa. El comportamiento de este último también sale de lo reportado para lagos del altiplano mexicano, donde en cuerpos de agua poco profundos generalmente no existe termoclina, aunque sí hay una oxiclina marcada.

La diferencia en cuanto al agotamiento del oxígeno entre los lagos-cráter estudiados y la mayoría del resto de los lagos del altiplano mexicano (Vilaclara, com. pers.) estriba en 2 puntos principales: la profundidad, considerablemente mayor de los lagos cráter, y el hecho de que su principal fuente de aporte de aguas es el manto freático, el cual se ve nutrido por las lluvias -muy abundantes todo el año- que caen en las montañas del eje Neovolcánico, situadas al este. Es por ello que la estacionalidad de las lluvias afecta "poco" el nivel del agua de los axalapazcos y, por lo tanto, su comportamiento general. La excepción es Tecuítlapa, que es el lago menos profundo, con apenas unos cuantos metros de profundidad, misma que sí varía considerablemente, afectando su comportamiento.

En cuanto a la productividad en columna, La Preciosa presentó la menor de todas, Alchichica entre poca y media productividad -a excepción de mayo-89, mes en el que registró un florecimiento de algas, principalmente cianofíceas-, Quechulac y Aljojuca registraron una productividad media y Tecuítlapa la mayor de todas .

La productividad primaria, estimada como clorofila "a", fue siempre mayor en la época fría o de mezcla, excepto en Aljojuca, pues la época fría coincidió con el intervalo en que se encontraba "enfermo" por ácido sulfhídrico.

Los máximos de clorofila siempre se asocian con valores bajos de nitratos, pero no de ortofosfatos. Para estos cuerpos de agua, el promedio anual de la relación $\text{NO}_3^-/\text{PO}_4^{3-}$ es siempre menor de 7, por lo que el elemento limitante es el nitrógeno y no el fósforo, a excepción de La Preciosa.

En general, los lagos que presentan la mayor concentración de sales (Tecuitlapa-Norte, Alchichica y Atexcac) son los que tienen una DQO más elevada y viceversa.

Todos presentan DBO₅ relativamente bajas, menos Tecuitlapa y Tecuitlapa-Norte.

El pH se comporta como un parámetro conservativo, pues no varía ni en el tiempo ni en el espacio, aun cuando existe en algunos de los lagos una gran actividad biológica. Ello confirma pues, la presencia de una elevada reserva alcalina que funciona como amortiguadora del pH.

Con base en el índice de Margalef, se puede observar que la productividad en columna de los lagos cráter aumenta en el siguiente sentido: La Preciosa, Alchichica, Quechulac, Aljojuca, Tecuitlapa y Tecuitlapa-Norte.

De los valores del índice de feopigmentos se determinó que Tecuitlapa-Norte y Tecuitlapa presentan el mayor % de clorofila detritica, mientras que Alchichica y Quechulac presentan el mayor % de clorofila activa.

A partir del promedio anual de columna para los parámetros saprobios y tróficos, de los resultados del análisis de componentes principales y de las clasificaciones que se reportan en la bibliografía, se obtuvo la siguiente información:

Los parámetros trófico-saprobios que presentan la mayor variabilidad entre los cuerpos de agua son las clorofilas "a", "c" y "b", y los saprobios son el O.D., el % Saturación y la DBO₅.

El aumento del grado de trofismo dentro de los lagos-cráter ocurre como sigue: La Preciosa, Alchichica, Aljojuca, Quechulac, Tecuitlapa y Tecuitlapa-Norte. Tomando como referencia la zona litoral de Atexcac (única muestreada), éste podría quedar entre La Preciosa y Alchichica o entre este último y Aljojuca.

Todos los lagos presentan una diferenciación principalmente con base en su capacidad de producción primaria (concentración de clorofila) y, en segundo lugar, con base en sus valores de O.D. y DBO₅ que permite distinguir a cada uno de ellos del resto. La diferenciación más notable se presenta entre Tecuitlapa-Norte y Tecuitlapa respecto del resto de los cuerpos de agua, debido a su gran productividad y acúmulo de materia orgánica. Los demás lagos presentan diferencias menos evidentes.

Se estableció que las clasificaciones más adecuadas para determinar los niveles saprotroóficos de los lagos-cráter son la de Sládeček (1978) -que se basa en la concentración de clorofilas- y la de Vilaclara (1987) -que se basa en la DBO₅-.

Estos lagos se pueden dividir en 3 categorías generales desde el punto de vista saprotroófico:

La primera agruparía a la mayor parte de ellos y se caracteriza por su poca productividad y poco acúmulo de materia orgánica (M.O.). A su vez, esta categoría puede dividirse en dos: 1a.) con La Preciosa, Atexcac y Alchichica -van de la oligotrofia a la oligo-mesotrofia y de la xenosaprobiedad a la oligo- β -mesosaprobiedad, y 1b.) representada por Aljojuca y Quechulac -que iría de la oligo-mesotrofia a la mesotrofia y de la oligo- α -mesosaprobiedad a la β -mesosaprobiedad-.

La segunda incluye Tecuitlapa y corresponde a la eutrofia, estando entre la β -mesosaprobiedad y la α -mesosaprobiedad.

La tercera categoría queda representada por Tecuitlapa-Norte que -debido a su gran productividad primaria y acúmulo de M.O.- entra dentro de la hipereutrofia y entre la polisaprobiedad (según Sládeček, op.cit.), y la isosaprobiedad (según Vilaclara, op.cit.).

Con base en las clasificaciones de Sládeček (1978) y Vilaclara (1987), los lagos-cráter se caracterizan como sigue:

- La Preciosa es oligotrofico y xenosaprobio.
- Alchichica es oligo-mesotrofico y xeno-oligosaprobio.
- Aljojuca y Quechulac se presentan como mesotroficicos y oligo- β -mesosaprobios.
- Tecuitlapa es eutrofico y α -mesosaprobio.
- Tecuitlapa-Norte se define politrofico (o hipereutrofico) e isosaprobio.

RECOMENDACIONES.

La conservación de este recurso es importante no sólo desde el punto de vista del aprovechamiento humano, sino porque representa una fuente de estudios limnológicos -particular dentro de nuestro continente- ; además, como ya se ha mencionado, los lagos-cráter son hábitat de especies endémicas y/o de limitada distribución geográfica, lo que los convierte no sólo en Patrimonio Nacional, sino de la humanidad.

Debido a que estos cuerpos de agua no cuentan con mecanismos de autodepuración de ortofosfatos ya que en ellos predomina el sodio y por consiguiente los pH alcalinos (Vilaclara et.al., 1988a), este nutriente se encuentra prácticamente libre en grandes concentraciones en toda la columna de agua; esto hace que el nitrógeno sea el elemento limitante. Tal característica de escasa autodepuración hace que estos sistemas sean especialmente frágiles en relación con la contaminación, por lo que se recomienda evitar al máximo cualquier forma o evento que permita la entrada de nutrientes y/o contaminación por materia orgánica, y -de manera especial- eliminar el uso de detergentes, aun los biodegradables (práctica muy común, sobre todo en Aljojuca), ya que su elevado contenido de fósforo representa un peligro evidente.

Por otra parte, las aguas de estos lagos no presentan facilidades para ser potabilizadas -a bajo costo-, debido a sus elevadas concentraciones de sales. Tampoco son útiles para la industria, ya sea por ser incrustantes (presentan altas concentraciones de carbonatos y bicarbonatos), o bien porque algunos de ellos presentan niveles de producción primaria capaces de obstruir los filtros de los sistemas de refrigeración.

Tomando en cuenta lo anterior, los usos que se recomiendan son:

1) Cultivo de diferentes especies de peces, dependiendo de las características de cada lago. A continuación se da una idea -que, desde luego, debe ser analizada más profundamente-:

- Trucha - En La Preciosa (cultivo que ya existe).
- Carpas - En Tecuítlapa, Aljojuca y Quechulac
- Charales- En Alchichica y La Preciosa.

2) El turismo, pues -debido a la belleza poco frecuente de los lagos-cráter en general y de los cuerpos estudiados en especial, misma que les confiere su composición química (como formaciones de carbonatos parecidas a arrecifes)-, podrían representar un aspecto explotable, introduciendo algunas actividades recreativas como pueden ser el campismo, el remo y el eski acuático, entre otros. Sin embargo, con la puesta en práctica de dicha propuesta se corre el riesgo de acelerar los procesos de eutrofización de los sistemas, por todo lo que implica la presencia continua del hombre. Por ello, debería de ponderarse perfectamente bien la capacidad de soporte turístico sin que se aumente la presión contaminadora, y regularlo en consonancia. Como indica Grosvenor (1990) refiriéndose al Parque Nacional de Yosemite, EE.UU., "Se da una aparente contradicción entre los objetivos de minimizar la intrusión humana y maximizar el número de individuos que puedan realizar una estadia en el parque".

APENDICE # 1: MODIFICACION DEL PROCEDIMIENTO PARA EXTRAER
CLOROFILAS FITOPLANCTONICAS EN AGUAS CONTINENTALES.

INTRODUCCION

La concentración de clorofila "a" es un buen indicador químico de la biomasa fitoplanctónica en muestras naturales, aun cuando la clorofila representa sólo alrededor del 1% del peso seco de la célula y que tal proporción resulte muy variable (Cullen, 1982). Dicho pigmento se encuentra por lo tanto muy relacionado con los niveles tróficos y ha sido frecuentemente empleado en estudios de producción (Brower & Zar, 1981). El ASTM (1990) señala las siguientes aplicaciones de los datos sobre contenido de clorofila en las algas: 1) para estimar la biomasa y productividad algal; 2) para obtener información general sobre la composición de los principales grupos taxonómicos de las algas, presentes en una muestra, con base en las cantidades relativas de clorofila "a", "b" y "c", así como sobre las condiciones fisiológicas de las comunidades algales, lo cual se relaciona con la abundancia relativa de feopigmentos; 3) para determinar tendencias a largo plazo en la calidad del agua; 4) para determinar el estado trófico de las aguas superficiales; 5) para detectar efectos adversos de los contaminantes sobre plancton y perifiton en cuerpos de agua receptores, y 6) para determinar tasas de crecimiento máximas y rendimientos en pruebas potenciales de crecimiento algal.

Sin embargo, surgen una serie de problemas cuando se desea cuantificar en cuerpos de agua epicontinentales, ya que la técnica que se emplea fue estandarizada primeramente para el medio marino. Algunos de estos problemas son:

En primer lugar, el espectro de absorbancia de la clorofila "a" (665 nm) puede incluir la absorbancia por feopigmentos, resultantes de la degradación de la clorofila¹; sin embargo, tal error se puede corregir tomando una segunda lectura de absorbancia a 665 nm, pero después de acidificar la muestra con

¹ Especialmente durante la declinación de los "afloramientos acuáticos" ("water blooms") (Jensen & Sakshvag, 1973), durante el pastoreo intensivo del zooplancton (Glooschenko et al., 1972; Riemann, 1975), en las capas hipolimnéticas (Rai, 1975) y en las capas más superiores de la zona eufótica durante periodos de elevada irradiación (Yentsch, 1965; Lorenzen, 1967) (en Musch, 1980). Por otra parte, la concentración de feopigmentos puede ser tan elevada como la concentración misma de clorofilas (Musch, op.cit.).

unas gotas de HCl 0.1 N, y la diferencia entre ambos valores corresponderá a la absorbancia por clorofila "a" únicamente (Lorenzen, 1967; Talling, 1969, en Vollenweider, 1969; Golterman et.al., 1978).

