

00344

5
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

LIMNOLOGIA DE PEQUEÑOS EMBALSES
EN EL ESTADO DE TLAXCALA

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
(BIOLOGIA DE SISTEMAS Y
RECURSOS ACUATICOS)
P R E S E N T A
JUSTO SALVADOR HERNANDEZ AVILES

DIRECTORES DE TESIS:
DRA. GUADALUPE DE LA LANZA ESPINO.
M. en C. JOSE LUIS GARCIA CALDERON.

MEXICO, D. F.

1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

274413



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

Con todo mi amor para mi esposa Rosa María, porque gracias a su apoyo, comprensión y entrega estamos realizando juntos un proyecto de vida, creciendo a través de metas e ideales compartidos.

A mis pequeños hijos Rodrigo y Miriam Jazmín, razón de trascendencia, esperanza, compromiso y parte fundamental de mi existencia.

A mis padres Jesús y Arcelia, porque su testimonio de vida, sigue floreciendo en los logros y realización de sus hijos y seres queridos.

A mis familias Hernández Avilés, Velázquez Palafox y Comunidad Mateo V, con los que siempre comparto los momentos más importantes y trascendentales.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Facultad de Ciencias de la UNAM, por la formación académica adquirida a través de los estudios de Posgrado en la Maestría en Ciencias en Biología de Sistemas y Recursos Acuáticos.

La realización del presente trabajo fue posible gracias al apoyo del Instituto de Biología y de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza UNAM, a través de sus instalaciones, equipo, material y reactivos.

Especial agradecimiento a la Dra. Guadalupe de la Lanza Espino, Investigadora del Instituto de Biología por la Dirección de la Tesis de Maestría y sus valiosas aportaciones al trabajo. Así como al M. en C. José Luis García Calderón, Investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, por la Codirección de la misma, formación académica y apoyo para el desarrollo en cada una de las fases del Proyecto de Investigación.

A los distinguidos miembros del jurado Dr. José Luis Arredondo Figueroa (miembro del Comité Tutorial), Dr. Porfirio Alvarez Torres, Dr. Xavier Chiappa Carrara, Dr. Arturo Chacón Torres y Dr. Isaías H. Salgado Ugarte por sus valiosas sugerencias, comentarios y revisión crítica para mejorar y enriquecer este trabajo.

Al Biól. Alí Chumacero López, Delegado Federal de la SEMARNAP y al Biól. José Luis Moreno Gómez, Jefe del Depto. de Fomento Pesquero y Acuacultura de la misma Secretaría en el Estado de Tlaxcala, por las facilidades brindadas para el trabajo de campo y el préstamo de las instalaciones del Centro de Producción Piscícola de Atlangatepec.

A mis amigos los Biólogos Jesús Jardón Olvera, Ma. del Carmen Galindo de Santiago, Joel Loera Pérez, Felipe Hernández Navarro y a la Hidrobióloga Elena Nuñez Portugal por su participación en alguna de las fases del trabajo, cuya colaboración fue fundamental para la culminación satisfactoria de esta Investigación.

INDICE GENERAL

	Páginas
RESUMEN	1
INTRODUCCION	3
ANTECEDENTES	5
OBJETIVOS	8
DESCRIPCION DE LA ZONAS DE ESTUDIO	9
METODO	12
RESULTADOS	
MORFOMETRIA	21
PRECIPITACION PLUVIAL Y	
EVAPORACION MEDIA.	32
DINAMICA TERMICA DE LA COLUMNA DE AGUA.	33
OXIGENO DISUELTO.	34
COMPONENTE EDAFICA	35
VISIBILIDAD AL DISCO DE SECCHI	36
POTENCIAL DE HIDROGENO	37
ALCALINIDAD	37
DUREZA	38
CONDUCTIVIDAD	39
NUTRIMENTOS	39
PRODUCCION PRIMARIA	42
CRECIMIENTO DE LAS POBLACIONES ICTICAS	43
FACTOR DE CONDICION MULTIPLE	55
ANALISIS MULTIVARIADO	56
DISCUSION DE RESULTADOS	
MORFOMETRIA	59
TEMPERATURA	60
OXIGENO DISUELTO	61
VISIBILIDAD AL DISCO DE SECCHI	62
POTENCIAL DE HIDROGENO	63
ALCALINIDAD Y DUREZA	63
CONDUCTIVIDAD	64
NITROGENO	65
FOSFORO	65
PRODUCCION PRIMARIA	66
RENDIMIENTO Y CRECIMIENTO PISCICOLA	67

ANALISIS MULTIVARIADO	71
FACTORES DETERMINANTES DE LA PRODUCCION	74
INTERACCIONES PAREADAS	75
COMPONENTE CLIMATICA-C. MORFOMETRICA	75
COMPONENTE CLIMATICA-C. EDAFICA	80
COMPONENTE MORFOMETRICA-C. EDAFICA	81
INTERRELACION DE LAS COMPONENTES ABIOTICAS Y SU INFLUENCIA CON LA PRODUCCION	84
ALTERNATIVAS DE MANEJO ACUICOLA	86
CONCLUSIONES	87
ANEXOS	89
LITERATURA CITADA	93

RESUMEN

En el presente estudio se realizó un estudio limnológico de siete microembalses permanentes: San Antonio, Rancho Escondido I y II, La Discordia, Los Remedios, San Pedro Ecatepec, y Atlangatepec del Estado de Tlaxcala. Asimismo se evaluó el crecimiento de la carpa barrigona *Cyprinus carpio rubrofasciatus* y de la carpa herbívora *Ctenopharyngodon idella*, confinadas en estos sistemas con fines acuícolas.

Estos cuerpos acuáticos presentan áreas inferiores a los 6400 m² y volúmenes menores a 9100 m³. Con formas circulares, subcirculares o elípticas y con depresiones lineales a cóncavas con microformas, se localizan sobre rocas fácilmente erosionables. Son someros, con profundidades máximas de 4 metros, profundidades relativas mayores al 2% y pendientes medias inferiores al 10%, que le confieren inestabilidad.

Son polimícticos cálidos continuos, con discontinuidades térmicas matutinas, así como termoclinas oscilantes, con una tendencia hacia la mezcla durante la tarde o la noche.

En estos microembalses la zona trofólitica es amplia, por una elevada fertilización orgánica producto de las deyecciones de los animales que abrevan en ellos, con concentraciones de oxígeno inferiores al 30% de saturación, y una trofógena en los primeros 20 a 60 cm de la columna de agua por efecto de baja penetración de luz, al existir una elevada turbidez por arcillas.

Las aguas son bicarbonatadas, con pH entre 7 y 8.7, con conductividades inferiores a los 310 µS/cm. Los procesos de dilución y concentración de sales y sólidos disueltos están poco diferenciados, debido a que las fluctuaciones de nivel no son tan drásticas de acuerdo con la estacionalidad. El contenido de nutrimentos no presentó diferencias significativas entre los microembalses, con predominio del amonio. Según las concentraciones medianas de nitrógeno inorgánico (19.17 a 75.75 µg atm/l) los microembalses tienden de la mesoeutrofia a eutrofia. Y por las del fósforo (2 a 15 µg atm/l) a la eutrofia e incluso hipereutrofia. Este último fue mayor en los bordos San Pedro Ecatepec y Ocote, como consecuencia de una mayor fertilización orgánica.

A pesar de las altas concentraciones de nutrimentos, los sistemas son poco productivos al estar limitados por una baja penetración de luz y temperaturas, con registros medianos de la producción primaria bruta (P.P.B.) entre 0.51 y 1.36 g de C m⁻²día⁻¹. A partir de los valores de producción primaria se distinguieron dos tipos de embalses: los de alta fertilización orgánica con medianas de P.P.B. superiores a los 0.80 g de C m⁻²día⁻¹ y los influenciados por una fuerte erosión que van de 0.20 a 3.6 g de C m⁻² día⁻¹. El bordo San Pedro Ecatepec fue el más productivo, al presentar una mayor alcalinidad, durezas, pH, conductividad y fósforo total, además de una zona eufótica más amplia, debido al tipo de suelo arenoso de su microcuenca de captación.

En cuanto a las ecuaciones de crecimiento de von Bertalanffy para la carpa barrigona se estimaron longitudes máximas inferiores a los 28 cm y pesos máximos por debajo de los 624 g, en intervalos cercanos a los dos años, debido a que en la época invernal se registraron temperaturas mínimas de 13°C, que provocaron que el crecimiento fuera lento o

se detuviera. La carpa herbívora presentó la tasa de crecimiento más baja. Los factores de condición múltiple registrados para las dos especies fueron menores de 20.

Con base en el análisis factorial, se determinó que cinco factores explican la mayor variación del sistema con una varianza total acumulada del 82.42%. Los tres primeros se consideraron como los más importantes: el factor I, incluyó variables morfométricas y la producción primaria, en el segundo la componente edáfica y variables morfométricas vinculadas con el contorno del sistema y en el tercer factor los nutrimentos, temperatura y el área superficial.

Los rendimientos piscícolas en estos pequeños embalses de México son dependientes de las componentes morfométrica y edáfica, como se estableció a través del modelo lineal que considera el Índice Morfoedáfico (IME), $\log \text{Rend} = 0.6014 + 1.1638 \log \text{IME}$, con $n=18$, $R^2=60.69\%$ y β_1 ($p<0.01$), donde Rend= Rendimientos piscícolas (kg/ha/año) y el $\text{IME} = \bar{z}/\text{Alcalinidad}$.

Finalmente, con base en los resultados obtenidos se propone el manejo de un policultivo que incluya especies tales como la carpa plateada (fitoplanctofaga), carpa cabezona (zooplanctofaga) y carpa barrigona (detritofaga) en una proporción de 1:2:4 respectivamente, en tallas de juvenil y una densidad de siembra de 1 org/m², con el empleo de gramíneas como alimento complementario. Se contempla la posibilidad de la implantación de charales como pequeñas pesquerías potenciales en estos ambientes y el cultivo de ajolotes, al existir una zona trofóptica desarrollada.

INTRODUCCION

Las predicciones para las pesquerías en el ámbito mundial a partir de la década de los ochenta, proponían un crecimiento sostenible del 1% por año, que incluía un manejo apropiado de las poblaciones y la expansión hacia nuevas pesquerías, así como la introducción al mercado de otros productos (Robinson, 1982). Sin embargo, la demanda de peces para el consumo humano, se proyectaba con un crecimiento alrededor del 2 al 2.4% por año, lo que implicaba que para finales del siglo si la producción pesquera permanecía constante, 72 millones de toneladas de captura de peces por pesquerías estarían disponibles en el año 2,000 (Beveridge, 1987), las cuales en la actualidad se han superado en 18 millones (FAO, 1997), empero, existe un déficit cercano a los 40 millones de toneladas, que en el nuevo siglo puede incrementarse.

Una alternativa para solventar este déficit es la acuicultura cuyos rendimientos mundiales en 1995 fueron de 21.3 millones de toneladas, con un crecimiento anual, desde 1984 del 10% (Rana, 1997). Cifra similar en la acuicultura mexicana que es, de las actividades primarias la que presenta durante la última década, el mayor dinamismo de éste sector aunque todavía de poca significancia si se le compara con la pesca y la agricultura. No obstante que se advierte un crecimiento acelerado, éste es desigual y con muchos contrastes a pesar de los múltiples esfuerzos realizados (Hernández-Avilés y García-Calderón, 1990).