En cuanto al solvente de extracción, se sabe que el más utilizado y eficiente para algas marinas es la acetona (UNESCO-SCOR, 1969); sin embargo, en presencia de algas verdes planctónicas o bentónicas -mismas que se desarrollan con mucha frecuencia en aguas epicontinentales- los solventes alcohólicos como el metanol y el etanol son más eficientes (Marker, 1972, en Nusch, 1980; Holm & Riemann, 1978), ya que, por ejemplo, la acetona en presencia de algunos clorococcales extrae tan sólo un 10% de la clorofila que contienen (Marker, 1972, 1977, en Golterman et.al., 1978).

DEFINICION DEL PROBLEMA.

El verdadero problema surge cuando se requiere de la utilización del metanol en aguas epicontinentales, ya que las condiciones generales -y, sobre todo, el coeficiente de absorción para la clorofila "a" en metanol- no son bien conocidas (Talling & Driver, 1963; Talling, 1969, en Vollenweider, 1969; Golterman et.al., 1973) y solamente Mackinney (1941, en Sestak et.al., 1971) reporta las siguientes ecuaciones para extracción de clorofilas "a" y "b" en plantas superiores con metanol al 100% (dadas en $\mu\text{g/l}$):

$$\text{Chl "a"} = (16.5 D_{665} - 8.3 D_{650}) \times V/B \quad (\text{ecuación 01})$$

$$\text{Chl "b"} = (33.8 D_{650} - 12.5 D_{665}) \times V/B \quad (\text{ecuación 02})$$

$$\text{Chl's "a + b"} = (4.0 D_{665} - 25.5 D_{650}) \times V/B \quad (\text{ecuación 03})$$

Donde:

V = volumen del extracto en ml.

B = volumen filtrado en l.

D_n = absorbancia a x nm.

Lorenzen (1967) propone, la siguiente fórmula para la acetona como disolvente:

$$\text{Chl "a"} = [(D_{665a} - D_{665d})(R/R-1)(V/l)(10^3/a_c)] \times V/B$$

(ecuación 04)

Donde: D_{665} = Absorbancia a 665nm antes de acidificar.
 D_{665a} = Absorbancia a 665nm después de acidificar.
 R = Diferencia entre ($D_{665a} - D_{665d}$) para clorofila "a" pura = 1.7
 $[R/R-1]$ = 2.43
 V = Volumen del extracto en mililitros.
 B = Volumen del filtrado en litros.
 $10/a_c$ = Coeficiente de absorción para Chl "a" según Talling & Driver (1963) para acetona = $10^3/84 = 11.9$

$$\text{Es decir : Chl "a"} = (11.9 [2.43 (D_{665} - D_{665a})]) \times V/B$$

(ecuación 05)

En su fórmula, Lorenzen acepta convencionalmente la longitud de onda de 665nm, en la cual pueden estar presentes pequeñas absorbancias por clorofilas "b" y "c" y sus productos de degradación.

Por otra parte, en Golterman et.al. (1978) se menciona que la absorbancia a 665nm de una muestra tratada con metanol es un 15-20% mayor que el coeficiente de absorción para acetona, lo cual concuerda con los coeficientes presentados por Talling & Driver (1963):

$$\text{Chl "a"} = 13.9 D_{665} \times V/B$$

(ecuación 06)

$$\text{Chl "a"} = 11.9 D_{665} \times V/B$$

(ecuación 07)

donde el coeficiente para metanol (13.9) es un 16.8% mayor que el coeficiente para acetona (11.9). Además, el primero es más

parecido al coeficiente para etanol² propuesto por Wintermans & de Mols (1965, en Vollenweider, 1969), cuyo valor es 13.7 .

En el presente trabajo se utilizó el coeficiente 13.9 propuesto por Talling & Driver (op.cit.) para efectuar algunas modificaciones a distintas ecuaciones de clorofila establecidas para el uso de acetona, con la finalidad de que puedan emplearse cuando el metanol es el extrayente. Así, tenemos que:

Lorenzen (1967), modificada por nosotros:

$$\text{Chl "a"} = (13.9 [2.43 (D_{665} - D_{665a})]) \times V/B \text{ (ecuación 08)}$$

Así mismo, Lorenzen & Jeffrey (1978, en Sánchez, 1988) recomiendan las ecuaciones tricromáticas (para acetona) de Jeffrey & Humphrey (1975) para clorofilas "a", "b" y "c" en áreas marinas cercanas a la zona eufótica; en tanto que ellos mismos (Jeffrey & Humphrey, 1975), las proponen para poblaciones mixtas que contengan clorofila "a" y "b" e igual cantidad de clorofila "C₁" y "C₂".

$$\text{Chl "a"} = (11.85 D_{664} - 1.54 D_{647} - 0.08 D_{630}) \times V/B$$

(ecuación 09)

$$\text{Chl "b"} = (-5.43 D_{664} + 21.03 D_{647} - 2.66 D_{630}) \times V/B$$

(ecuación 10)

$$\text{Chls "C}_1\text{" + "C}_2\text{"} = (-1.67 D_{664} - 7.60 D_{647} + 24.52 D_{630}) \times V/B$$

(ecuación 11)

Modificamos estas ecuaciones para uso de metanol, aumentando el valor de los coeficientes de absorción en un 16.8%, con lo cual quedaron de la siguiente manera:

$$\text{Chl "a"} = (13.9 D_{665} - 1.77 D_{647} - 0.09 D_{630}) \times V/B.$$

(ecuación 12)

$$\text{Chl "b"} = (-6.23 D_{665} + 24.13 D_{647} - 3.05 D_{630}) \times V/B.$$

(ecuación 13)

$$\text{Chls "C}_1\text{" + "C}_2\text{"} = (-1.91 D_{665} - 8.69 D_{647} + 28.05 D_{630}) \times V/B.$$

(ecuación 14)

² El etanol también es un solvente de tipo alcohólico con características de extracción muy parecidas al metanol.

Por otra parte, realizamos una segunda modificación a las ecuaciones de Jeffrey & Humphrey (1975), con el fin de obtener fórmulas que -además de poder emplearse en aguas dulces y con metanol-, tomasen en cuenta la interferencia producida por los feopigmentos, mismos que -como ya hemos mencionado- tienen su espectro de absorción a 665 nm, al igual que la clorofila "a". Para tal efecto, se tomó en cuenta la fórmula de Lorenzen (1967) (ver ecuaciones 04 y 05), en donde se resta la absorbancia a 665 nm después de acidificar a la lectura sin acidificar, dando como resultado las siguientes fórmulas:

$$\text{Clo "a"} = (13.9 [D_{665} - D_{665a}] - 1.77 D_{647} - 0.09 D_{630}) \times V/B$$

(ecuación 15)

$$\text{Clo "b"} = (-6.23 [D_{665} - D_{665a}] + 24.13 D_{647} - 3.05 D_{630}) \times V/B$$

(ecuación 16).

$$\text{Clo "c}_1 + \text{c}_2" = (-1.91 [D_{665} - D_{665a}] - 8.69 D_{647} + 28.05 D_{630}) \times V/B$$

(ecuación 17).

Por último, se comprobó que los resultados obtenidos en las ecuaciones modificadas coincidieran con la ecuación de Talling & Driver (1963) para chl "a" con metanol (ec. 04), mediante la determinación de la exactitud en % (ver siguiente apartado).

MATERIAL Y METODOS.

Se muestrearon trimestralmente durante un año (Abril 1988 - Mayo 1989) los lagos-cráter de la Región de los Llanos, en el Estado de Puebla, México. En cada lago se establecieron 4 estaciones, 3 litorales y una limnética (láminas 3, 4 y 5). En esta última se tomaron muestras de columna a 0 m, 5 m, 10 m y progresivamente cada 10 m hasta el fondo de cada lago. Para llegar a los niveles profundos se empleó una botella Niskin de 5 litros y una botella Van Dorn de 2.5 litros de capacidad. Cada muestra consistió en 2 litros de agua en garrafones de plástico, mantenida en condiciones de hielo y obscuridad, y almacenada un máximo de 48 hrs.

Una vez en el laboratorio se aplicó la técnica de extracción y cuantificación de clorofilas según Estrada *et.al.* (1975) y Golterman *et.al.* (1978), modificada para aguas epicontinentales por Vilaclara (sin publicar), empleando para las lecturas de absorbancia un espectrofotómetro Hewlett Packard, modelo 8450 A.

A continuación se describe paso a paso dicho procedimiento (POE -Procedimiento Organizativo Estándar- ASTM, 1990):

1 Se filtra una cantidad "B" (en litros) de agua hasta que el filtro² se colorea de verde. En muestras oligotróficas, si el filtro se tapa por partículas en suspensión pero no se ha puesto verde, entonces se puede emplear un segundo filtro para seguir filtrando suficiente muestra de modo que sea posible obtener una lectura.

2 Se retira el filtro húmedo pero no empapado, cuidando de no tocar la "región verde", y se dobla en dos, de tal manera que la clorofila quede hacia dentro; se enrolla y se introduce en un tubo de cristal de 15 ml con tapa de rosca. Se agregan unos cuantos ml de metanol al 100% hasta alcanzar aproximadamente 10 ml (la humedad retenida por el filtro hace que el metanol quede ligeramente diluido).

Los pasos 1 y 2 deben realizarse con luz atenuada para evitar la degradación de las clorofilas.

3 Inmediatamente después, cada tubo se debe cubrir con papel aluminio para evitar que la clorofila fotorreaccione y se guardan en frío (4° C) y obscuridad durante 24 hrs.

4 Pasadas las 24 hrs. se agita el tubo cuidadosamente. Se vacía el contenido (sin el filtro) en tubos de centrifuga graduados. Se puede adicionar un poco de metanol para enjuagar bien el filtro. Sea "V" la cantidad total de metanol vertida en el tubo de centrifuga (en mililitros).

5 Posteriormente, se colocan los tubos en la centrifuga, equilibrando perfectamente el peso para evitar roturas de tubos, y se centrifugan 10 minutos a 3000 revoluciones por minuto.

6 Se vacían a tubos de rosca limpios, cuidando que no se pase el centrifugado (sedimento) (no importa que quede un poco de metanol junto con el sedimento, ya que las clorofilas se hallan homogéneamente distribuidas en todo el líquido). Nuevamente, se cubren los tubos con el papel de aluminio.

Para evitar errores, se debe de ser muy cuidadoso en el correcto etiquetado de los tubos en los pasos 2 al 6.

² Los filtros a utilizar deben tener 0.45 μ m de diámetro de poro. Se utilizaron filtros de membrana (Millipore HAWC 045), por ser los únicos que se fabrican en México, aunque se recomienda el uso de filtros de fibra de vidrio (Lorenzen, 1967).

7 Se enciende el espectrofotómetro. Se enjuagan las cubetas (o celdas) del mismo con etanol y luego con metanol.

8 Se prepara un blanco de metanol al 100% y con éste se calibra el aparato.

9 Se leen las muestras a las longitudes de onda establecidas (las principales son: 430,647,665 y 750nm -ésta última como blanco-), que varían según el autor y los intereses del investigador.

10 Por último, se agregan 2 a 3 gotas de HCl 0.1 N a cada tubo o muestra para acidificar (con lo cual se libera el Mg de la molécula de clorofila y se producen productos de degradación). Se agita, se dejan pasar unos pocos minutos y se realiza la lectura en las longitudes de onda de 665 y 750 nm.

A los datos obtenidos se aplicaron las fórmulas para clorofila "a", "b" y "c" modificadas que incluyen feopigmentos (ecs. 12, 13 y 14), las fórmulas modificadas que restan los feopigmentos (ecs. 15, 16 y 17) y la fórmula para clorofila "a" para metanol de Talling & Driver (1963) (ec. 06), con el fin de comparar los diferentes resultados.