En la República Mexicana existen 14,000 cuerpos de agua lénticos, de los cuales el mayor número se localizan en la zona geoeconómica Centro Occidente, que incluye a los Estados de Jalisco y Michoacán, le siguen en importancia la región Centro Sur y la Norte (Athié, 1987). De estos sistemas los más numerosos son los pequeños embalses, cuyo número alcanza el 67.13%, aunque sólo cubren 188,781 ha, el 14.74% de la superficie inundada de aguas epicontinentales. Cifra que presenta notables reducciones en la temporada de secas, pues el 90% de estos sistemas son temporales (Arredondo-Figueroa y García-Calderón, 1982) y sin embargo, su temporalidad reviste mayor importancia regional, en la medida en que se acentúa el déficit de agua, como ocurre en el Estado de Tlaxcala, donde existen 1088 cuerpos de agua los cuales ocupan una extensión total de 4288 ha, con un 98.83% de dimensiones menores a 10 ha (Tinoco y Atanacio, 1988). El estado cuenta además con 69 unidades de producción de carpa, que representan una superficie total de 27 hectáreas (SEPESCA, 1990).

Los microembalses en general son sistemas muy dinámicos con: a) amplias fluctuaciones de nivel y de las condiciones ambientales durante los periodos de sequía y lluvias b) altas cargas de nutrimentos por acarreo de material alóctono de la cuenca o fertilización orgánica c) presentan baja penetración de luz por turbiedad biogénica o abiogénica, d) movimientos continuos de la columna de agua e) amplias fluctuaciones de la temperatura a lo largo del día e incluso del año f) tienden a establecer una zona trofólitica desarrollada g) y son sistemas muy productivos que los hace susceptibles para la acuicultura (Hernández, *et al.* 1995), aunque para que cualquier estrategia de manejo sea aplicada con eficiencia es

necesario considerar las características y dinámica propia de los sistemas, como las mencionadas.

En México uno de los esfuerzos que ha tenido mayor permanencia es la siembra de peces, pues se ha fomentado desde hace más de seis décadas con el fin de apoyar el fomento pesquero y acuícola, actividad que registra actualmente la cifra de 140 millones de crías (SEPESCA, 1991), sobre todo en pequeños cuerpos de agua. Sin embargo, en éstos se sigue manteniendo la condición que han mencionado Cabrera-Jiménez y García-Calderón (1984) de solo sembrar sin dar seguimiento a sus resultados, a pesar de la importancia que pueden tener sobre todo en los pequeños cuerpos de agua, en los cuáles, éstos pueden constituir el eje rector de las actividades de las comunidades rurales. Algunas experiencias estiman de acuerdo con las condiciones de manejo, un rendimiento medio de 120 kg/ha/año con monocultivos extensivos (Arredondo-Figueroa y García-Calderón, 1982), con policultivos también extensivos se han registrado rendimientos de 750 a 1500 kg/ha/año (Hernández-Avilés y Peña-Mendoza, 1992) con máximos de 2456.53 kg/ha/año en cultivos extensivos con alimentación complementaria (Navarrete y Sánchez, 1989).

Como ya se ha mencionado la característica más sobresalientes de estos microembalses, es la interrelación que pueden presentar con otras unidades de producción como la agrícola y la pecuaria, lo que resulta de interés desde el punto de vista del manejo integrado de recursos, por el reciclaje de materiales y el empleo del agua para diversos fines, como el suministro de este recurso a los cultivos agrícolas o como abrevaderos para el ganado, entre los más relevantes (Hernández-Avilés, *et al*, 1995). Desafortunadamente esta integración constituye mas una aspiración que una realidad, toda vez que las actividades productivas son un agregado.

Sin embargo, la urgencia de aumentar la disponibilidad de alimentos plantea la necesidad de diseñar estrategias de manejo de los pequeños cuerpos de agua tomando como base la investigación sobre los flujos de energía y el reciclado de materiales como alternativa alimentaria, particularmente en las zonas de mayor densidad de población como en el centro del país, donde también se concentra la mayor parte de pequeños embalses hasta ahora subexplotados.

Los embalses seleccionados se ubican en el Estado de Tlaxcala, de gran interés, porque agrupa regiones donde existe un manejo tradicional e integrado de recursos (Altieri y Trujillo, 1987), al mismo tiempo que sufre los procesos de crecimiento poblacional, urbanización y expansión industrial en un territorio, de alta cultura que ha asimilado diversas corrientes y aportaciones a las que se suma ahora la acuicultura la que con los microembalses, se presenta como un elemento que puede articular y ser el rector de sus actividades no solo de sobrevivencia sino de desarrollo. Como una contribución al respecto, en este estudio se analizaron las componentes morfométricas, físicas, químicas y biológicas de siete bordos permanentes empleados con fines piscícolas, bajo condiciones templadas subhúmedas.

ANTECEDENTES

Para la caracterización limnológica de microembalses se han realizado diversas investigaciones que abarcan aspectos de las componentes morfométrica, química, física y biológica, analizando su variación espacio temporal, y para algunos casos su interacción interpretada por modelos multivariados.

Así, Porras (1984) integró en un estudio el conjunto de datos morfométricos de embalses situados en la Cuenca Oriental del Estado de Morelos, y encontró que la configuración de los embalses varió considerablemente de circular a elipsoidal, con cubeta de tipo parabólico y conos elípticos, además describió la importancia de las amplias fluctuaciones a lo largo del período de estudio.

Hernández-Avilés y Peña Mendoza (1992), encontraron en bordos del mismo estado, caracterizados por localizarse sobre rocas fácilmente erosionables, formas circulares y con un escaso desarrollo de las comunidades litorales. Asimismo, de acuerdo con el desarrollo del volumen los sistemas tenían una forma sinusoidal elíptica, cuya conformación permitió una mayor acumulación de sedimentos, con profundidades relativas inferiores al 2%, y una baja pendiente de las paredes, que provocó una inestabilidad térmica de la columna de agua.

Ceja y Gazano (1994), trabajaron en embalses temporales con formas irregulares del Estado de Hidalgo, con desarrollo de línea de costa superior a dos, y profundidades relativas mayores a 4%, que supondría una mayor estabilidad de la columna de agua.

Arredondo-Figueroa y García-Calderón (1982), analizaron aspectos relacionados con la variabilidad física, química y biológica de estos sistemas. Estos autores encontraron dos fases relacionadas con las fluctuaciones de nivel, una de dilución caracterizada por el aumento del volumen en la época de precipitación pluvial, y otra de concentración donde hay un decremento del mismo, principalmente por evaporación, lo que favorece la disminución e incremento de los iones en cada etapa respectivamente.

Ponce (1983), encontró para un charco temporal por medio de un análisis de cúmulos y componentes principales que la relación de la forma del embalse-contenido de calor y la dependencia volumétrica de sustancias disueltas-biomasa de fitoplancton, explicaban gran parte tanto de las variaciones del comportamiento del embalse así como de la producción primaria.

Porras (1983), realizó un estudio en el estanque de temporal "Simón Cárdenas", en el cual resaltó la relación de la temporalidad-biota y producción.

Arredondo-Figueroa (1990), al realizar un análisis de cuatro embalses temporales, por medio de la técnica de cúmulos y componentes principales de datos limnológicos, encontró para este último dividido en grupos de variables, que los parámetros morfométricos

explicaron el 80.2% de la variación total del sistema repartídose en tres componentes, las variables físicas y químicas expresaron el 86% de la varianza total de seis componentes, en cuanto a las variables ambientales la precipitación total y la máxima en 24 horas, la temperatura máxima y media fueron las variables que explicaron el 74.2% del porcentaje acumulado de la varianza total en dos componentes, y para el fitoplancton la abundancia total, la abundancia de clorofitas y bacilariofitas quedaron incluidas en la primer componente, mientras que el índice de diversidad y la clorofila "a" en el segundo, con un porcentaje de variación total acumulada de 65.7%.

La producción acuícola y pesquera en los microembalses ambientes se ha fomentado en diversos grados con base en siembras por repoblaciones, de especies como el bagre, la carpa, la tilapia y la trucha las que se seleccionaron por su buen crecimiento, alta conversión alimenticia, adaptabilidad al encierro y principalmente por el conocimiento de su biotecnología en el país (SEPESCA, 1982); sin embargo, la piscicultura de estos organismos, con excepción de la trucha no se han desarrollado eficazmente.

Pero de las anteriores especies destaca la carpa como la más importante en Tlaxcala, así como en el resto de los estados del centro y es posible encontrarla en gran parte de lagos y presas. Esta especie fue introducida en México desde el siglo pasado. Posteriormente, con el fin de diversificar la piscicultura rural, en 1956, se importó la carpa espejo proveniente de Haití, en 1968 y 1979, las provenientes de la República Popular China (Arredondo-Figueroa, 1983). Por su rendimiento desde 1985 ocupa el segundo lugar de importancia en las pesquerías de aguas interiores de México, aunque por acuicultura su desarrollo aún es incipiente. A partir de 1963 se han practicado las técnicas de reproducción, producción masiva de alevines y crías, para repoblamientos en el ámbito nacional. Para el cultivo de estas especies tanto en monocultivo como en policultivo, no se ha superado la etapa experimental y piloto (Arredondo-Figueroa, 1990).

Tampoco existe investigaciones formales de los ambientes repoblados por carpas realizadas en el Estado de Tlaxcala, aunque sí hay algunas experiencias acuícolas que se ubican en el Altiplano como las realizadas por Rosas (1976), con policultivos en diferentes condiciones en charcos permanentes y temporales en el Estado de Michoacán, trabajos que se realizaron empleando a la carpa (*Cyprinus carpio*), trucha arcoiris (*Onchorhynchus mykiss*), mojarra africana (*Oreochromis sp.*) y charal (*Chirostoma sp.*) entre otras, que alcanzaron rendimientos de 400 kg/ha.

En el cercano estado de Morelos, Porras (1981), relacionó los cambios termoplumiométricos de las zonas de trabajo en charcas temporaleras con la introducción de crías, el desarrollo, la captura y la cosecha durante un ciclo anual.

Castrejón (1983) hizo un estudio de las características hidrológicas en el bordo semitemporal "Cerro de la Era" y planteó el establecimiento de estrategias y lineamientos para consolidar una piscicultura intensiva basada en el policultivo.

Sánchez y Navarrete (1987), realizaron una comparación en el rendimiento de la carpa espejo (*Cyprinus carpio specularis*) en bordos de 0.9 ha, los cuales se encuentran en un clima templado semihúmedo. La densidad de siembra que utilizaron fue de 0.277 crías/m². En el bordo denominado Huapango "B" la población en cultivo presentó una tasa de crecimiento más alta (0.2268) y un rendimiento de 1818.4 kg/ha/año, mientras que en el Huapango "A" se obtuvieron 1110.8 kg/ha/año.

Navarrete y Sánchez, (1989), en el Estado de México, establecieron un sistema de policultivo semintensivo con carpa plateada, carpa herbívora y carpa común bajo condiciones de cultivo semintensivo en seis estanques con densidades de carga de 2,000, 6,000 y 10,000 peces por ha. En esta experiencia se obtuvieron rendimientos de 2546.53 y 2251.74 kg/ha/año en los estanques con mayor densidad.

Hernández-Avilés y Peña-Mendoza (1992) en bordos semi-permanentes (Michapa y Chavarría), tipificados por sus elevados aportes de materia orgánica, como eutróficos e hipereutróficos, trabajaron tres fases de cultivo entre mayo de 1983 y enero de 1987. Fases: I) monocultivo de *Oreochromis urolepis hornorum* (mojarra). II) Policultivo extensivo de *O. urolepis hornorum* (machos) *Cyprinus carpio rubrofasciatus* (Carpa barrigona); *Hypophthalmichthys molitrix* (carpa plateada), *Aristichthys nobilis* (carpa cabezona) con densidades de carga de 0.4 org/m². III) *O. u. hornorum* y *C. C. rubrofasciatus* con densidades de carga de 6 org/m². Los rendimientos alcanzados variaron entre 102 y 304 kg/ha/año para Michapa y Chavarría respectivamente en la fase I; de 791 kg/ha/año en la fase II y de 1500 kg/ha/año durante la última fase. Los pesos máximos fueron de 123.5 g para la mojarra y 595 g para la carpa en 20 semanas, en el bordo Chavarría. El análisis factorial resultante indicó que las variables que se relacionan con el factor edáfico y la temperatura resultaron ser las más importantes en el comportamiento del bordo de Chavarría y las de autorregulación del sistema de carbono en el bordo de Michapa. Además encontraron para estos microembalses una fase de dilución y de concentración de iones claramente definidas.