Se calculó la exactitud en % (E%), dividiendo la concentración de clorofila "a" obtenida de alguna de las ecuaciones modificadas (ec. 12 ó 15) por la clorofila "a" obtenida de la ecuación de Talling & Driver (op.cit.) (ec. 06).

RESULTADOS.

Una vez aplicadas las ecuaciones, se obtuvieron los resultados que se presentan en las tablas 01 a la 07. En ellas, se encuentra el valor promedio de clorofila para columna y zona litoral de cada muestreo según las diferentes fórmulas empleadas, así como el valor máximo y el mínimo y el coeficiente de variación en % (C.V.%). También se anota el promedio del ciclo estacional para muestras de columna y litorales.

TABLA 01 ALGHIQUICA.

VALORES PROMEDIO DE CLOROFILA SEGUN
LAS DIFERENTES FORMULAS (*)

	COLUMNA	PROMEDIO						LITORAL					
		ABR 88	JUL 88	OCT 88	FEB 89	MAY 89	DEL CICLO	ABR 88	JUL 88	OCT 88	FEB 89	MAY 89	DEL CICLO
Chl "a" PROMEDIO		3	3	2	13	10	6	2	3	1	11	174	38
(ec.06) V.MAX		9	5	6	15	35	14	3	4	2	15	327	70
V.MIN.		1	2	1	3	3	2	2	3	1	7	72	17
C.V. %		92.3	35.6	68.3	26.2	95.4	63.6	17.5	14.7	7.9	31.4	63.3	26.9
Chl "a" PROMEDIO		3	3	2	12	10	6	2	3	1	10	167	37
(ec.12) V.MAX		9	5	6	14	34	13	2	4	1	14	314	67
V.MIN.		1	2	1	3	3	2	2	3	1	6	69	16
C.V.		92.5	35.5	68.7	26.3	95.0	63.6	17.7	14.9	8.8	31.8	63.4	27.3
EX (Chl "a"/Chl "a")		95.7	95.3	94.7	95.3	95.2	95.2	95.9	95.3	94.2	95.0	96.0	95.3
Chl "b" PROMEDIO		< 1	< 1	< 1	1	2	1	< 1	< 1	< 1	1	2	1
(ec.13) V.MAX		< 1	1	1	2	7	2	< 1	< 1	< 1	2	5	1
V.MIN.		0	< 1	0	1	0	< 1	< 1	< 1	< 1	1	0	< 1
C.V.		75.2	53.2	58.6	38.9	137.2	72.6	114.4	14.4	42.3	57.6	141.4	74.0
Chl c1+c2PROMEDIO		1	1	1	3	2	1	< 1	1	1	2	25	6
(ec.14) V.MAX		2	1	2	3	5	3	1	1	1	3	47	10
V.MIN.		< 1	< 1	< 1	1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	2	10	2
C.V.		95.9	31.0	59.1	27.2	80.1	58.7	36.3	9.2	18.2	24.8	64.2	30.6
Clo "a" PROMEDIO		2	2	1	7	7	4	2	2	1	6	99	22
(ec.08) V.MAX		6	3	3	8	20	8	2	2	1	9	185	40
V.MIN.		< 1	1	1	2	2	1	1	2	1	4	36	9
C.V.		86.3	40.5	72.3	29.8	77.9	61.4	19.5	13.8	8.6	30.7	64.2	27.4
Clo "a" PROMEDIO		2	2	1	6	7	3	1	2	1	6	92	20
(ec.15) V.MAX		6	3	3	8	18	7	2	2	1	8	173	37
V.MIN.		< 1	1	< 1	2	2	1	1	2	1	4	33	8
C.V.		86.1	41.4	73.4	30.5	76.1	61.5	19.9	14.2	10.6	31.6	64.2	28.1
EX (Clo "a"/Clo "a")		94.0	90.5	89.7	90.7	92.8	91.5	94.2	91.8	88.6	91.2	93.2	91.8
Clo "b" PROMEDIO		1	1	1	4	4	2	< 1	1	1	3	34	8
(ec.16) V.MAX		2	2	2	5	14	5	< 1	1	1	5	63	14
V.MIN.		< 1	< 1	< 1	2	< 1	< 1	< 1	1	1	2	16	4
C.V.		94.1	41.1	58.3	25.4	123.2	68.4	4.8	6.5	16.7	28.9	62.5	23.9
Clo c1+c2PROMEDIO		1	1	1	4	3	2	< 1	1	1	3	34	8
(ec.17) V.MAX		2	1	2	4	7	4	1	1	1	4	67	15
V.MIN.		< 1	1	< 1	1	< 1	< 1	< 1	1	1	2	11	3
C.V.		97.7	31.1	59.3	26.3	81.7	59.2	31.1	11.1	14.2	26.3	70.6	30.7

(*) Ver texto para explicacion de la tabla

TABLA 02 ATEXCAC.

VALORES PROMEDIO DE CLOROFILA SEGUN
LAS DIFERENTES FORMULAS (*)

		LITORAL				PROMEDIO	
		ABR 88	JUL 88	OCT 88	FEB 89	MAY 89 DEL CICLO	
Chl "a"	PROMEDIO		2	1	2	47	13
(ec.06)	V.MAX		2	2	3	72	20
	V.MIN.		1	1	2	21	6
	C.V.		19.7	21.2	29.0	54.2	31.0
Chl "a"	PROMEDIO		2	1	2	45	12
(ec.12)	V.MAX		2	1	3	69	19
	V.MIN.		1	1	1	20	6
	C.V.		19.1	23.1	31.0	54.2	31.9
EX (Chl "a"/Chl "a")			96.4	93.7	91.1	95.7	94.2
Chl "b"	PROMEDIO		< 1	< 1	1	2	1
(ec.13)	V.MAX		< 1	1	1	4	1
	V.MIN.		0	< 1	1	1	1
	C.V.		100.0	64.6	8.7	56.2	57.4
Chl c1+c2	PROMEDIO		< 1	< 1	1	7	2
(ec.14)	V.MAX		< 1	< 1	1	11	3
	V.MIN.		< 1	< 1	< 1	3	1
	C.V.		89.6	12.1	34.0	54.3	47.5
CLO "a"	PROMEDIO		1	1	1	29	8
(ec.08)	V.MAX		1	1	2	44	12
	V.MIN.		1	< 1	1	15	4
	C.V.		26.1	24.1	54.4	49.3	38.5
Clo "a"	PROMEDIO		1	1	1	27	7
(ec.15)	V.MAX		1	1	2	41	11
	V.MIN.		1	< 1	< 1	14	4
	C.V.		25.4	28.6	63.3	48.9	41.5
EX (CLO "a"/Clo "a")			93.0	86.9	78.4	93.5	87.9
Clo "b"	PROMEDIO		< 1	1	2	10	3
(ec.16)	V.MAX		< 1	1	2	16	5
	V.MIN.		< 1	< 1	2	4	1
	C.V.		43.6	25.6	6.1	61.1	34.1
Clo c1+c2	PROMEDIO		< 1	< 1	1	9	3
(ec.17)	V.MAX		1	< 1	1	15	4
	V.MIN.		< 1	< 1	1	4	1
	C.V.		69.7	13.7	27.7	56.4	41.9

(*) Ver texto para explicación de la tabla

TABLA 03 LA PRCIOSA.

VALORES PROMEDIO DE CLOROFILA SEGUN
LAS DIFERENTES FORMULAS (*)

	COLUMNA	PROMEDIO					LITORAL	PROMEDIO				
		MAY 88	AGO 88	DIC 88	MAR 89	DEL CICLO		MAY 88	AGO 88	DIC 88	MAR 89	DEL CICLO
Chl "a" PROMEDIO		1	2	5	10	4	2	15	6	4	7	
(ec.06) V.MAX		1	3	14	42	15	5	22	11	4	10	
V.MIN.		0	< 1	3	3	1	1	4	2	3	2	
C.V.		63.7	38.9	83.6	137.9	81.0	72.5	53.3	63.2	17.4	51.6	
Chl "a" PROMEDIO		< 1	2	4	10	4	2	14	6	4	6	
(ec.12) V.MAX		1	3	13	40	14	4	20	10	4	10	
V.MIN.		0	< 1	2	3	1	1	4	2	3	2	
C.V.		63.5	38.6	82.2	137.9	80.6	72.7	53.1	63.0	18.0	51.7	
K1 (Chl "a"/Chl "a")		94.6	96.2	94.5	94.3	94.9	96.3	95.5	95.3	94.3	95.4	
Chl "b" PROMEDIO		< 1	< 1	1	2	1	< 1	1	1	1	1	
(ec.13) V.MAX		< 1	< 1	6	8	4	< 1	3	1	8	3	
V.MIN.		0	0	< 1	1	< 1	0	< 1	< 1	1	< 1	
C.V.		223.6	80.3	145.7	135.9	146.4	141.4	77.0	80.0	5.9	76.1	
Chl c1+c2 PROMEDIO		2	< 1	1	2	1	2	3	1	1	2	
(ec.14) V.MAX		2	1	2	10	4	2	5	2	1	2	
V.MIN.		1	0	< 1	1	< 1	2	1	0	0	1	
C.V.		26.0	53.2	66.8	144.5	72.6	11.7	55.0	64.3	72.3	50.8	
CLO "a" PROMEDIO		< 1	1	2	6	2	1	8	3	2	4	
(ec.08) V.MAX		< 1	2	4	24	7	3	12	6	3	6	
V.MIN.		0	< 1	1	2	1	< 1	2	1	2	1	
C.V.		110.8	43.0	40.8	141.2	84.0	90.0	55.0	59.9	12.7	54.4	
Clo "a" PROMEDIO		< 1	1	2	5	2	1	7	3	2	3	
(ec.15) V.MAX		< 1	2	3	22	7	3	11	5	2	5	
V.MIN.		0	< 1	1	1	1	0	2	1	2	1	
C.V.		116.7	43.2	30.4	141.6	83.0	91.9	54.9	59.3	13.3	54.8	
K1 (CLO "a"/Clo "a")		79.2	93.2	88.2	89.7	87.6	91.7	91.7	91.5	90.5	91.3	
Clo "b" PROMEDIO		< 1	< 1	3	4	2	< 1	4	2	2	2	
(ec.16) V.MAX		< 1	1	10	17	7	< 1	7	4	2	3	
V.MIN.		0	0	1	2	1	0	1	1	1	1	
C.V.		99.5	56.9	131.9	134.4	105.7	70.9	58.5	71.5	7.5	52.1	
Clo c1+c2 PROMEDIO		2	1	1	3	2	2	4	1	1	2	
(ec.17) V.MAX		2	1	3	13	5	2	6	3	1	3	
V.MIN.		1	0	1	1	1	2	1	< 1	0	1	
C.V.		25.3	50.0	82.0	142.2	74.9	13.6	54.1	65.0	73.1	51.4	

(*) Ver texto para explicación de la tabla

TABLA 04 QUECHULAC

VALORES PROMEDIO DE CLOROFILA SEGUN
LAS DIFERENTES FORMULAS (*)

	COLUMNA	PROMEDIO					LITORAL				PROMEDIO
		MAY 88	AGO 88	DIC 88	MAR 89	DEL CICLO	MAY 88	AGO 88	DIC 88	MAR 89	
Chl "a" PROMEDIO	(ec.06)	3	11	13	55	20	3	5	19	55	21
V. MAX		6	40	15	60	30	4	7	35	64	27
V. MIN.		< 1	3	10	49	16	2	3	11	49	16
C.V.		69.1	124.3	14.6	8.6	54.1	16.7	30.9	60.2	11.3	29.8
Chl "a" PROMEDIO	(ec.12)	3	11	12	52	19	3	5	18	52	19
V. MAX		6	38	14	57	29	3	7	34	61	26
V. MIN.		< 1	3	10	47	15	2	3	10	47	16
C.V.		71.1	123.8	14.7	8.6	54.5	16.9	30.8	60.9	11.8	30.1
EX (Chl "a"/Chl "a")		92.6	95.4	94.8	94.9	94.4	94.7	95.2	95.4	94.2	94.9
Chl "b" PROMEDIO	(ec.13)	< 1	2	2	9	3	< 1	1	2	13	4
V. MAX		< 1	8	2	10	5	< 1	1	2	23	6
V. MIN.		0	0	2	8	3	< 1	< 1	1	7	2
C.V.		76.9	167.8	9.5	5.5	64.9	20.3	40.8	18.1	51.6	32.7
Chl c1+c2 PROMEDIO	(ec.14)	3	2	2	8	4	2	1	2	9	4
V. MAX		4	6	3	9	5	3	2	3	10	4
V. MIN.		2	< 1	2	8	3	2	1	2	7	3
C.V.		28.3	98.2	20.1	4.8	37.8	9.8	38.8	25.0	14.7	22.1
CLO "a" PROMEDIO	(ec.08)	2	5	7	30	11	2	3	11	30	11
V. MAX		5	16	8	33	15	2	3	23	34	16
V. MIN.		0	2	5	27	8	1	2	5	28	9
C.V.		83.5	103.5	14.5	7.1	52.2	18.7	27.5	72.6	9.5	32.1
Clo "a" PROMEDIO	(ec.15)	2	5	6	27	10	2	2	10	27	10
V. MAX		4	14	7	30	14	2	3	22	31	14
V. MIN.		0	1	5	24	8	1	2	5	26	8
C.V.		86.9	99.7	14.7	7.1	52.1	19.6	27.0	74.7	10.6	33.0
EX (CLO "a"/Clo "a")		91.4	91.0	90.2	90.6	90.8	90.4	91.0	91.3	89.4	90.5
Clo "b" PROMEDIO	(ec.16)	1	5	5	20	8	1	2	5	25	8
V. MAX		1	19	5	22	12	1	2	6	34	11
V. MIN.		0	1	4	18	6	1	1	4	17	6
C.V.		54.1	152.0	11.8	8.1	56.5	14.3	37.7	19.9	28.2	25.0
Clo c1+c2 PROMEDIO	(ec.17)	3	3	3	12	5	2	2	3	12	5
V. MAX		4	9	4	13	7	3	2	5	14	6
V. MIN.		2	1	2	11	4	2	1	3	10	4
C.V.		27.9	111.6	18.0	6.2	41.0	10.0	38.2	30.6	13.4	23.0

(*) Ver texto para explicación de la tabla

TABLA 05 ALJOJUCA.

VALORES PROMEDIO DE CLOROFILA SEGUN
LAS DIFERENTES FORMULAS (*)

	COLINA					LITORAL				
	JUN 88	SEP 88	ENE 89	ABR 89	PROMEDIO DEL CICLO	JUN 88	SEP 88	ENE 89	ABR 89	PROMEDIO DEL CICLO
Chl "a" PROMEDIO	12	9	2	15	10	2	16	10	22	13
(ec. 06) V. MAX	47	28	8	23	27	2	38	26	33	25
V. MIN.	< 1	2	1	10	3	1	3	1	18	6
C. V.	124.5	98.0	101.0	28.9	88.1	24.2	92.2	107.6	33.0	64.2
Chl "a" PROMEDIO	12	9	2	14	9	2	15	10	21	12
(ec. 12) V. MAX	43	26	8	22	25	2	35	25	31	23
V. MIN.	< 1	2	1	10	3	1	3	1	16	5
C. V.	123.3	97.4	101.9	29.2	88.0	23.7	91.9	107.9	33.2	64.2
EX (Chl "a"/Chl "a")	94.2	93.5	93.0	95.1	94.0	92.4	94.8	94.3	95.3	94.2
Chl "b" PROMEDIO	5	4	1	2	3	1	3	1	2	2
(ec. 13) V. MAX	25	14	2	3	11	1	9	3	3	4
V. MIN.	< 1	< 1	< 1	1	< 1	< 1	< 1	< 1	1	< 1
C. V.	158.4	113.3	75.0	41.9	97.1	40.5	108.0	75.3	53.1	69.2
Chl c1+c2PROMEDIO	2	2	1	2	2	1	3	2	5	2
(ec. 14) V. MAX	9	5	1	5	5	1	6	3	7	4
V. MIN.	< 1	< 1	< 1	1	< 1	1	1	< 1	4	1
C. V.	146.3	82.4	30.6	65.6	81.2	36.4	95.6	81.9	33.5	61.9
Clo "a" PROMEDIO		2	1	7	3		9	5	9	8
(ec. 08) V. MAX		4	1	13	6		20	12	18	17
V. MIN.		1	< 1	4	2		2	1	0	1
C. V.		68.7	39.2	37.1	48.3		93.3	104.1	80.9	92.8
Clo "a" PROMEDIO		1	1	6	3		8	4	9	7
(ec. 15) V. MAX		2	1	12	5		18	11	17	15
V. MIN.		1	< 1	4	1		2	1	0	1
C. V.		49.1	30.2	39.1	39.5		92.9	104.6	80.9	92.8
EX (Clo "a"/Clo "a")		69.8	79.4	89.4	79.5		89.9	88.5	92.4	90.3
Clo "b" PROMEDIO		8	2	5	5		7	4	6	6
(ec. 16) V. MAX		25	5	8	13		17	9	8	11
V. MIN.		1	1	4	2		1	1	4	2
C. V.		109.7	101.4	24.6	78.5		99.1	98.2	26.4	74.6
Clo c1+c2PROMEDIO		3	1	3	2		4	2	6	4
(ec. 17) V. MAX		8	2	7	6		8	5	9	8
V. MIN.		0	1	2	1		1	< 1	5	2
C. V.		89.4	55.6	47.7	64.2		94.2	91.1	33.5	72.9

(*) Ver texto para explicación de la tabla

TABLA 06 TECUITLAPA.

VALORES PROMEDIO DE CLOROFILA SEGUN
LAS DIFERENTES FORMULAS (*)

	COLUMNA	PROMEDIO					LITORAL				
		JUN 88	SEP 88	ENE 89	ABR 89	DEL CICLO	JUN 88	SEP 88	ENE 89	ABR 89	DEL CICLO
Chl "a"	PROMEDIO	80	92	211	108	123	107	100	149	52	102
(ec.06)	V.MAX	84	101	251	164	150	125	130	163	67	121
	V.MIN.	75	81	164	47	92	89	58	139	26	78
	C.V.	5.6	9.2	17.0	44.6	19.1	16.9	30.3	6.9	35.1	22.3
Chl "a"	PROMEDIO	77	88	203	104	118	103	96	143	50	98
(ec.12)	V.MAX	81	97	242	158	144	120	125	156	64	116
	V.MIN.	72	78	158	45	88	85	56	134	25	75
	C.V.	5.7	9.2	17.1	44.7	19.1	17.0	30.6	6.8	34.7	22.3
EX (Chl "a"/Chl "a")		96.0	95.9	96.1	95.8	96.0	96.0	95.9	96.0	96.5	96.1
Chl "b"	PROMEDIO	1	3	1	3	2	2	2	3	1	2
(ec.13)	V.MAX	2	3	2	4	3	3	5	4	2	4
	V.MIN.	1	2	0	1	1	1	0	0	0	1
	C.V.	56.0	28.1	99.7	61.0	61.2	56.3	121.4	72.4	72.6	80.7
Chl c1+c2	PROMEDIO	13	16	31	16	19	17	15	23	4	15
(ec.14)	V.MAX	13	17	35	24	23	18	17	29	11	19
	V.MIN.	12	13	24	10	15	15	11	20	0	12
	C.V.	3.9	12.9	15.3	37.2	17.3	9.7	15.7	17.3	141.4	46.0
CLO "a"	PROMEDIO		47	101	54	68		51	34	25	37
(ec.08)	V.MAX		53	134	90	92		67	55	35	52
	V.MIN.		42	69	20	44		30	0	11	14
	C.V.		9.4	26.0	53.7	29.7		30.4	71.5	41.3	47.7
Clo "a"	PROMEDIO		43	93	50	62		47	29	24	33
(ec.15)	V.MAX		48	125	84	86		62	49	32	48
	V.MIN.		38	63	18	39		27	0	10	12
	C.V.		10.0	26.9	54.7	30.5		31.0	71.9	41.1	48.0
EX (CLO "a"/CLO "a")			91.9	91.6	91.1	91.5		92.1	87.4	92.6	90.7
Clo "b"	PROMEDIO		23	50	27	34		23	55	12	30
(ec.16)	V.MAX		26	56	38	40		26	63	17	35
	V.MIN.		17	44	16	26		18	45	4	22
	C.V.		19.0	10.0	32.3	20.4		15.9	13.9	45.4	25.1
Clo c1+c2	PROMEDIO		22	46	24	31		22	39	5	22
(ec.17)	V.MAX		24	52	35	37		25	45	16	29
	V.MIN.		18	37	13	23		15	33	0	16
	C.V.		14.1	13.4	36.4	21.3		20.1	12.2	141.4	57.9

(*) Ver texto para explicación de la tabla

TABLA 07 TIBQUITLAPA-NTE.

VALORES PROMEDIO DE CLOROFILA SEGUN
LAS DIFERENTES FORMULAS (*)

	LITORAL				
	JUN 88	SEP 88	ENE 89	PROMEDIO ABR 89 DEL CICLO	
Chl "a" PROMEDIO		1708	1291	1749	1583
(ec. 06) V. MAX		1916	1374	1901	1730
V. MIN.		1501	1209	1596	1435
C. V.		12.2	6.4	8.7	9.1
Chl "a" PROMEDIO		1641	1227	1682	1516
(ec. 12) V. MAX		1839	1312	1828	1660
V. MIN.		1442	1142	1536	1373
C. V.		12.1	7.0	8.7	9.3
EX (Chl "a"/Chl "a")		96.1	95.0	96.2	95.7
Chl "b" PROMEDIO		18	178	0	65
(ec. 13) V. MAX		29	254	0	94
V. MIN.		8	101	0	36
C. V.		58.7	43.2		50.9
Chl c1+c2 PROMEDIO		262	241	253	252
(ec. 14) V. MAX		295	246	278	273
V. MIN.		228	236	228	231
C. V.		12.9	2.0	10.0	8.3
CLO "a" PROMEDIO		486	19	699	402
(ec. 08) V. MAX		847	28	821	566
V. MIN.		126	10	577	237
C. V.		74.2	47.6	17.5	46.4
Clo "a" PROMEDIO		419	0	632	350
(ec. 15) V. MAX		788	0	760	516
V. MIN.		49	0	504	184
C. V.		88.3		20.3	54.3
EX (CLO "a"/Clo "a")		66.1		73.2	69.6
Clo "b" PROMEDIO		575	758	471	602
(ec. 16) V. MAX		845	793	598	745
V. MIN.		306	723	345	458
C. V.		46.9	4.6	26.8	26.1
Clo c1+c2 PROMEDIO		433	420	400	418
(ec. 17) V. MAX		546	428	464	479
V. MIN.		320	412	337	356
C. V.		26.2	1.9	15.9	14.7

(*) Ver texto para explicación de la tabla

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Comparando los valores de las fórmulas Chl "a" (Jeffrey & Humphrey, 1975, modificada en 1989 por Vilaclara y Garzón) (ec. 12) y Chl "a" (Talling & Driver, 1963) (ec. 06) como exactitud en tanto por ciento (E%) (ver tablas 1 a la 7), se observó que los valores van de 91.2% a 96.4% ($x=94.1\%$), lo cual nos indica que los valores que se obtienen con la fórmula de Chl "a" modificada para extracción con metanol tiene en promedio un 5.2% inferior con respecto a los valores que da la fórmula de Talling & Driver (1963). Por ello, consideramos que, aun cuando la fórmula modificada ha sido obtenida de forma cualitativa e intuitiva, parece ser confiable y puede dar valores que representan más o menos bien lo que ocurre en el medio natural.