OBJETIVO GENERAL

Analizar la limnología de siete bordos permanentes, bajo condiciones de un clima templado subhúmedo en el Estado de Tlaxcala, así como evaluar con fines acuícolas el crecimiento y rendimiento de sus poblaciones ícticas.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Describir las principales características morfométricas de los microembalses.
- Evaluar la dinámica física, química y biológica de estos sistemas acuáticos en un ciclo anual.
- Analizar la correspondencia entre las variaciones climáticas y la dinámica limnológica de los microembalses.
- Caracterizar la textura de las microcuencas de captación de los bordos.
- Establecer los modelos de crecimiento y de condición de las poblaciones de ciprínidos en estos bordos.
- Evaluar los rendimientos piscícolas en función de las condiciones ambientales de la columna de agua.

DESCRIPCION DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

El estudio se realizó en siete microembalses permanentes: "La Discordia", "Los Remedios", "Rancho Escondido I", "Rancho Escondido II", y "San Antonio" que se ubican en el Municipio de San Martín Xaltocan (Fig. 1); "San Pedro" y "El Ocote" pertenecientes al Municipio de Atlangatepec, Estado de Tlaxcala (Fig. 2). Estos sistemas se encuentran localizados en la región del Balsas de la cuenca del Río Atoyac y subcuenca del Río Alceseca (INEGI, 1987).

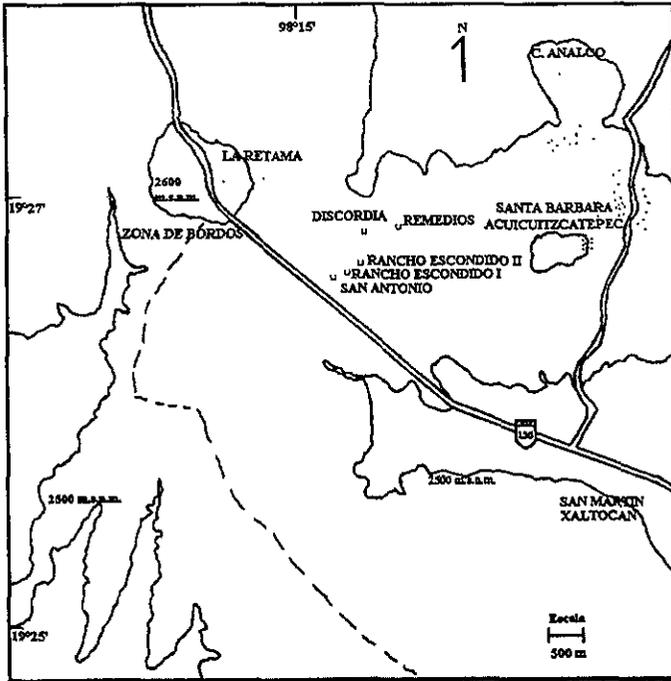


Fig. 1. Ubicación de los bordos Discordia, Remedios, San Antonio, y Rancho Escondido I y II, en el Municipio de Xaltocán Estado de Tlaxcala. Modificado del mapa topográfico E-14 B-33 Tlaxcala de Xicohtencatl (INEGI, 1981a).

El resumen de las características más importantes de las zonas donde se ubican estos cuerpos de agua se presenta en el Tabla 1. Así, para la región de Xaltocán el clima es del tipo $C(w_2)(w)$, según García (1981), descrito como templado subhúmedo con lluvias en verano. Presenta una temperatura media anual entre 12 y 14°C, los meses más cálidos son marzo, junio, julio y agosto, con una temperatura entre 14 y 16°C y los meses más fríos son diciembre y enero con una temperatura entre 11 y 12°C. La precipitación media anual

fluctúa entre 800 y 1,000 mm, la máxima incidencia de lluvia se presenta en julio, con un intervalo de 150 a 160 mm, en tanto que la sequía se registra en los meses de enero y febrero, con un valor menor de 10 mm. La frecuencia de heladas es de 40 a 60 días.

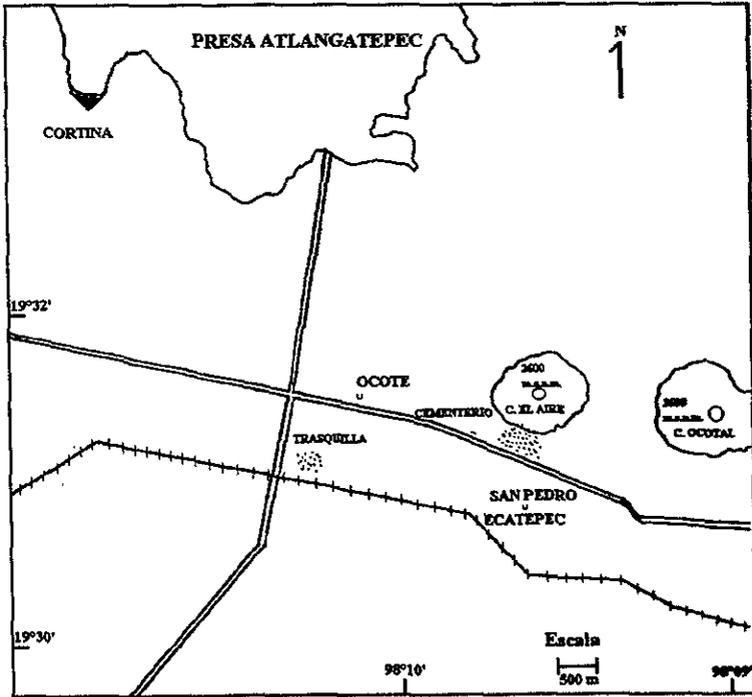


Fig. 2. Ubicación de los bordos Ocote y San Pedro Ecatepec, en el Municipio de Atlangatepec, Estado de Tlaxcala. Modificado del mapa topográfico E-14 B-23 Tlaxco INEGI (1981a).

Para la segunda región el clima según García (1986), es del tipo C (w,) (w), descrito como templado subhúmedo con lluvias en verano. Presenta un porcentaje de precipitación invernal menor de 5 mm. Con una temperatura media anual entre 12 y 14°C, precipitación media anual entre 600 y 700 mm y con una frecuencia de heladas entre 40 y 60 días.

El tipo de suelo para los bordos del Municipio de San Martín Xaltocan es Litosol + Cambisol-eutrico y Cambisol-eutrico + Vertisol pélico, de textura media con un coeficiente de escurrimiento del 5 al 10%. En la zona se practica principalmente la agricultura de temporal con cultivos anuales (INEGI, 1981a).

El tipo de suelo para "San Pedro" y el "Ocote" es Feozem haplico, con clase textural media. En la zona se practica la agricultura de temporal.

Tabla 1. Características de las zonas en donde se ubican los microembalses estudiados en el Estado de Tlaxcala

SISTEMA	MUNICIPIO	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	FÓRMULA CLIMÁTICA	
San Antonio	San Martín Xaltocan	19°26'36" a 41" latitud N	C (w ₁) (w ₂)	TEMPLADO SUBHUMEDO CON LLUVIAS EN VERANO
Ranc. Esc. I	San Martín Xaltocan	98°14'41" a 55" longitud W a 2540 m.s.n.m.		
Ranc. Esc. II	San Martín Xaltocan			
Remedios	San Martín Xaltocan	19°26'48" a 51" latitud N		
Discordia	San Martín Xaltocan	98°14'39" a 43" longitud W a 2520 m.s.n.m.		
San Pedro Ecatepec	Atlangatepec	19°31'20" a 23" latitud N 98°08'50" a 53" longitud W a 2620 m.s.n.m	C (w ₁) (w ₂)	TEMPLADO SUBHUMEDO CON LLUVIAS EN VERANO
Ocote	Atlangatepec	.		
SISTEMA	TEM. Y PRECIP.	TIPO DE VEGETACIÓN	SUELO	USO ACTUAL
San Antonio	MEDIA	RELICTO DE BOSQUE DE JUNIPERUS	LITOSOL + CAMBISOL	AGRICULTURA DE TEMPORAL
Ranc. Esc. I	ANUAL			
Ranc. Esc. II	12-14 °C 800-1000 mm			
Remedios				
Discordia			CAMBISOL- EUTRICO + VERTISOL- PELICO	
San Pedro Ecatepec.	MEDIA ANUAL 12- 14 °C 600-700 mm	RELICTO DE BOSQUE DE JUNIPERUS		AGRICULTURA
Ocote			FEOZEN- HAPLICO	DE TEMPORAL

METODO

La realización de este estudio, se organizó de la siguiente manera:

- I. TRABAJO DE CAMPO.
- II. TRABAJO DE LABORATORIO.
- III. TRABAJO DE GABINETE.

I. TRABAJO DE CAMPO

1). PERIODO DEL ESTUDIO

El trabajo de campo se llevó a partir de octubre de 1990 hasta 1997 en que se realizaron los últimos ajustes de campo para la morfometría. Se estableció en la parte central de los bordos una estación de muestreo de parámetros hidrológicos, ya que al tener áreas superficiales pequeñas y ser someros, se asumió que presentaban un comportamiento que tendía a la homogeneidad horizontal en el embalse.

2). MORFOMETRIA

Como en estos sistemas el nivel fluctúa rápidamente, se midió mensualmente durante un ciclo anual la línea de costa, por medio de segmentos con una cinta métrica marca "Lufkin" de 30 metros, con verificaciones anuales en el nivel máximo. La orientación de cada uno de estos segmentos se estableció con una brújula de cuadrantes marca "Bronton" al tomar como referencia puntos visados.

La batimetría se realizó tomando profundidades a lo largo de transectos, divididos en segmentos regulares de un metro en las zonas aledañas al litoral y de cinco metros en la zona más alejada. Los transectos se orientaron por medio de la brújula y se tomaron como puntos de referencia la longitud y anchura máxima de los bordos.

3). FISICA Y QUIMICA DEL AGUA

Se registró la visibilidad del disco de Secchi, posteriormente se colectaron muestras de agua en el nivel superficial y de fondo con una botella Van Dorn de tres litros de capacidad, a las cuales se les determinó la temperatura del agua con un termómetro de precisión de 0.1°C.

Las muestras de agua se colocaron en botellas de plástico de un litro de capacidad para el posterior análisis de los parámetros químicos. Sólo la concentración de oxígeno disuelto se determinó *in situ* con la técnica de Winkler, modificación del azida (APHA, AWWA y WPFC, 1989).

4) PRODUCCION PRIMARIA

En la misma estación de muestreo de los parámetros hidrológicos, la producción primaria se cuantificó en el nivel superficial de la columna de agua por el método de las botellas claras y oscuras (Wetzel y Likens, 1991), con un tiempo de incubación de tres horas.

5) MUESTREO DE PECES

La captura se llevó a cabo mediante un chinchorro playero de 30 m de largo por 2 m de ancho, luz de malla de 0.01 m y un cono de 2 m de largo.

El tamaño de la muestra dependió de las condiciones de variación del volumen.

Una vez capturados los peces se registraron los siguientes datos biométricos:

5.1) Peso total (g), con una balanza granataria de marca "Ohaus" triple brazo de 0.01 g de precisión.

5.2) Longitud total, longitud patrón y altura (mm) con un ictiómetro de precisión de 1 mm.