Al comparar los valores de la fórmula de Chl "a" de Talling & Driver (op.cit.) (ec. 06) con los valores de la fórmula de Jeffrey & Humphrey (1975) modificada por Vilaclara y Garzón (1990) -que resta los feopigmentos cuando el metanol se emplea como extrayente (ec. 17)-, se observó que la exactitud es muy inferior a la que presentaron las fórmulas en el caso anterior. Va de 66.7% a 94.3%, con un valor promedio de aproximadamente 90% y un coeficiente de variación (C.V.) de hasta 37.8%, todo lo cual aumenta las posibilidades de error hasta en poco más del 10 % con respecto a la fórmula simple de Chl "a". Esta menor exactitud se debe seguramente a que se adicionó una variante más a las ecuaciones, y en algunos casos, probablemente a que la cantidad de clorofila y de productos de degradación era tan elevada que las gotas agregadas de HCl 0.1 N -durante la metodología para la foefitinización- no fueron suficientes para hacerla reaccionar (ejemplos claros son Tecuítlapa y Tecuítlapa-Norte), dando como resultado algunos valores "dudosos". No obstante, dichas fórmulas no pueden ser consideradas como confiables sin probarse previamente con extractos purificados de clorofilas, los cuales no se encuentran accesibles en el mercado y son muy difíciles de conseguir en el laboratorio por la gran labilidad de los mismos.

CONCLUSIONES.

Se propone como técnica de extracción de clorofilas, en aguas epicontinentales la de Estrada *et.al.* (1975) y Golterman *et.al.* (1978), modificada por Vilaclara (sin publicar).

En aguas epicontinentales, se recomienda el uso de las ecuaciones tricromáticas para clorofila a,b y c1 y c2 de Jeffrey & Humphrey (1975), modificadas para extracción con metanol por Vilaclara y Garzón (1990).

Se observó que la modificación (fusión) a las ecuaciones de Jeffrey & Humphrey (*op.cit.*) y Lorenzen (1967) -para tratar de obtener una fórmula para metanol que elimine la interferencia por feopigmentos-, requiere de mayor validación para poder ser utilizada.

Con base en lo anterior, se ha decidido emplear en el estudio de los lagos-cráter las fórmulas tricromáticas de Humphrey & Jeffrey modificadas (Vilaclara y Garzón, *op.cit.*) que no toman en cuenta los feopigmentos, los cuales, ya que pueden ser tan importantes, serán estimados a través del índice de feopigmentos y del índice de Margalef.

APENDICE # 2.

EVALUACION DE LA TECNICA DE DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO POR
PERMANGANATO DE POTASIO (DQOP) EN RELACION CON OTROS
DESCRIPTORES DE MATERIA ORGANICA EN AGUA.

INTRODUCCION.

En nuestro Pais, una de las principales causas del deterioro de la calidad de los sistemas acuáticos es el acúmulo de materia orgánica (MO) como consecuencia de la eutrofización "natural y/o cultural" (ver introducción general). El exceso de MO provoca, tarde o temprano, un déficit de oxígeno, usualmente en el fondo de los cuerpos de agua (lagos eutróficos), pero puede generalizarse a todo el sistema (aguas negras crudas), confiriéndole un aspecto desagradable; sin embargo, el problema principal es que evita la oxidación de la misma MO y acelera la pérdida del recurso (Vilaclara, 1988c).

El problema se centra, pues, en el acúmulo de MO del agua contaminada y cómo eliminarla para restaurar las características adecuadas al uso humano. Para ello, deben desarrollarse técnicas que determinen el contenido en MO de un agua problema sin tratar y su disminución una vez tratada, o bien eliminada la fuente de contaminación. Esta no es, desafortunadamente, una cuestión sencilla, por que la MO no es un conjunto de sustancias fácilmente clasificable y de características homogéneas determinables univocamente por uno o pocos análisis. Al contrario, la MO puede presentarse en forma particulada (viva como plancton y bentos, muerta como seston, suspendido o ya sedimentado), coloidal (macromoléculas, a veces de difícil biodegradabilidad) y disuelta. A su vez, dentro de estos tres tipos la composición puede variar considerablemente, desde la relativamente homogénea y putrescible de los organismos acuáticos, hasta las poco biodegradables moléculas con anillos aromáticos (naturales de tipo húmico o transformadas por el hombre, como algunos hidrocarburos) (Vilaclara, op.cit.).

Así pues, no existe un único análisis que nos ofrezca el resultado de la cantidad de MO por volumen de agua, sino varios análisis que, a pesar de haber sido estandarizados, son poco reproducibles y miden algunos tipos de MO en forma indirecta, y otros análisis con mejor precisión, pero que la miden de forma todavía más indirecta, lo cual requiere -para su interpretación- de un conocimiento considerable sobre el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos (Vilaclara, op.cit.).

JUSTIFICACION Y OBJETIVOS.

En México se utilizan generalmente dos métodos: la Demanda Química de Oxígeno por dicromato (DQOd) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno al quinto día (DBO₅). La primera utiliza dicromato de potasio como oxidante químico fuerte, la segunda es un bioensayo que mide el consumo de oxígeno por una comunidad bacteriana después de 5 días de incubación, en obscuridad y a 20°C. Ambos análisis funcionan relativamente bien en aguas domésticas brutas y tratadas hasta el nivel secundario, dado que el entorno abiótico y biótico en el que trabajan las bacterias esos 5 días no varía mucho, excepto en la carga de MO (existe composición similar de todas las aguas negras domésticas). Sin embargo, en aguas naturales el entorno abiótico y biótico resulta muy heterogéneo, lo cual se refleja en variaciones de pH y de salinidad, parámetros que influyen tanto en la DQOd como en la DBO₅. Por ejemplo, un aumento de cloruros (Cl⁻) incrementa proporcionalmente los valores de DQOd, dando como resultado valores sobreestimados de MO; asimismo, la fisiología de bacterias de aguas naturales es diferente de la de aguas negras, cambiando su composición y número. Además, es probable que las comunidades bacterianas de aguas naturales metabolicen una cantidad de MO relativamente menor al quinto día (Garzón et.al., 1989).

Por otro lado, los inóculos de bacterias de aguas negras añadidos a bioensayos de aguas naturales corren el riesgo de inactivarse y/o no sobrevivir, ya que la composición abiótica del bioensayo es completamente diferente a la del origen de los inóculos, lo cual se traduce en valores inferiores a los reales de la DBO₅ (Garzón et.al., op.cit.)

Por estas razones, se quiso probar la técnica de Demanda Química de Oxígeno por Permanganato de Potasio (DQOp) o Valor al Permanganato (VP) como posible sustituto de la DBO₅ (Margalef, com.pers.) ya que, al utilizar un oxidante químico menos fuerte que el dicromato, da valores supuestamente intermedios entre esta última y la DQOd; es decir, no es capaz de oxidar materia refractaria -como si lo hace la DQOd-, pero oxida MO biodegradable en mayor cantidad que lo hace la DBO₅ y de forma más precisa, y ello la convierte en una técnica comparable.

Finalmente, se pretende corroborar la validez del método como detector de contaminación bacteriológica (fecal) en aguas potables (Catalán, 1978).

MATERIAL Y METODOS.

Se efectuaron muestreos en diferentes cuerpos de agua, según el siguiente calendario:

Marzo-89: La Preciosa y Quechulac, Puebla
 Abril-89: Aljojuca, Tecuitlapa y Tecuitlapa Nte., Puebla
 Mayo -89: Alchichica y Atexcac, Puebla
 Junio-89: Ixtapan de la Sal, Edo. de México.

A las muestras de agua tomadas se aplicaron las técnicas: DQO_d por reflujo con Dicromato de potasio y la DBO₅ por el método de dilución según Greenberg et. al. (1985), y una variación de la técnica DQOp por consumo de permanganato de potasio (Dégrémont, 1973 ; Rodier, 1981), consistente en el empleo de una solución 0.1 N de $KMnO_4$ y de una solución de sal de Mohr 25g/l -en vez de 0.0125 N y 5 g/l respectivamente-. La técnica se aplicó en un blanco con la misma concentración de cloruros detectada en cada lago para posteriormente restarlo y eliminar la interferencia que éstos ocasionan. Asimismo, para los cuerpos de aguas naturales se determinó la concentración de clorofila "a" según la metodología que se presenta en el apéndice # 1.

Simultáneamente, desde el 19 de marzo de 1989 y hasta el 15 de enero de 1990, se tomaron muestras de agua, semanalmente, en distintos puntos de la ciudad de México y del Área Metropolitana -que abarcan las 16 delegaciones políticas del D.F. y los principales municipios conurbados del Edo de Méx.-. A dichas muestras se aplicó la técnica DQOp (Dégrémont, op.cit.) y/o la variable, antes citada, en una o más de las modalidades (métodos: a ebullición -ácido y alcalino-; a 37°C -ácido y alcalino-).

Por último, se determinó el número de bacterias coliformes totales en 100 ml de muestra por el método de filtro de membrana según Greenberg et al. (op.cit.).

A continuación se presenta el procedimiento paso a paso de las técnicas de Valor al Permanganato puestas a punto (POE -Procedimiento Organizativo Estándar- ASTM, 1990):

Técnica # 1 (medio ácido a ebullición).

- 1.- En un matraz erlen-meyer de 500 ml de capacidad¹ se colocan 100 ml de agua muestra y unas cuantas perlas de ebullición². En otro matraz se ponen 100 ml de agua desionizada de preferencia o bien bidestilada o destilada recientemente abierta, para hacer un blanco (importante ver "Interferencia").
- 2.- Se les agregan 2.5 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 50% y se agita ligeramente la muestra para que el ácido se mezcle homogéneamente.
- 3.- Los matraces se colocan en una parrilla eléctrica y se calientan hasta la ebullición.
- 4.- Una vez en ebullición se les agrega a cada uno 10 ml de permanganato de potasio 0.0125 N y se dejan exactamente 10 minutos en ebullición³.
- 5.- Inmediatamente después se enfrían a baño maría.
- 6.- Se les agrega 10 mililitros de Sal de Mohr a una concentración de 5 g/l ligeramente sulfúrica. Se agitan bien y las muestras deben cambiar a incoloras o ligeramente amarillas⁴.

¹ También pueden emplearse matraces de 250 ml de capacidad, pero se debe cuidar que todos los que se utilicen a la vez sean iguales.

² Se colocan para que la ebullición sea homogénea y evitar que se presenten ebulliciones violentas que arrojen la muestra hechándola a perder.

³ Al agregar el permanganato de potasio las muestras toman un color entre azul y violeta. Si en el transcurso de los 10 minutos que dura la oxidación, las muestras se tornan en un color café ladrillo o color vino, es un indicio de exceso de materia orgánica y, por lo tanto, no vale la pena proseguir con la técnica. En este caso se debe volver a empezar efectuando una dilución.

⁴ Si las muestras no se vuelven incoloras puede deberse a que las soluciones no están correctamente preparadas. Esto es:

- la concentración de la Sal de Mohr es menor de la que realmente debe ser.
- la concentración del Permanganato de Potasio es considerablemente mayor que la indicada.
- Ambas soluciones han sido mal elaboradas.