6) MUESTREO DE SUELO

Se realizaron perfiles del suelo en la microcuenca de captación de los microembalses, con la toma de muestras de la capa superficial, para su posterior caracterización textural.

II. TRABAJO DE LABORATORIO

1) DETERMINACION DE PARAMETROS QUIMICOS

Los parámetros químicos se determinaron en el laboratorio según las técnicas descritas en el APHA, AWWA y WPFC, (1989) y las compiladas por Cervantes (1986):

1.1) pH: con un potenciómetro marca "Corning" modelo 3D con precisión de 0.01.

1.2) Conductividad: por medio de un conductímetro de mesa marca "Corning" modelo 210 con precisión de 0.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

1.3) Alcalinidad: Método volumétrico utilizando ácido sulfúrico 0.02 N y como indicadores fenolfaleína y anaranjado de metilo.

1.4) Dureza total: Método volumétrico con EDTA, e indicador negro de eriocromo T.

1.5) Dureza de calcio: Método volumétrico con EDTA, y como indicador murexida.

1.6) Dureza de magnesio: Por diferencia de la dureza total y la dureza de calcio.

1.7) Nutrientes: nitratos, nitritos, amonio, fósforo total y ortofosfatos se determinaron por técnicas espectrofotométricas, descritas en el APHA, AWWA y WPFC, (1989). Fósforo total: con base en el tratamiento de persulfato de sodio, en una autoclave a una libra de presión (Calberg, 1972) y posteriormente se determinó por el método de ortofosfatos solubles.

2) DETERMINACION DE LA TEXTURA DEL SUELO

Para el análisis de la textura del suelo se utilizó el método del hidrómetro de Bouyoucos (1929), citado por Grande (1974).

III. TRABAJO DE GABINETE

1) ELABORACION DE MAPAS BATIMETRICOS Y VARIACIONES DE AREA

1.1) Con los datos registrados en campo se elaboraron los mapas de variación mensual de la línea de costa, y se calcularon las áreas, longitud y anchura máximas. Asimismo se elaboró el mapa batimétrico de los embalses al considerar el mes de máximo volumen y las hipsográficas correspondientes para precisar sus variaciones volumétricas.

2) CALCULO DE LOS PRINCIPALES VARIABLES MORFOMETRICAS

Para el análisis de la información obtenida se consideraron los métodos y técnicas compilados y propuestos por Cole (1988) y Hakanson (1977, 1981).

2.1) Area superficial (A_0): Con los datos obtenidos en campo se hicieron mapas, calculando el área superficial por medio de un planímetro polar marca "Koizumi", tipo KP-23.

2.2) Volúmenes mensuales: A partir del mapa batimétrico en el mes de máximo volumen, y con la construcción de curvas hipsográficas (Lowel y Tobin, 1986), se obtuvieron los volúmenes mensuales.

2.3) Profundidad media: Con el cociente entre el volumen (V) y el área superficial (A_0).

2.4) Desarrollo de la línea de costa (D): El cociente entre el perímetro del embalse (L) y el perímetro de la circunferencia de una misma área.

$$D_1 = \frac{L}{2\sqrt{\pi A_0}}$$

2.5) Profundidad relativa (Z_r): La profundidad máxima (Z_m) expresada como porcentaje del diámetro medio:

$$Z_r = 50Z_m \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{A_0}}$$

2.6) Relación entre la profundidad media y la profundidad máxima.

$$\bar{Z}: Z_m$$

2.7) Desarrollo del volumen (Dv): Compara la forma del cuenco con un cono invertido de altura igual a la profundidad máxima (Z_m) y de base igual al área superficial del lago.

$$Dv = 3(\bar{Z}/Z_m)$$

2.8) Porcentaje de la pendiente media:

$$100(Z_m/\sqrt{A_0/\pi})$$

2.9) Se elaboraron hipsográficas relativas y se caracterizaron de acuerdo a la clasificación propuesta por Hakanson (1981) (Fig. 3 a y b).

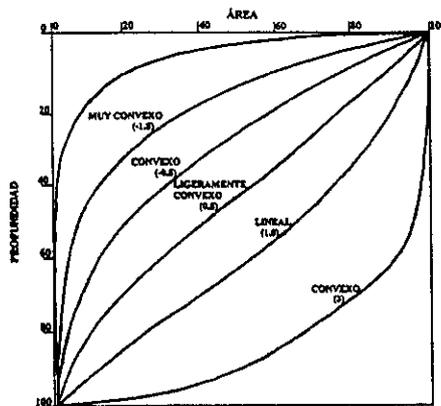


Fig. 3.a. Límites de clase para la clasificación de las formas de cuerpos acuáticos lacustres.

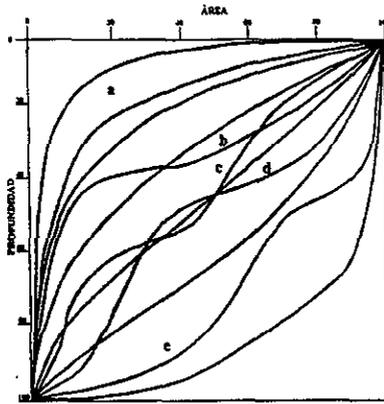


Fig. 3b. Curvas hipsográficas relativas hipotéticas que ilustran la clasificación de los lagos de acuerdo a su forma (a) Muy convexo con macroformas (Vcxma), b) Menos ligeramente convexo con meso formas (msCxme), c) Cuasi ligeramente convexo con microformas (pSCxmi), d) Menos a cuasi lineal con microformas (m-pLmi), d) Cóncavo con microformas (Cmi). (Tomado de Hakanson, 1977).

Nomenclatura para la clasificación de las formas de los cuerpos acuáticos.

- Macro, ma: sin puntos de inflexión.
- Meso, me: con un punto de inflexión.
- Micro, mi: con dos o más puntos de inflexión.

1.- Formas puras: El área cubre más del 95% en una de las clases.

- Muy convexa, VCx.
- Convexa, Cx.
- Ligeramente convexa, SCx.
- Lineal, L.
- Cóncava, C.

2.- Formas simples: El área cubre >60% en clases principales:

[VCx, Cx, SCx, L, C].

El área cubre >5% a <40% en clases secundarias:

- cuasi, p.
- menos, m
- p-m (si p > m)
- m-p (si m > p)

3.- Formas complejas.

- a) Dos de las clases principales con áreas cubiertas >40%.
 - VCx-Cx (si VCx > Cx)
 - Cx-SCx

SCx-L
L-C

b) Tres clases principales con áreas cubiertas >25%.

VCx-Cx-Scx (si VCx>Cx>SCx).

Cx-SCx-L
SCx-L-C

c) Cuatro clases principales con áreas cubiertas >20%.

VCx-Cx-SCx-L

Cx-SCx-L-C

3) ANALISIS DE LA VARIABILIDAD CLIMATICA

3.1) Con información de las precipitaciones pluviales totales y las evaporaciones totales medias mensuales de las zonas de Apizaco y Atlangatepec (estaciones meteorológicas 29-023 y 29-025 respectivamente) se elaboraron los perfiles ombrotérmicos para el período 1990 a 1992.

4) COMPORTAMIENTO TERMICO

4.1) Se elaboró un diagrama espacio-temporal de la temperatura de la columna de agua para un microembalse tipo, al no existir diferencias significativas para este parámetro entre ellos.

5) PRODUCCION PRIMARIA

5.1) Se estimó a partir del modelo general de producción primaria bruta de los ecosistemas, con base en lo compilado por Contreras (1984); Wetzel y Likens (1991).

6) MODELOS DE CRECIMIENTO PARA LAS POBLACIONES ICTICAS

6.1) Se determinó la relación peso-longitud, de acuerdo con lo citado por Everhart y Youngs, (1981).

$$W = aL^b$$

Donde a y b son constantes a determinar por medio de una regresión lineal al emplear los logaritmos de los datos de peso y longitud patrón.

$$\log W = \log a + b \log L$$

Donde:

$\log a$ = Ordenada al origen.

b = Pendiente de la recta ajustada.

6.2) Se realizó una suavización a las frecuencias de tallas y pesos, para posteriormente definir con mayor precisión las clases de edad a través del método de Bhattacharya (1967). Dentro de diferentes alternativas se probaron tres suavizadores de los datos, el de las medias móviles 3 y 5, incluidas en el programa Elefan, propuesto por Pauly (1983), y la suavización no lineal resistente 4253EHdoble compilada por Salgado-Ugarte (1992), en general, la suavización es una técnica estadística que se realiza en pasos sucesivos con la finalidad de ajustar las variaciones a tendencias atenuadas.

6.3) Ecuación de crecimiento de von Bertalanffy (1938).

$$L_t = L_\infty (1 - e^{k(t-t_0)})$$

Donde:

L_t = Longitud del pez a la edad t .

L_∞ = Longitud teórica hacia la que tiende el pez cuando $t = \infty$.

k = Coeficiente de crecimiento (cm/bimestre).

t_0 = Edad supuesta que debe tener el pez cuando su longitud sea igual a cero.

Para obtener las constantes de la ecuación de von Bertalanffy se hizo uso del gráfico de Ford (1933) y Walford (1946) en el cual se graficó la longitud de los ejemplares a la edad $t+1$ contra la longitud de la edad t , que son las clases de edad, obteniéndose una serie de puntos sobre los cuales se trazó una línea de ajuste que al interceptarse con la bisectriz del cuadrante indicó el punto al que corresponde el valor de L_∞ (Everhart y Youngs, 1981).

La obtención analítica de estas constantes se realizó con el empleo de las siguientes fórmulas:

$$L_\infty = b / (1 - m)$$

$$t_0 = b - \ln L_\infty / k$$

$$k = \ln m$$

$$t_0 = t + [1/k] (\ln L_\infty - Lt / L_\infty)$$

Donde:

b = Intersección de la línea de Ford-Walford con el eje de las ordenadas.

m = Pendiente de la línea de Ford-Walford.

Estas constantes se utilizaron de la misma manera para los valores del peso total, con el empleo del valor de la pendiente de la relación peso-longitud, con la siguiente ecuación:

$$W_t = W_{\infty} (1 - e^{k(t-t_0)})^p$$

Donde:

W_t = Peso del pez a la edad t .

W_{∞} = Peso máximo hacia la que tiende el pez cuando $t = \infty$.

p = Valor de la pendiente de la relación peso-longitud.

4.4) Factor de condición múltiple (KM): Este factor representó el estado de los organismos, eliminando los errores provocados por la variación de altura. El modelo matemático es el siguiente:

$$KM = \frac{W}{L^b * A^c}$$

Donde:

KM = Factor de condición múltiple.

W = Peso del organismo (dg).

L = Longitud del organismo (mm).

A = Altura del organismo (mm).

b y c = Constantes a determinar por resolución de ecuaciones simultáneas (Medina, 1980).

7) ANALISIS ESTADISTICOS

Para el manejo e interpretación de los datos físicos, químicos y biológicos se utilizó el análisis exploratorio de datos los desplegados de diagramas de cajas en paralelo, con las que se pueden distinguir semejanzas y diferencias entre los lotes de datos respecto a las características de nivel y localización, dispersión, sesgo, longitud de colas y casos extraordinarios. Además, para que la comparación fuera en términos de probabilidad, se calcularon las "muescas" las cuales se colocan alrededor de la mediana en las cajas, éstas permitieron saber si había diferencias con un nivel de significancia menor del 5%, cuando no se traslaparon y fueron iguales en el caso contrario (Salgado-Ugarte, 1992).

Por medio del análisis de residuos se comprobó la normalidad y homocedasticidad de los datos, posteriormente se realizó un análisis de factor, el cuál es una técnica matemática cuyo objetivo más amplio es el descubrimiento de las dimensiones de variabilidad común existentes en un campo de fenómenos (Padua, 1978). Este se hizo mediante el programa estadístico CSS (Completing Statistic System) con cargas de factor normalizada y utilizando una rotación varimax normalizada.

Los pasos fundamentales por cubrir del análisis de factor son:

a) **Preparación.**- Consiste tanto en identificar el problema por tratar, como en la formulación de hipótesis y recolección de datos. Como resultado de este paso inicial se obtiene una matriz de correlación o de varianza-covarianza entre todos los posibles pares de variables.

b) **Factorización.**- Trata de poner de manifiesto, por métodos matemáticos cuantos factores comunes es preciso admitir para explicar los datos originales a la matriz de intercorrelaciones.

Por este procedimiento surgen "nuevas variables" o factores que pueden ser definidos como transformaciones matemáticas exactas de los datos originales (análisis de componentes principales) ó a través de supuestos inferenciales acerca de la estructura de las variables y su fuente de variación (análisis factorial clásico o de componentes inferidos).

Los factores presentan las siguientes características:

- 1) Todos son ortogonales y colocados en orden según su importancia.
- 2) El primer factor es comúnmente el factor general, y el resto de los factores tiende a ser bipolar. Además cada variable posee una correlación con cada uno de los factores; a estas correlaciones se les denomina carga. De este modo la comunalidad para cada variable se representa:

$$h = f_1^2 + f_2^2 + \dots + f_n^2$$

Por otra parte, cada factor se compone de un conjunto de cargas y dan la varianza común que es la suma de los cuadrados de las cargas.

c) **Rotación.**- Trata de encontrar una estructura tal que un vector aparezca como una función de un mínimo número de variables. Optimiza las cargas con el fin de obtener una estructura más simple.

d) **Interpretación.**- Al reducir la complejidad de las variables, se forman grupos relacionados que marcan la inclusión o exclusión dentro de cada grupo por el valor de la carga. Este valor oscila entre 0.333 (Willemsen, 1973) y al menos 6/10 del mayor de las cargas en el componente en cuestión (Arredondo-Figueroa, *et al.*, 1982).

Se realizó un análisis de regresión múltiple (Willemsen, 1973), entre el crecimiento de las poblaciones ícticas y la producción primaria y la temperatura, al considerarse determinantes del mismo.

RESULTADOS

MORFOMETRIA

Los bordos estudiados son ecosistemas acuáticos artificiales de pequeñas dimensiones con áreas máximas superficiales entre 2500 m² y 6315 m² y mínimas de 1100 a 3600 m² aproximadamente, el volumen máximo que almacenan fluctúa entre 3160 m³ y 9033 m³ y el mínimo de 615 a 5713 m³ aproximadamente (Tabla 2).

Tabla 2. Resumen morfométrico de siete microembalses del Estado de Tlaxcala.

SISTEMA	Ao (m ²)		V (m ³)		L (m)	
	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO
1)SAN ANTONIO	6315.00	2286.84	8375.00	1072.73	340.7	205.0
2)RANC. ESC. I	2940.50	1522.50	5480.00	1470.00	231.0	149.0
3)RANC. ESC. II	3355.26	2880.26	5651.97	4237.80	220.5	196.0
4)REMEDIOS	3867.71	3133.33	7238.33	3175.33	228.2	189.3
5)DISCORDIA	4253.13	3633.33	9033.33	5713.33	264.4	220.5
6)SAN PEDRO ECAT.	2542.10	1677.50	3163.64	1625.45	191.0	153.8
7)OCOTE	2522.36	1163.75	3877.27	615.91	205.0	126.5

	Zm (m)		\bar{z} (m)		Zr (%)	Dl	$\bar{z} : Zm$	Dv	Pend (%)
	MAX	MIN	MAX	MIN	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
1)	2.57	1.13	1.37	0.46	2.24	1.25	0.41	1.20	4.48
2)	3.22	1.42	1.86	0.96	4.39	1.09	0.63	1.83	8.80
3)	2.70	2.25	1.68	1.47	3.99	1.05	0.61	1.91	8.05
4)	3.11	2.34	1.82	1.17	4.05	1.03	0.50	1.49	4.14
5)	3.96	2.64	2.12	1.43	4.61	1.16	0.55	1.66	5.02
6)	2.90	1.72	1.24	0.97	4.08	1.05	0.53	1.58	8.08
7)	3.22	1.19	1.54	0.53	4.60	1.10	0.48	1.43	9.19

(Ao= Área superficial, V= volumen, L= longitud máxima, Zm= profundidad máxima, \bar{z} = profundidad media, Zr= profundidad relativa, Dl= desarrollo de la línea de costa, $\bar{z} : Zm$ = cociente entre la profundidad media y máxima, Dv= desarrollo del volumen, Pend= Pendiente media)

Estos microembalses son someros, con profundidades máximas que fluctuaron entre 1.19 m y 3.96 m; con profundidades medias, alrededor de 0.46 m y 2.12 m. Según estas profundidades, estos sistemas se han considerado como muy productivos, al existir una mayor interrelación entre la columna de agua y los sedimentos, y al presentar una mayor concentración de materiales procedentes de la cuenca de drenaje.

Los microembalses presentaron razones de $\bar{z} : Zm$ entre 0.34 y 0.635 lo que indicó que se encuentran situados sobre rocas fácilmente erosionables, tomando como base a Wetzel (1981). Los valores del desarrollo del volumen fueron mayores de uno, para todos los microembalses, los que señalan una depresión cóncava, según Cole (1988).

La profundidad relativa (Zr), que indica la relación entre la profundidad máxima y el diámetro promedio de la superficie del cuerpo acuático (Cole, 1988), para todos los

microembalses, fue superior al 2%, lo que indicó que éstos tendían a la formación de discontinuidades térmicas durante el día. Sin embargo, por ser someros y presentar longitudes máximas de acción del viento entre 126 m y 340 m, se favorece rompimiento diario de los gradientes térmicos al atardecer o al anochecer.

Las profundidades relativas permitieron contrastar aquellos sistemas cuya estabilidad fue menor, los cuales tuvieron valores cercanos a dos, como San Antonio; otros bordos mostraron Z_r cercano a cuatro como los Remedios, San Pedro Ecatepec, Rancho Escondido II y aquellos que presentaron Z_r superiores a 4.5 como la Discordia, Rancho Escondido I y el Ocote, los cuales presentaron una estratificación más estable durante el día. Con profundidades relativas entre 2.24 y 4.60 % promedio.

El porcentaje de pendiente media fue menor de 10, esto implicó una distribución homogénea de los sedimentos a lo largo de la depresión batimétrica, además se favoreció el desarrollo de una zona litoral, que influyó en una mayor relación entre la interfase agua-sedimentos. Los microembalses con menor pendiente media, fueron: la Discordia, los Remedios y San Antonio, además los sedimentos de estos embalses son fangosos.

Para cinco de los microembalses, los valores calculados para el desarrollo de la línea de costa (Dl) fueron aproximadamente de uno, lo que implicó una forma que se aproximó al círculo (Figs. 4b y c, 5a y 6), en cambio la Discordia con Dl y San Antonio tendieron a una forma subcircular o elíptica (Figs. 4.a y 5.a).

Los bordos San Antonio, Discordia y Remedios tienden a una forma de plato, al presentar una elevada proporción entre el área superficial y la profundidad máxima (Tabla 2), así como un declive batimétrico poco pronunciado (Fig. 7a, 8a y 8b), que se reflejó en pendientes promedio entre 4 y 5%. Esto favoreció una mayor área de incidencia de los rayos solares en el espejo de agua, con el incremento de los procesos de evaporación, pérdida y ganancia de calor en la masa de agua, así como una tendencia hacia una mayor producción primaria. Asimismo por las dimensiones de la longitud máxima (Tabla 2) se incrementó la acción del viento, produciendo movimientos que influyeron en toda la masa de agua a través del día, lo que se estima favoreció un mayor intercambio de materiales de los sedimentos.

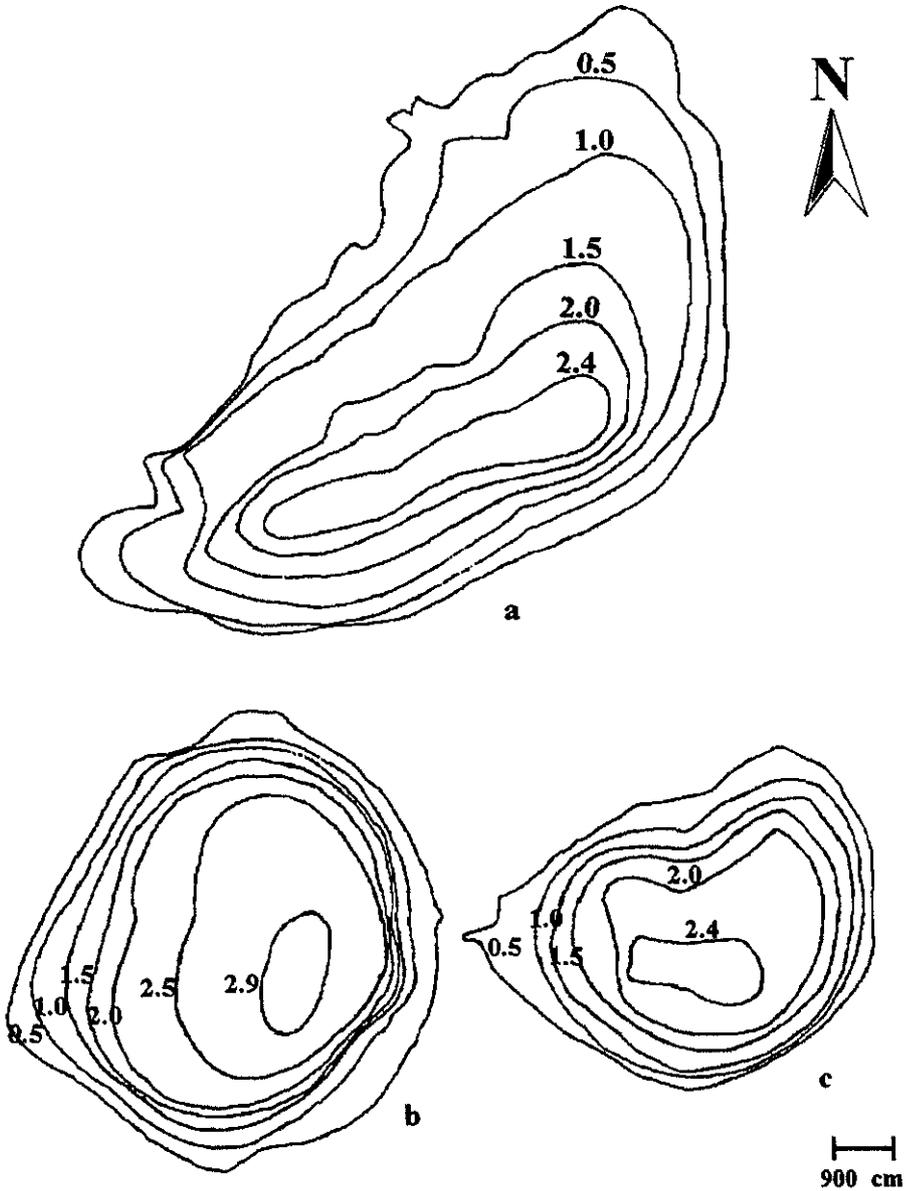


Fig. 4. Mapas batimétricos (isóbatas en m) de los microembalsos: San Antonio (a), Rancho Escondido I (b) y Rancho Escondido II (c), Municipio de Xaltocan, Tlaxcala.