7.- Seguidamente se procede a titular cada muestra empleando como titulante la solución de Permanganato de Potasio 0.0125 N. El vire es de incoloro a un rosa muy tenue³.

8.- Si se gastan más de 2.0 ml de titulante, se debe comenzar el procedimiento de nuevo, pero empleando una dilución.

8a.- Para efectuar una dilución se agrega una X cantidad de agua muestra -que varía según la cantidad de materia orgánica que contenga⁴ y posteriormente se afora a 100 ml con agua desionizada preferentemente o en su defecto con agua bidestilada o destilada recién abierta.

9.- Sea A el número de mililitros gastados para titular el blanco y sea B el número de mililitros gastados para titular cada matraz de agua muestra. El gasto real en mililitros de $KMnO_4$ es igual a:
 $B - A$.

Técnica # 2 (medio alcalino a ebullición).

1.- En un matraz Erlen-meyer se colocan 100 ml de agua muestra y en otro matraz se agregan 100 ml de agua desionizada. En cada matraz se ponen unas cuantas perlas de ebullición.

2.- Se agrega un ml de solución saturada de Bicarbonato de sodio y se agita para homogenizar la mezcla. Posteriormente se agregan 2.5 ml de ácido sulfúrico al 50% y se agita nuevamente.

3.- Se colocan en una parrilla hasta llevarlos a ebullición. De aquí en adelante el procedimiento es exactamente igual al anterior..

³ Durante la titulación no debe gastarse más de 2.0 ml de titulante (Norma AFNOR, 1960 y Degremont, 1973) Si esto sucede nos indica que nuestra muestra contiene una cantidad mayor de materia orgánica que aquella que el método es capaz de cuantificar y, por lo tanto, los resultados no son confiables.

⁴ La cantidad adecuada de agua muestra que en cada caso debe de ponerse es algo que solamente se sabe con la experiencia y, por lo tanto, en un principio se deben hacer varias pruebas. Sin embargo, a manera de "guía", bastante burda, tomada a partir de la experiencia personal, se presenta lo siguiente:

-70 a 90 ml en aguas naturales oligotróficas

-40 a 60 ml en aguas naturales mesotróficas

-20 a 30 ml en aguas naturales eutróficas

- 5 a 10 ml en aguas naturales muy eutróficas

-menos de 5 ml en aguas naturales hipereutróficas y en aguas residuales crudas y tratadas secundariamente.

Técnica # 3 (medio ácido a 37°C)

Los dos primeros pasos de este procedimiento son iguales a los de la técnica # 1.

3.- Los matraces se colocan en un baño maría a 37° C.

4.- Una vez que la temperatura de las muestras dentro de los matraces llega a 37° C, se les agrega 10 ml de Permanganato de Potasio 0.0125 N y se dejan a esta temperatura durante 4 horas.

5.- Después de las 4hrs. de oxidación se agregan 10 ml de Sal de Mohr 5 g/l y se agitan las muestras para homogenizar la muestra y verificar el cambio de color a incoloro.

6.- De aquí en adelante el procedimiento vuelve a ser igual al de la técnica # 1.

Técnica # 4 (medio alcalino a 37° C).

1.- En un matraz Erlen-meyer se colocan 100 ml de agua muestra y en otro se colocan 100 ml de agua desionizada para hacer un blanco. En cada matraz se ponen unas cuantas perlas de ebullición.

2.- Se les agrega 1.0 ml de una solución saturada de Bicarbonato de sodio y 2.5 ml de una solución de ácido sulfúrico al 50 %. Se agita para homogenizar la mezcla.

3.- De aquí en adelante el procedimiento es exactamente el mismo que para la técnica # 3.

INTERFERENCIAS.

El procedimiento de esta técnica presenta una interferencia por exceso de cloruros. Se considera que 50 mg/l o más de cloruros provocan resultados erróneos (Rodier, 1981). Rodier (op.cit.) presenta una técnica para eliminar la interferencia empleando óxido de plata húmedo para hacer reaccionar los cloruros y precipitarlos en forma de cloruro de plata. Sin embargo, esta técnica presenta algunos inconveniencias para ser empleada, que a continuación se mencionan:

- El hecho de que el óxido de plata húmedo no se pueda pesar y, por lo tanto, se tenga que agrgar tanteando la cantidad, redunda en un gasto mayor de reactivo el cual tiene un elevado costo.

- Al formarse el cloruro de plata, éste se presenta como un precipitado blanco y según la técnica al dejar de formarse nos indica que la interferencia ha sido eliminada. El problema se presenta por-que el cloruro de plata es altamente fotoreactivo y en presencia de luz cambia rápidamente su color blanco a uno muy oscuro similar al del óxido de plata húmedo, dificultando el poder precisar en qué momento se ha dejado de formar el cloruro de plata.

- Finalmente, las muestras deben de filtrarse para eliminar el precipitado, para lo cual deben prepararse filtros que previamente deben ser sumergidos en hipoclorito de sodio durante al menos 24 hrs. y luego secados en una mufla. Procedimiento que aunado a los pasos anteriores requiere de un gasto considerable de tiempo y trabajo.

Por los inconvenientes anteriores se decidió eliminar este tipo de interferencia utilizando un blanco que contenga la misma concentración de cloruros que la de la muestra. Para lo cual se preparó una solución madre de cloruro de sodio a partir de la cual se prepararon las demás concentraciones utilizando agua desionizada o bidestilada o destilada recién abierta.

CALCULOS.

Cada mililitro de $KMnO_4$ empleado para oxidar la materia orgánica de una muestra equivale a 0.1 miligramos de Oxígeno Disuelto (OD), siempre y cuando la concentración de los reactivos sea exactamente igual a la señalada para cada uno. A continuación se explica el por qué de tal equivalencia:

Método 1 (pesos moleculares)

P.M. del KMnO_4 = 158.0339

P.a. del O = 15.9994

Por lo tanto, el peso molecular con el que contribuye el oxígeno en la molécula de permanganato de potasio es: O_4 = 63.9976.

Ahora bien:

El KMnO_4 se disocia en agua como sigue: KMn^{+4} y O_4^{-8} . Por lo tanto, para preparar una solución 1 N de KMnO_4 se necesitan 19.754237 g de KMnO_4 , esto es:

$$1 \text{ N} = 158.0339/8 \text{ (número equivalente)}.$$

Si 1 N (KMn_4) ---- 19.754237

Entonces 0.0125 N ---- X X = 0.2469279

Pasando a miligramos por mililitro, tenemos que:

0.2469279 g (KMn_4) --- 1000 ml --- 0.0125 N.

X mg? (KMn_4) --- 0001 ml --- 0.0125 N.

X = 0.2469279 mg KMn_4 /ml de solución 0.0125N

Si en cada 158,033.9 mg de KMn_4 hay 63,997.6 mg de OD, entonces en cada 0.2469279 mg de KMn_4 debe haber 0.09999 mg de OD.

158,033.9 mg de KMn_4 --- 63,997.6 mg de OD

0.2469279 mg de KMn_4 --- X

X = 0.09999 mg de OD \approx 0.1 mg OD/ml.

Método 2 (regla "del chorizo")

$$(0.0125 \text{ eq (KMnO}_4\text{) / L}) \times (19.754237 / 1 \text{ eq}) \times (1000 \text{ mg / 1 gr}) \\ \times (63.9976 \text{ gr} / 158.0339 \text{ gr}).$$

$$= (0.0125 \times 19.754237 \times 1000 \times 63.9976) / (158.0339)$$

$$= 99.9962 \text{ mg de OD / L.}$$

$$= 0.09999 \text{ mg de OD / ml.}$$

Método 3 (Tanto por ciento)

En una molécula de Permanganato de Potasio (KMnO_4), el oxígeno contribuye con el 40.496121 % del peso molecular.

$$\begin{array}{rcl} 158.0339 & \text{---} & 100\% \\ 63.9976 & \text{---} & X \end{array} \quad X = 40.496121$$

Entonces, en un litro de solución 0.0125 N de KMnO_4 existen 99.9962 mg de OD. y, por lo tanto, hay 0.09999 mg de OD/ml.

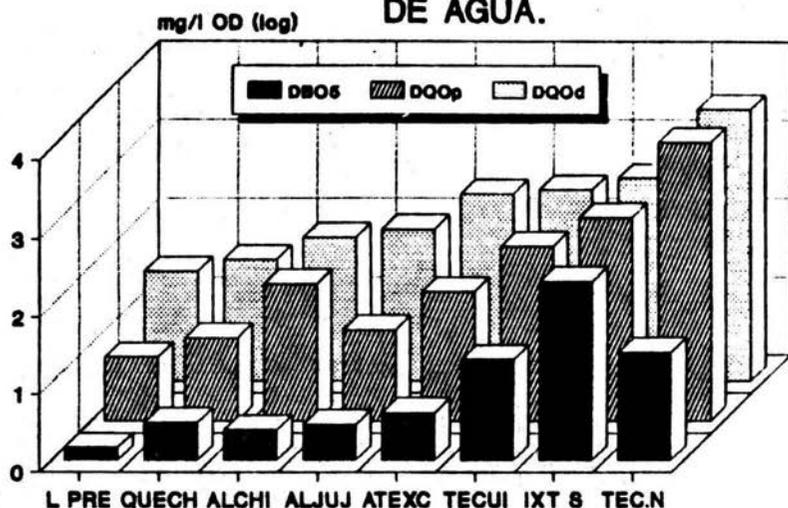
$$0.0125 \text{ N} \text{ --- } 246.9279 \text{ mg (KMnO}_4\text{) --- } 1000 \text{ ml}$$

$$\begin{array}{rcl} 246.9279 & \text{---} & 100\% \\ X & \text{---} & 40.496121\% \end{array} \quad X = 99.9962$$

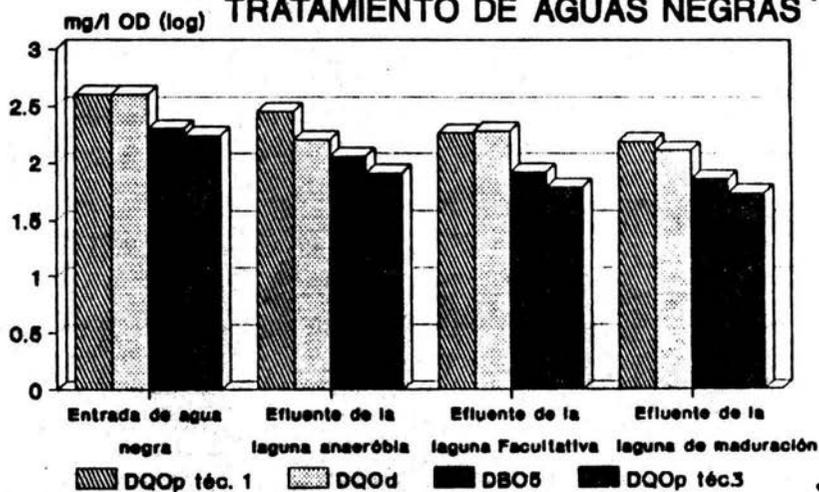
RESULTADOS.

A continuación se presentan las gráficas y tablas que muestran los resultados obtenidos:

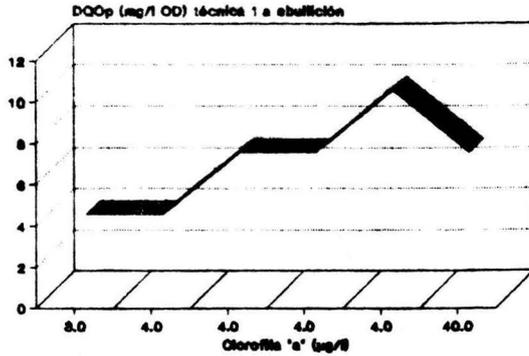
GRAFICA 01 COMPARACION DE LOS VALORES DE DBO5, DQOp Y DQOd EN DISTINTOS CPOS DE AGUA.



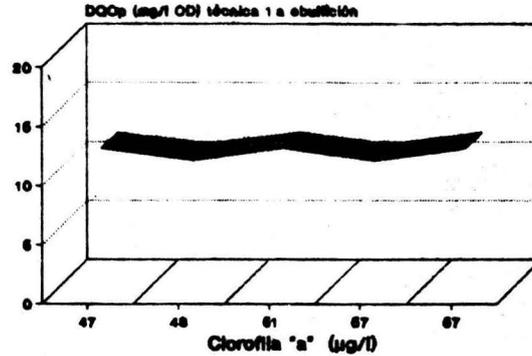
GRAFICA 02 COMPARACION DE LOS VALORES DE DBO5, DQOp Y DQOd EN UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS*



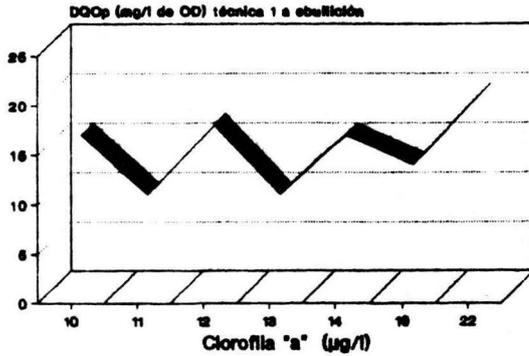
GRAFICA 03 RELACION ENTRE LA CLO A Y LA DQOp EN LA LAGUNA LA PRECIOSA, PUE. MEX.



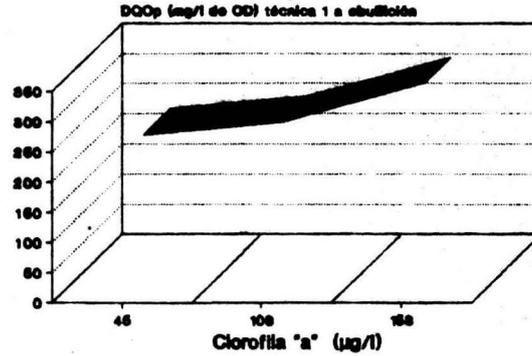
GRAFICA 04 RELACION ENTRE LA CLO A Y LA DQOp EN LA LAGUNA QUECHULAC, PUE. MEX.



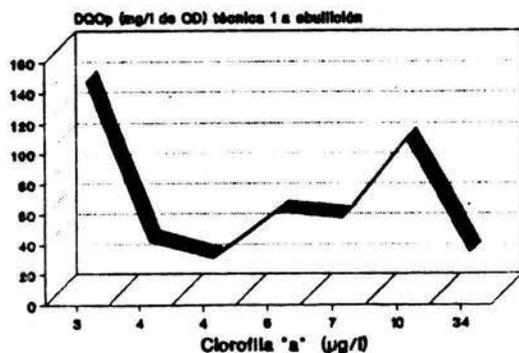
GRAFICA 05 RELACION ENTRE LA CLO A Y LA DQOp EN LA LAGUNA ALJOJUCA, PUE. MEX.



GRAFICA 06 RELACION ENTRE LA CLO A Y LA DQOp EN LA LAGUNA TECUITLAPA, PUE. MEX.



GRAFICA 07 RELACION ENTRE LA CLO A Y LA DOOp EN LA LAGUNA ALCHICHICA, PUE. MEX.



92

TABLA PROMEDIO DE DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO POR PERMANGANATO (DOOp) A INTERVALOS DE CONTAMINACION POR COLIFORMES TOTALES.

		NUMERO DE COLONIAS / 100 ml			
INTERVALOS BACTERIANOS		0	1 - 5	6 - 1999	>= 2000
METODO DOOp					
ACIDO EN EBULLICION					
KMnO ₄ 0.1 N		1.8	2.1	1.6	2.4
ACIDO A 37°C					
KMnO ₄ 0.1 N		0.8	0.8	0.0	0.8
m g / l	ALCALINO EBULLICION				
	KMnO ₄ 0.1 N	0.7	1.9	0.6	1.2
02	ALCALINO A 37°C				
	KMnO ₄ 0.1 N	0.0	0.4	0.1	1.0
ACIDO EBULLICION					
KMnO ₄ 0.0125 N		0.4	0.0	0.4	0.3
ALCALINO EBULLICION					
KMnO ₄ 0.0125 N		0.2	0.1	0.2	0.2

DISCUSION Y CONCLUSIONES.

Con base en las gráfica 01 se puede observar que la DQOp (técnica 1 a ebullición) ofrece valores intermedios entre la DBO₅ y la DQOd.

La DQOp ácida a 37° C, al parecer da valores un poco superiores a la DBO₅ en aguas negras y en aguas residuales tratadas secundariamente (gráfica 02); mientras que la técnica 3 DQOp (ácida a 37° C) da valores cercanos a la DQOd en aguas negras y aguas naturales con elevadas concentraciones de sales y/o productividad primaria. Por último, al parecer, en aguas negras tratadas secundariamente da valores superiores a la DQOd.

Se recomienda dejar de utilizar la DBO₅ en aguas naturales -dado que subestima la cantidad de materia orgánica biodegradable, por los motivos señalados en la justificación, y por que sus resultados no son comparables si varían las condiciones abióticas-.

Con base en los resultados se determina como conveniente realizar mayor número de análisis a 37° C y a ebullición, en medio ácido, para corroborar la validez de esta técnica como descriptora de MO no refractaria (de reciente síntesis orgánica) en aguas naturales, porque parece detectarse una buena correlación con valores tróficos de clorofila "a" en los cuerpos de agua que presentan una composición trófica "estable" a lo largo del año (gráfs. 03, 04 y 06) -correlación que baja mucho cuando el estado trófico varía significativamente como ocurre en Aljojuca (gráf. 05) y Alchichica (gráf. 07)-.

En la tabla 01 se presentan los valores promedio de DQOp -para cada una de las técnicas y modificaciones realizadas a la misma- con relación a intervalos de contaminación por coliformes totales en aguas potables de la ciudad de México y las áreas conurbadas del Estado de México. Con base en los resultados de dicha tabla, definitivamente no se ha detectado correlación entre las diferentes técnicas de DQOp y la contaminación bacteriológica del agua potable, por ello no se recomienda su uso en este tipo de aguas.

BIBLIOGRAFIA.

- AFNOR, (1960). Dosage d'oxygène cédé par le permanganate de potassium (Norme Française Homologuée) NFT 90 - 018.
- Alvarez, J. (1950). Contribución al conocimiento de los peces de la Región de los Llanos, Estado de Puebla (México). *Anal. Esc. Nac. Ciencias Biol.* 04 : 81-107.
- (1972). Algunos ejemplos de la especiación en peces mexicanos. *Acta Politécnica Mexicana*. México, D.F. 13 (60) : 37-47.
- Arredondo, J. ; Borrego, L. ; Castillo, R. ; Valladolid, M. (1983). Batimetría y Moerfometría de los lagos "maars" de la cuenca de Oriental, Puebla, México. *Biótica*. México 8 (1) : 37-47.
- ; Vera, O. ; Ortiz, A. (1984). Análisis de componentes principales y cúmulos, de datos limnológicos, en el Lago de Alchichica, Puebla. *Biótica* México. 9 (1) : 23-30.
- Arrignon, J. (1984). *Ecología y Piscicultura de aguas dulces*. 2a Ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 390 pp.
- A.S.T.M., (1989). *Annual book of ASTM standards, Vol. 11 04 : Pesticides; Resource Rcorey; Hazardous Substances and Oil Spill Responses; Waste Disposal; Biological Effects*. American Society for Testing & Materials, Philadelphia. 1156 pp.
- , (1990). *Annual book of ASTM standards, Vol. 11 04 : Pesticides; Resource Rcorey; Hazardous Substances and Oil Spill Responses; Waste Disposal; Biological Effects*. American Society for Testing & Materials, Philadelphia. 1156 pp.
- Brower, J. & Zar, H. (1981). *Field and laboratory methods for general ecology. "Clorophyll measurements"*. N.M.C. Bro. Co. Publishers. Dubdugue, Iowa pp.
- Buen, F. De (1945). Investigaciones sobre Ictiología Mexicana. *An. Inst. Biol. Univ. Nal. Auton. México*. 16 (2) : 475-532.
- Catalán, J. (1978). Problemática de la polución del agua. pp. 6-22 en De Lora, F. y Miró, J. (Eds.): *Técnicas de defensa del medio ambiente*. Ed. Labor, Barcelona 1334 pp.

- Clyde, D. (1973). A biogeographical History of *Chirostoma* (Pisces : Atherinidae) species flock from Mexican Plateau. *Copeia*. 3 : 533-556.
- Crisci, J. & López, A. (1983). Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica. Secretaría General de la OEA, Washington D.C. 132 pp.
- Cruz, L. (1989). Estudio de algunos aspectos de la biología de los calanoideos del embalse Danxhó, Edo. de México. Tesis profesional para obtener el título de biólogo. ENEP-Iztacala UNAM.
- Cullen, J. (1982). The deep chlorophyll maximum: Comparing vertical profiles of chlorophyll a. *Can.J.Fish.Aquat.Sci.* 39 : 791-803.
- _____ & Eppley R. (1981). Chlorophyll maximum layers of the California bight and posible mechanisms of their formation and maintenance. *Oceanologia Acta* 4 (1) : 23-32.
- _____ ; Stewart, E. ; Renger, E. ; Epply, R. and Winart, C. (1983). Vertical motion of thermocline, nitracline and chlorophyll maximum layers in relation to currents on the southern California shelf. *Jour.Mar.Res.* 41 : 239-262.
- Chávez, A. (1973). Datos hidrobiológicos del lago de Chapala Jálisco. *Rev.Soc.Mex.Hist.Nat.* (34) : 125-146.
- Chávez, M. (1986). Contribución al conocimiento de la estructura y composición de las comunidades planctónicas de Valle de Bravo, Edo. de México. Tesis profesional para obtener el título de Biólogo. Fac. de Ciencias UNAM. 227 pp.
- Chávez, S. (1975). Elementos de Oceanografía. Ed. C.E.C.S.A. México. 256 pp.
- Degrémont, Sociéte. (1973). Manual técnico del agua. Ed. Pelletier S.A., México D.F. 1142 pp.
- Díaz, E. (1981). Análisis comparativo de algunos parámetros biológicos en peces aterinidos de los axalapazcos de Puebla. Resumen V Congreso Nacional de Zoología. Cuernavaca, Morelos, Méx.