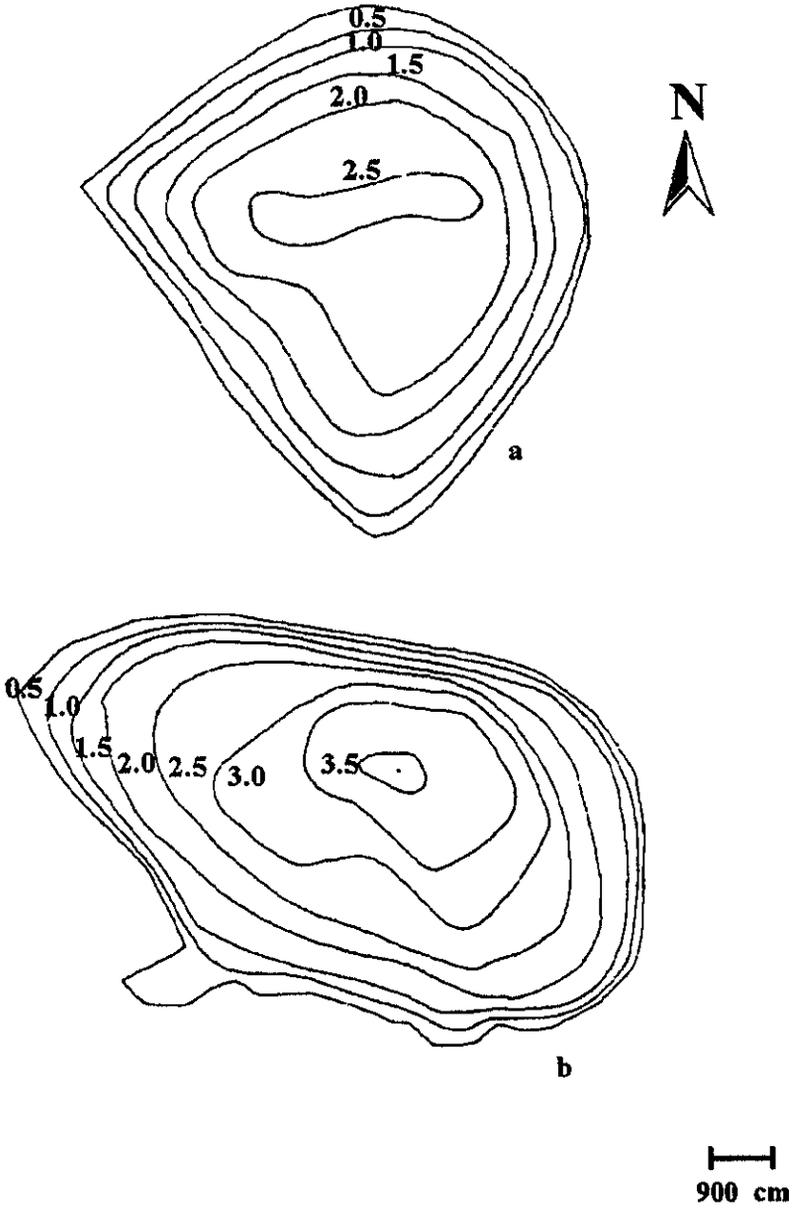


Fig. 5. Mapas batimétricos (isóbatas en m) de los microembalses: Remedios (a) y Discordia (b), Municipio de Xaltocan, Tlaxcala.

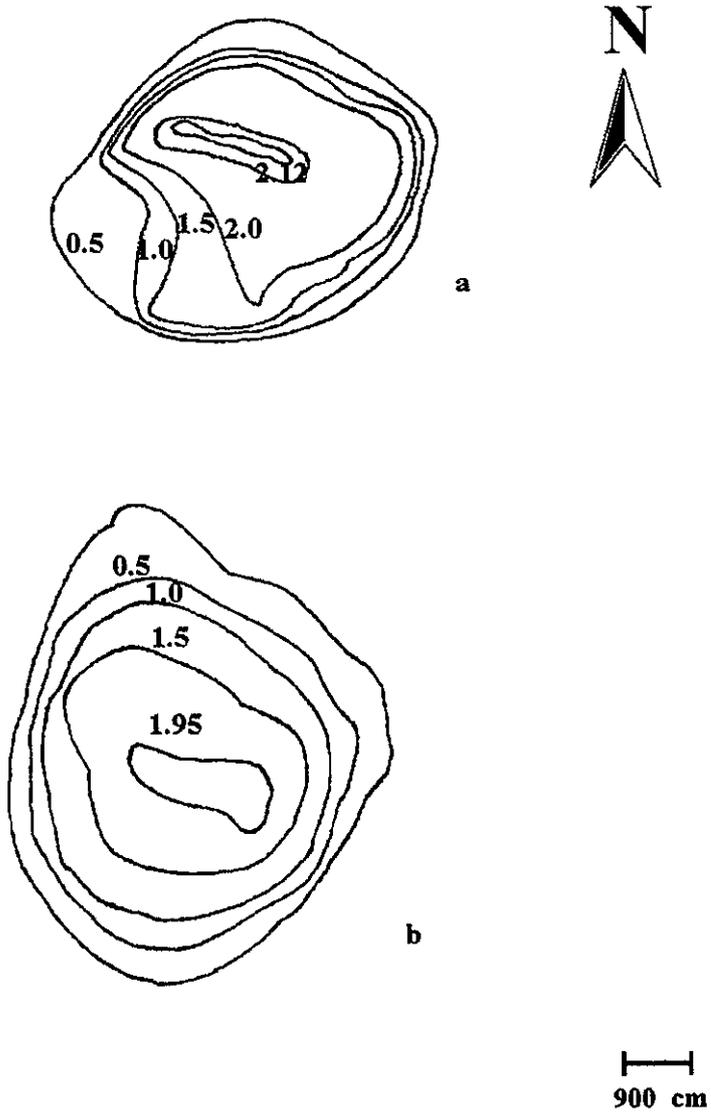
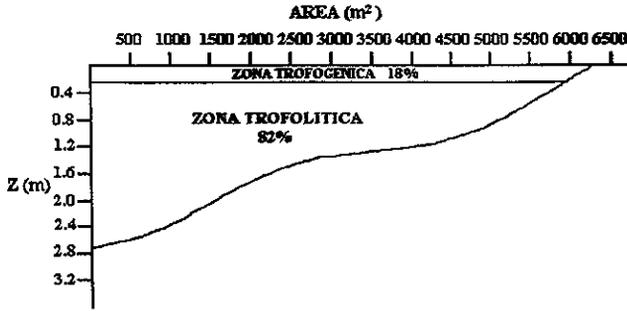
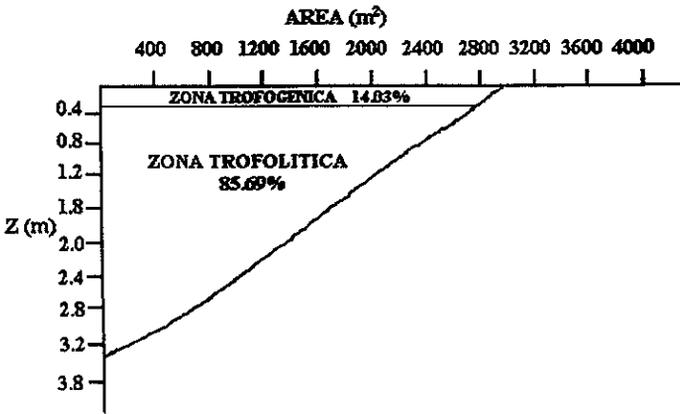


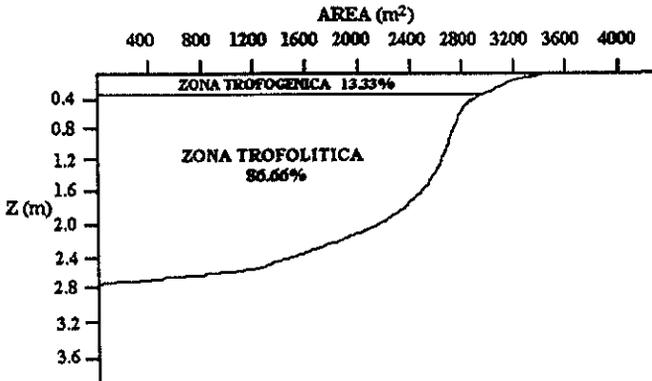
Fig. 6. Mapas batimétricos (isóbatas en m) de los microembalses: Ocote (a) y San Pedro Ecatepec (b), Municipio de Xaltocan, Tlaxcala.



(a)



(b)



(c)

Fig. 7. Hipsográficas de los microembalses (a) San Antonio, (b) Rancho Escondido I y (c) Rancho Escondido II, en el Municipio de Xaltocan, Tlaxcala.

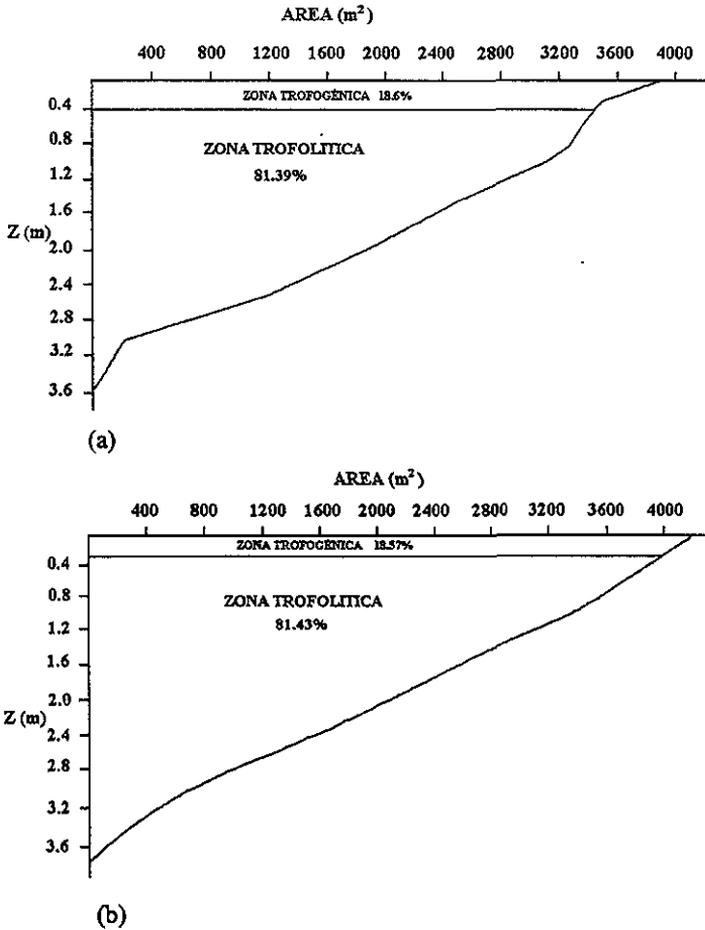
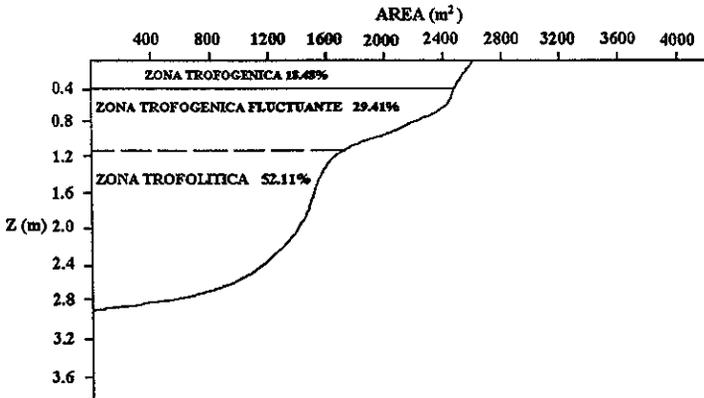
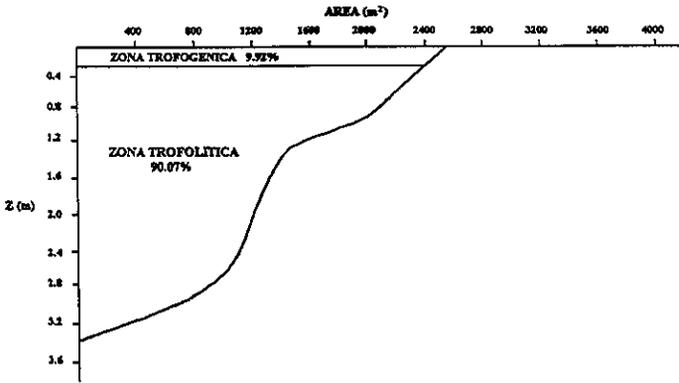


Fig. 8. Hipsográficas de los microembalses (a) Los Remedios y (b) La Discordia, en el Municipio de Xaltocan, Tlaxcala.

En cambio los microembalses Rancho Escondido I y II, Ocote y San Pedro fueron cuerpos de agua con forma de cubeta, en donde se redujo la proporción entre el área superficial y la profundidad máxima, con un declive más pronunciado (Fig. 7b y 7c y 9a y 9b) y pendientes entre 8 y 9%. Lo que de manera comparativa definió perfiles térmicos y de oxígeno un poco más estables a lo largo del día, reduciéndose la tasa de pérdida y ganancia de calor y el área productiva e incrementando la zona trofólítica.



(a)



(b)

Fig. 9. Hipsográficas de los microembalses (a) San Pedro Ecatepec y (b) Ocote, Municipio de Atlangatepec, Tlaxcala.

Al comparar las hipsográficas para los bordos se observó que San Antonio (Fig. 7a) presentó una mayor área superficial y un perfil batimétrico con menor pendiente comparado con los otros microembalses, lo que favoreció un mayor desarrollo del litoral e interrelación entre los sedimentos con la columna de agua. Rancho Escondido I (Fig. 7b) mostró una pendiente pronunciada con un área superficial menor, con una forma tendiente a un cono invertido, lo que implicó que los aportes aloctónos se depositaron en la zona más profunda del embalse (núcleo). Rancho Escondido II (Fig. 7c) tendió a una forma cóncava, pero al ser el microembalse que se encuentra en la parte más baja de la pendiente, hubo un acarreo de materiales de los otros dos bordos cuando se desbordaron durante la época de precipitación pluvial, con desarrollo litoral en uno de los extremos del bordo en el cual se ha establecido una comunidad de macrofitas emergentes.

La Discordia y los Remedios fueron sistemas con áreas superficiales cercanas a los 4000 m² y profundidades máximas mayores a 3 m con poca variación de pendiente. Sin embargo, la Discordia tuvo un sistema de captación de la cuenca por medio de un afluente temporal, que proporciona una acumulación importante de sedimentos. Los Remedios alimentado por la Discordia en época de lluvias, fue el sitio final de depositación de materiales de la microcuenca. Estos dos microembalses fueron similares morfométricamente, aunque el área superficial de la discordia fue mayor y con forma elíptica.

San Pedro Ecatepec y Ocotepec fueron los sistemas con menor proporción entre el área superficial y la profundidad máxima entre 2.8 y 3.4 m, su perfil batimétrico tendió a la forma de U, con lo que se tuvo un volumen mayor por profundidad del sistema y una menor interrelación entre los sedimentos y la columna de agua.

Con la curva hipsográfica relativa (Fig. 10) se obtuvo con mayor precisión la forma de los siete microembalses, de acuerdo con el sistema de clasificación de Hakanson (1977) observando que todos estuvieron dentro de las formas lineales a cóncavas con microformas. Estos representan fluctuaciones o escalonamientos en el perfil batimétrico, siendo sitios de acumulación de materiales, en donde se definen condiciones microespaciales en el nivel de los sedimentos. Los microembalses con perfiles más lineales fueron los Remedios y la Discordia, seguidos de San Antonio, lo que implicó que en estos bordos se diera una distribución homogénea de los materiales a través del perfil batimétrico, con una acumulación progresiva desde la zona litoral hacia la profunda. Rancho Escondido 1 y el Ocote se ubicaron en la forma lineal a casi cóncavo con microformas, estos cuerpos fueron semejantes al tener una área superficial pequeña, expandiéndose linealmente durante el período de inundación, pero presentando una caída repentina conforme se adentra a la zona limnética, donde se define la forma cóncava. El bordo Rancho Escondido 2 y San Pedro Ecatepec fueron los más cóncavos, siendo este último el que mostró mayor variación al caracterizarse como ligeramente casi cóncavo con microformas, estos sistemas tienden a distribuir los sedimentos hacia las zonas profundas del microembalse.

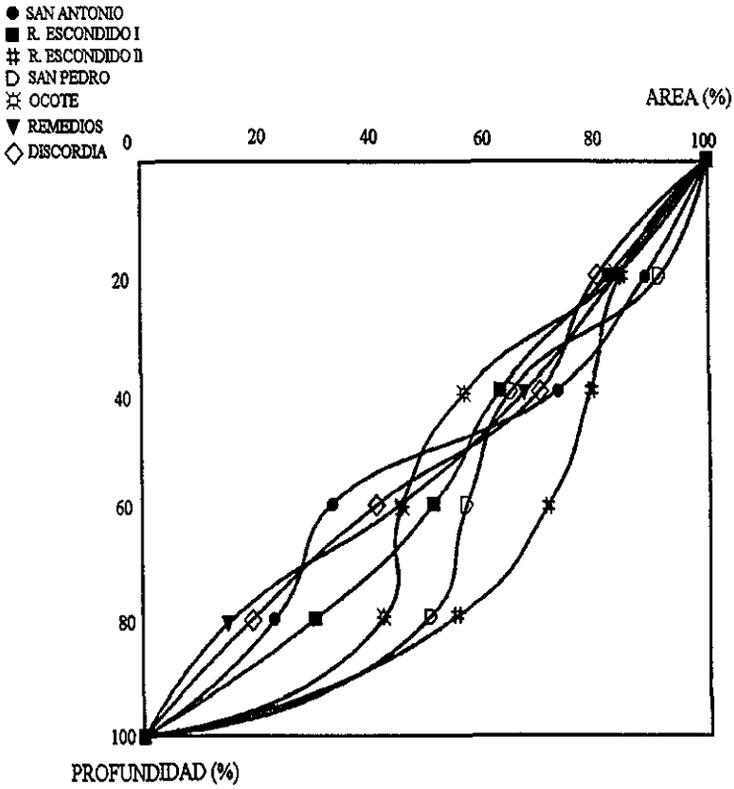


Fig. 10. Hipsográficas relativas para siete microembalses en el Estado de Tlaxcala.

Tabla 3. Caracterización de los perfiles batimétricos de siete microembalses en el Estado de Tlaxcala de acuerdo con la curva hipsográfica relativa.

SISTEMA	%	INTERPRETACIÓN	FORMA	CLAVE
San Antonio	77	Lineal-Principal	Lineal quasi con microformas	p L mi
	23	Concavo-Secundario		
R. Escondido I	55	Lineal-Completo	Lineal a quasi concavo con microformas	p L-C mi
	45	Concavo		
R. Escondido II	20	Lineal-Secundario	Concavo ligeramente con microformas	m C mi
	80	Concavo-Principal		
Remedios	100	Lineal Puro	Lineal con microformas	L mi
Discordia	100	Lineal Puro	Lineal con microformas	L mi
Ocote	55	Lineal-Completo	Lineal a quasi concavo con microformas	p L-C mi
	45	Concavo		
San Pedro Ecat.	10	Concavo-Secundario	Lineal a quasi concavo con microformas	m-p C mi
	30	Lineal-Secundario		
	60	Concavo-Principal		

Aunque estos sistemas presentan una fluctuación del área y volumen en función de la componente climática, en cuanto a la época de precipitación pluvial o de máximo llenado y evaporación por efecto de la temperatura ambiental o de pérdida de agua por riego y filtraciones, presenta una disminución de área del 19% y del volumen de aproximadamente el 50% en 8 meses, lo que de manera comparativa es menor a otros microembalses en climas semisecos templados en los que en un período de ocho meses reducen su área entre 40 y 50% y su volumen del 55 al 60% aproximadamente (Ceja y Gazano, 1994) o aquellos ubicados en climas cálidos subhúmedos en que disminuye su área en 60% y el volumen al 70% en 6 meses y del 65% y 97% respectivamente en 8 meses (Hernández-Avilés y Peña Mendoza, 1992). Esto trae como consecuencia que los primeros además de comportarse como sistemas permanentes, los procesos de dilución y concentración de sales y sólidos disueltos no se presenten de manera marcada como sucede en los otros microembalses en donde los estos procesos tienen una fuerte estacionalidad (lluvias-secas) como lo reportan Arredondo-Figueroa y García-Calderón, (1982) para estanques de temporal (Tabla 4).

Tabla 4. Déficit del área y volumen para microembalses bajo diferentes condiciones climáticas.

SISTEMA	CLIMA	% AREA	% Vol.	TIEMPO MESES	INDICE DE DEFICIT % VOLUMEN: MES
a) Remedios Discordia	Templado Subhúmedo	19	50	8	6.25
	C (w ₂) (w)	16	42	5	8.40
b) Cantarranas Cuauhtepac	Templado Semiárido	44	60	5	12.00
	BS,k	51	83	10	8.30
c) Chavarría Michapa	Cálido Subhúmedo	59	70	6	11.60
	A w ₂	65	96	8	12.00

(a). Presente trabajo, b) Ceja y Gazano, 1994; c) Hernández-Avilés y Peña-Mendoza, 1992.

COMPONENTE CLIMATICA

PRECIPITACION PLUVIAL Y EVAPORACION MEDIA

De acuerdo con los perfiles ombrotérmicos para ambas zonas de trabajo se presentaron variaciones mensuales similares para la precipitación pluvial y la evaporación durante el período de estudio (Figs. 11 y 12). Sin embargo, Atlangatepec se puede considerar como una zona más seca, con una precipitación máxima de 160 mm y una evaporación máxima de 260 mm, mientras que Apizaco es más húmeda, con una precipitación pluvial máxima 250 mm y una evaporación máxima de 200 mm. Cabe resaltar, que en estos sitios la meteorología está influenciada por la época de nortes, que aportan lluvias durante los meses invernales. En términos generales, para las microcuencas de captación de los microembalses predomina el déficit de agua a lo largo del año.

Merecen especial atención, las fluctuaciones marcadas entre los tres años, sobre todo para la precipitación pluvial, lo que condicionó las variaciones de nivel en los microembalses y en consecuencia la dinámica limnológica en los mismos.

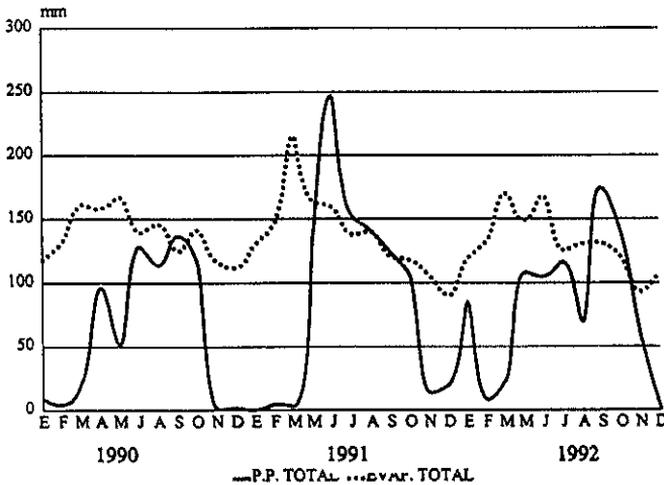


Fig. 11 Perfil ombrotérmico para la zona de Apizaco, Tlaxcala de 1990 a 1992, estación meteorológica (29-023).