- Elias, M. ; Bravo, J. ; Garzón, M. ; Montoya, R. y Sánchez, A. (1988). Dinámica estacional del zooplancton en el embalse de la Goleta, estado de México. Memorias del XII Simposio de Biologías de Campo ; ENEP-Iztacala UNAM. 41 pp.
- Estrada, M. ; Flos, J. ; Lavall, A. ; Miracle, R. ; Planas, M. ; Riera, T. ; Ros, J., y Vallespinós, F. (1975). Prácticas de Ecología. Departamento de Ecología, Fac. de Biol., Universidad de Barcelona. 173 pp.
- Feuillade, J. (Ed.). (1985). Caracterization et essais de restauration d'un écosystème dégradé: Le lac de Nantua. INRA, Paris. 165 pp.
- FIRA, (1986). Instructivos técnicos para la formulación de proyectos de financiamiento. Serie Agroindustrias "Acuicultura". Subdirección técnica de evaluación de proyectos y asistencia. FIRA en el Banco de México 287 pp.
- Flos, J. (1979). Interpretación de varios análisis de los componentes principales aplicados a un conjunto de datos oceanográficos de una zona nerítica del golfo de Vizcaya. Inv. Pesq. 43 (3) : 611-635.
- Franco, L. (1981). Contribución al conocimiento de la estructura y composición de las comunidades planctónicas de Valle de Bravo, Edo. de México. Tesis profesional para obtener el título de biólogo, ENEP-Iztacala UNAM 90 pp.
- Fuentes, A. (1972). Regiones naturales del Estado de Puebla. Dirección General de Publicaciones, UNAM, México 143 pp.
- García, M. (1985). Caracterización físico-química y biológica del sistema del río Amacuzac al SW del Edo. de Morelos. Tesis profesional para obtener el título de biólogo. ENEP-I, UNAM. 57 pp.
- Garduño, F. (1983). Cultivo intensivo de carpa herbívora (Ctenopharyngodon idella) en jaulas flotantes, mediante el uso de 4 malezas acuáticas en el lago de Pátzcuaro, Mich., México. Tesis profesional para obtener el título de biólogo ENEP-I, UNAM. 66 pp.

- Garzón, M.; Gallegos, E.; Sáenz, G., y Vilaclara, G. (1989). Técnica del valor al permanganato como detectora de la calidad del agua: avances. Memorias del IX Coloquio de Investigación. ENEP-I, UNAM. México.
- Gasca, A. (1981). Algunas notas de la génesis de los lagos-cráter de la cuenca de Oriental Puebla-Tlaxcala-Veracruz. INAH departamento de prehistoria. Colección Científica Prehistoria. vol. 98, México. 55 pp.
- Golterman, H.; Clymo, R., & Ohnstad, M. (1978). Methods for Physical and Chemical Analysis for Fresh Waters. IBP Hnadbook No 8 Blackwell SCI. Publications. Oxford. 1010 pp.
- González, I. (1987). Algunos aspectos de la biología de los Bosminidos del embalse Danxhó, Edo. de México. Tesis profesional para obtener el título de biólogo. ENEP-I, UNAM. 65 pp.
- Greenberg, A.; Trussell, R.; Clesceri, L., & Franson, M. (1985). Standard methods for the examination of water and wastewater. 16th. Ed. APHA. AWWA. WPCF. Washington. 1268 pp.
- Grosvenor, G. (1990). Yosemite : 100 years later. National Geographic 174 (4) (seccion from the president).
- Guerra, C. (1986). Análisis taxonómico poblacional de peces aterinidos (Chirostoma y Poblana) de las cuencas endorreicas del extremo sur del Altiplano Mexicano. An. Esc. Nac. Cien. Biol. México 30 : 81-113.
- Holm, H. & Riemann, B. (1978). Chlorophyll a determination: improvements in methodology. OIKOS. 30 : 438-437.
- Jeffrey, S. & Humphrey, G. (1975). New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c₁ and c₂ in higer plants, algae and natural phytoplankton. Biochem. Physical. Pflanzen. (BPP). 167 : 191-194.
- Leynaud, G. (1979). Modificaciones del medio acuático por influencia de la polución. pp. 1-26. en Pesson, P. (Ed). : La contaminación de las aguas continentales. Ed. Mundiprensa, Madrid, 335 pp.

- Lorenzen, C. (1967). Determination of chlorophyll and phaeo-pigments: spectrophotometric equations. *Limnol. and Oceanogr.* 12 : 343-346.
- Lorenzen, C. & Jeffrey, S. (1978). Determination of chlorophyll in seawater. Report of intercalibration test. *UNESCO technical papers in marine science.* 35 : 1-19.
- Lund, J. (1967). Eutrophication. *Nature.* 214 : 557-558.
- Mackinney, G. (1941). Absorption by chlorophyll solutions. *J. Biol. Chem.* 140 : 315-322.
- Margalef, R. (1974). *Ecología*. Ed. Omega, Barcelona. 927 pp
- Margalef, R. (1983). *Limnología*. Ed. Omega, Barcelona. 1010 pp.
- Marriott, F. (1984). *The interpretation of multiple observations*. Ed. Academic Press Inc. London. 117 pp.
- Marshall, D. (1987). *Biología de las algas : Enfoque Fisiológico*. Ed. Limusa, México. 235 pp.
- Moncayo, L. (1988). Peces que se cultivan en México pp 9-16. en Hernández B. y Benitez, F. (Eds.). : *Taller de actualización "Las hormonas en la producción piscícola"*. División de Extensión Académica. ENEP-I, UNAM. México. 109 pp.
- y Hernández, S. (1978). Aspectos ecológicos y pesqueros del embalse "Requena", Edo. de Hidalgo. II *Congreso Nacional de Zoología*, México.
- Moreno, C. y Palacios, D. (1987). *Estudio ficoflorístico preliminar en la presa de la Concepción, Tepetzotlan, Edo. de México*. Tesis para obtener el título profesional de biólogo. ENEP-I, UNAM. 92 pp.
- Moreno, S. (1987) *Contribución al conocimiento de las diatomeas planctónicas del embalse Danxhó, Edo. de México*. Tesis profesional para obtener el título de biólogo. ENEP-I, UNAM. México. 88 pp.

- Navarrete, S. (1981). Contribución a la biología del charal (Chirostoma jordani) de la presa Taxhimay. Tesis profesional para obtener el título de biólogo. ENEP-I, UNAM. México. 86 pp.
- Nusch, E. (1980). "Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination". Arch. Hydrobiol. 14 : 14-36.
- Piña, E. (1984). Variación estacional del fitoplancton en tres axalapazcos de la Cuenca de Oriental, Puebla. Tesis para obtener el título de biólogo. ENCB, IPN. México. 41 pp.
- Pla, E. (1986). Análisis Multivariado . Método de Componentes Principales. Secretaría General de la OEA, Washington D.C. 93 pp.
- Rai, H. (1980). Some problems in determination of photosynthetic planktonic pigments and their decomposition products. Arch. Hydrobiol. Beih. 14 : 3-13.
- Ramírez-García y Novelo, R. (1984). La vegetación acuática de seis lagos-cráter del estado de Puebla, México. Biol. Soc. Bot. México. 46 : 75-88.
- Reid, K. & Wood, D. (1976). Ecology of inland waters and estuaries. 2nd ed. D. Van Nostrand Co. New York. 485 pp.
- Reyes, M. (1979). Geología de la Cuenca de Oriental. Estados de Puebla, Veracruz y Tlaxcala. Colección Científica Prehistoria. SEP-INAH México. 62 pp.
- Rodhe, W. (1969). Crystallization of eutrophication concepts in Northern Europe. pp 50-64 en N.A.S. (Ed.) : Eutrophication, causes, consequences & correctives. Natural Academy of Sciences, Washington D.C. 661 pp.
- Rodier, J. (1981). Análisis de agua .- Aguas Naturales, Aguas Residuales, Agua de Mar. Ed. Omega, Barcelona. 1059 pp.
- Rodríguez, S. (1988). Variación estacional del género Daphnia (Cladocera, Daphnidae), en el embalse Danxhó. Ed. de México. Tesis profesional para obtener el título de biólogo. ENEP-Iztacala, UNAM. México. 72 pp.

- Salazar, M. (1981). Contribución al conocimiento de la biología de *Girardinichthys inominatus* Blecker, 1860 (Pisces, Goodeidae) del embalse Requena, Edo. de Hidalgo. Tesis profesional para obtener el título de biólogo. ENEP-Iztacala, UNAM. México. 46 pp.
- Sánchez, N. (1988). "Determinación espectrofotométrica de pigmentos fitoplanctónicos" : "Revisión y Actualización". Concurso de oposición para profesor asistente T.C., UAM. México.
- SCOR-UNESCO, (1966). Determination of photosynthetic pigments in seawaters. Monographs on Oceanographic Methodology. (Paris). (1) : 1-69.
- Sestak, Z.; Catsky, .. & Jarvis, .. (1971). Plant photosynthetic production : a manual of the methods. Academic Press, New York. 679 pp.
- Sládeček, V. (1978). Relation of saprobic to trophic levels. Verh. Internat. Verein. Limnol. Stuttgart. (20) : 1885-1889.
- Stanford, C. (1986). Consideraciones preliminares sobre la contaminación y diversidad de la Entomofauna acuática en un transecto del río Blanco Veracruz, México. Tesis para obtener el título de biólogo ENEP-Iztacala, UNAM. México. 61 pp.
- Talling, J. (1969). General Outline of spectrophotometric methods. pp 22-25 en Vollenweider, R. (Ed): A Manual On Methods for measuring primary production in Aquatic environments. Blackwell Scientific Publications. Oxford. 213 pp.
- Taylor, E. (1943). A New Ambistomid Salamander Adapted to Brackish Water. Copeia 3 : 151-156.
- Vázquez, H. (1982). Contribución al conocimiento de la biología de *Poblana alchichicae alchichicae* de Buen (Pisces, Atherinidae) del lago cráter de Alchichica, Pue. Tesis profesional para obtener el título de biólogo ENCB, IPN. México. 57 pp.
- Vilaclara, G. (1987). Crítica de la evaluación biológica de la calidad del agua mediante el sistema de saprobios y su aplicación en México. VII Coloquio de Investigación ENEP-I, UNAM. México.

Vilaclara G.; Lugo, A., y Chávez, M. (1988a) Estudio comparado de los lagos cráter de la Región de los Llanos, Pue., y su aplicación en la utilización y preservación del recurso acuático de la Cuenca Hidrográfica. Proyecto CONACyT, Clave P220CCOR880369.

-----; Sáenz, G.; Rivera, V., y Robles, E. (1988b). Estudio Comparado de los lagos cráter de la Región de los Llanos (Pue). II: Los descriptores tróficos. Memorias del VIII Coloquio de Investigación. ENEP-I, UNAM. México.

----- (1988c). Parámetros para determinar el contenido de materia orgánica en aguas naturales y de desecho doméstico, y criterios de buen o mal funcionamiento de los sistemas con base en estas determinaciones. Conferencia impartida el 17 08 88 en el curso "Avances en el diseño de lagunas de estabilización", Facultad de Ingeniería, U.A.E.M., Toluca.

-----; Chávez, M.; Lugo, a.; González, H., y Aguirre, J. (1989). Los Axalapazcos de la Región de los Llanos, Pue. 2 : Comparación Química mediante diagramas de Maucha modificados. Memorias del IX Coloquio de Investigación. ENEP-I, UNAM. México.

Vivier, P. (1979). La Eutrofización de los lagos. Estructura, funcionamiento y evolución de los lagos. pp 77-101 en Pesson, P. (Ed). : La contaminación de las aguas continentales. Ed. Mundiprensa, Madrid. 335 pp.

Vollenweider, R. (1969). "A manual on methods for measuring primary production in Aquatic environments". IBP Handbook No 12 Blackwell Scientific Publications Oxford 213 pp.

Westlake, D. (1969). "Macrophytes". pp. 25. en Vollenweider, R. (Ed).: A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 213pp.

Wetzel, R. & Westlake, D. (1969). "Periphyton". pp. 33-40. en Vollenweider, R. (Ed).: A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 213 pp.

----- (1975). Limnology. Saunders, Filadelfia. 743 pp.

Wood, R. (1975). Hydrobotanical Methods. University Park Press, Baltimore. 1/3 pp.

SEAN MIS PRIMERAS PALABRAS TAMBIEN LAS ULTIMAS:

" M U C H A S G R A C I A S "

MARCO ANTONIO.