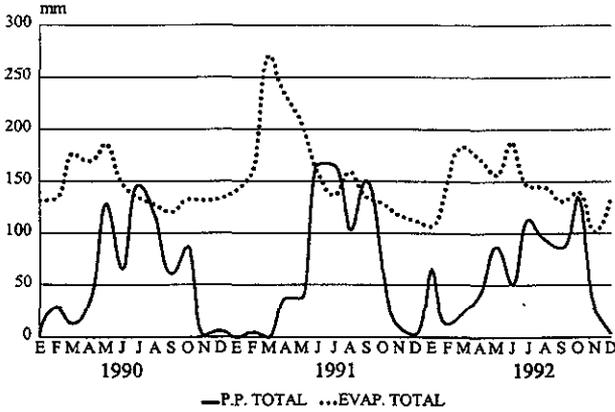


Fig. 12 Perfil ombrotérmico para la zona de Atlangatepec, Tlaxcala de 1990 a 1992, estación meteorológica (29-025).

DINAMICA TERMICA DE LA COLUMNA DE AGUA.

La temperatura mediana de los bordos fue mayor en superficie (16 y 18°C) así como la dispersión de los datos, comparada con el fondo (13.5 y 15°C). Esto señaló una marcada estratificación con diferencias de las medianas entre 1.5 y 4°C durante las horas de muestreo para la mayor parte del año. Las temperatura máxima registrada fue de 27.5°C y la mínima de 10°C. Cabe destacar que no existieron diferencias significativas $p < 0.05$ entre los comportamientos térmicos de superficie y fondo entre los diferentes microembalses (Fig. 13).

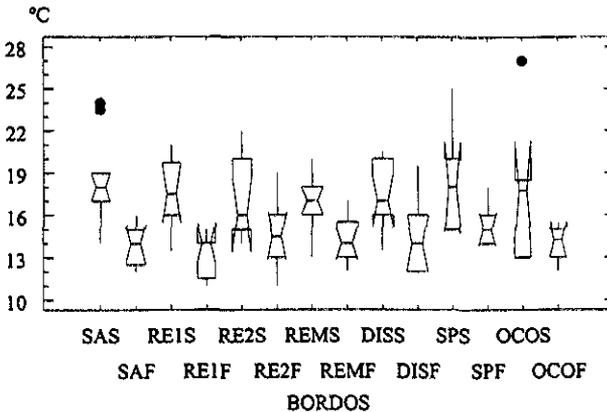


Fig. 13. Diagrama de cajas múltiples para la temperatura por nivel en bordos del Estado de Tlaxcala (SAS, SAF= San Antonio superficie y fondo; REIS, REIF= Rancho Escondido I superficie y fondo; RE2S, RE2F= Rancho Escondido II superficie y fondo; REMS, REMF= Remedios superficie y fondo; DISS y DISF= Discordia superficie y fondo; SPS, SPF= San Pedro superficie y fondo; OCOS y OCOF= Ocote superficie y fondo).

Con los perfiles térmicos se define el siguiente comportamiento general en los siete sistemas: durante el verano se presentó una tendencia a la estratificación, con diferencias entre superficie y fondo de 3 °C hasta 7 °C; hacia finales del otoño y principios de invierno hubo una reducción de la temperatura registrándose isotermas a lo largo de la columna de agua, que indicaron procesos de mezcla (Fig. 14).

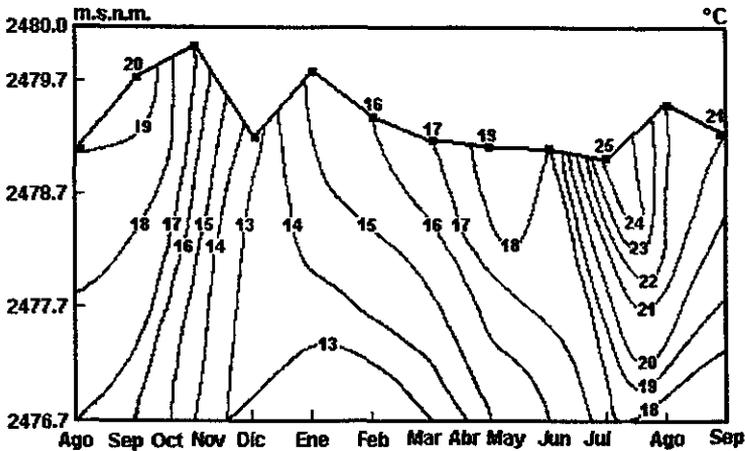


Fig. 14. Diagrama espacio-temporal para la temperatura en el bordo Los Remedios durante un ciclo anual.

OXIGENO DISUELTO

Se registraron para la superficie concentraciones de oxígeno disuelto, con medianas entre 4.6 y 7.8 mg/l en los siete microembalses, que equivalen aproximadamente al 65% y 122% respectivamente, es decir niveles de subsaturación y sobresaturación. En el fondo de los bordos San Antonio, Rancho Escondido I y II se encontraron concentraciones medianas entre 4.2 y 4.8 mg/l, subsaturados del 57 al 66% aproximadamente, con alta dispersión de los datos, para los cuatro bordos restantes los contenidos fluctuaron alrededor de 1 y 1.7 mg/l, es decir con subsaturación del 14 al 23% (Fig. 15).

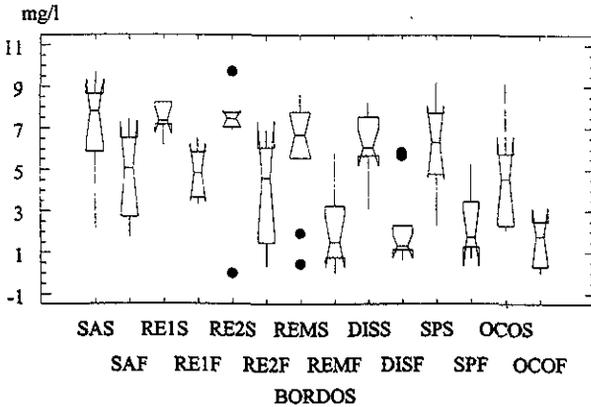


Fig. 15. Diagramas de cajas múltiples para la concentración de oxígeno disuelto en bordos del Estado de Tlaxcala.

Para los microembalses en los cuales existieron diferencias significativas ($p=0.05$) en la concentración de oxígeno entre superficie y fondo fueron Rancho Escondido I, Remedios, Discordia y San Pedro Ecatepec, los tres últimos caracterizados por altas tasas de descomposición de materia orgánica. Para los otros microembalses no se observó diferencias significativas, sin embargo hubo una variabilidad amplia en las concentraciones de oxígeno en el Ocote para la superficie y fondo, al ser el único bordo que recibió un manejo semi-intensivo.

7.3 COMPONENTE EDAFICA

FACTOR EDAFICO

Al comparar la variación estacional de los parámetros químicos asociados con el factor edáfico (dureza total, dureza de calcio, alcalinidad, conductividad y pH) no se encontraron diferencias significativas ($p=0.05$) en seis de los bordos estudiados como lo muestra el análisis de cajas múltiples con muesca, con excepción del bordo denominado San Pedro Ecatepec, el que presentó un valor de la mediana superior, además una mayor dispersión de las concentraciones de alcalinidad, pH y conductividad, que implicaron fluctuaciones estacionales marcadas para estos parámetros en el sistema (Figs. 16-19) Tampoco se observaron diferencias significativas entre la superficie y el fondo de los parámetros químicos, lo que indica su homogeneidad en toda la columna de agua, a lo largo del año (Figs. 16-20).

Las características texturales de la microcuenca de captación, fueron las siguientes: para el bordo San Pedro Ecatepec el suelo fue del tipo arena migajonosa, para San Antonio y Rancho Escondido II migajón arenoso, el Ocote migajón, mientras que el Rancho Escondido I, la Discordia y los Remedios fueron arcillosas, en este orden las texturas se

caracterizan por la reducción consecutiva en el porcentaje de arenas y el incremento de limos y arcillas (Tabla 5).

Tabla 5. Clases texturales de las microcuencas de captación de los microembalses del Estado de Tlaxcala.

SISTEMA	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	CLASE TEXTURAL
San Antonio	34	20	56	Migajon-Arenoso
Rancho Escondido I	40	22	38	Arcilloso
Rancho Escondido II	11.44	36.56	52	Migajon-Arenoso
Discordia	50	22	28	Arcilloso
Remedios	40	22	38	Arcilloso
San Pedro	8	14	78	Arena-Migajonoso
Ocote	18	34	48	Migajon

VISIBILIDAD AL DISCO DE SECCHI (V.D.S.)

En cuanto a la V.D.S. para los cinco bordos ubicados en San Martín Xaltocan y el Ocote no existieron diferencias significativas con valores de mediana entre 6 y 9 cm, aunque este último presentó una mayor dispersión de 6 a 15 cm. Para el bordo San Pedro Ecatepec la mediana fue de 17 cm, con fluctuaciones entre 13 y 23 cm siendo diferente significativamente con respecto de los otros microembalses, además del registro de un caso extraordinario de 44 cm (Fig. 16).

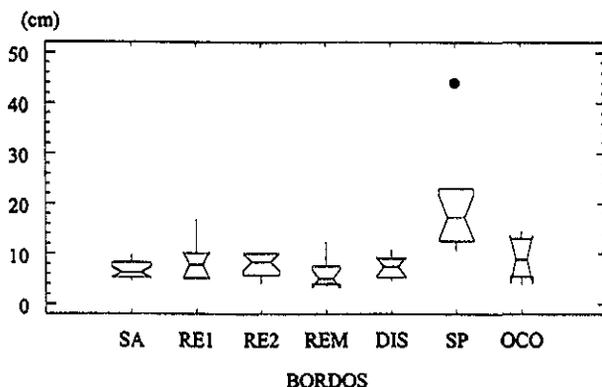


Fig. 16. Diagrama de cajas múltiples para la visibilidad al disco de Secchi en bordos del Estado de Tlaxcala.

A partir de estos valores se calcularon las dimensiones aproximadas de la zona eufótica al multiplicar por una constante de 2.5 la V.D.S. (Margalef, 1983). Así, las profundidades de penetración de luz para la Discordia y los Remedios y el Ocote fueron de 15 a 23 cm, en profundidades máximas entre 1.13 y 3.11 m. Para los sistemas con baja carga de materia orgánica se multiplicó por una constante de 4.5, ya que en sistemas arcillosos la dispersión

de la luz tiende a incrementar la zona eufótica como lo reporta William T. Barry (inédito) citado en Cole (1988). Así, la profundidad de penetración de luz para los microembalses San Antonio y Rancho Escondido I al considerar la mediana de la V.D.S. tuvo un valor de 27.6 cm para San Antonio y de 36.8 cm para el Rancho Escondido II, con profundidades máximas que fluctuaron entre 1.13 y 3.22 m. En el bordo San Pedro Ecatepec la profundidad eufótica fue de 42.5 cm en función del valor de la mediana de 17 cm y para el valor extraordinario alcanzó los 110 cm, siendo éste el sistema más profundo con variaciones entre 2.64 y 3.96 m. Esto representó aproximadamente un 13% de volumen de la zona eufótica y un 87% de la zona afótica en estos microembalses, a excepción de San Pedro Ecatepec donde en ciertos momentos la zona eufótica equivalió al 34% (Fig. 7, 8 y 9).

POTENCIAL DE HIDROGENO

El pH de los bordos estuvo cercano a la neutralidad con valores de medianas en un intervalo entre 7.08 y 7.51; a diferencia de San Pedro Ecatepec cuyos valores medianos tendieron a básicos de 8.73 en superficie y 8,27 en fondo (Fig. 17).

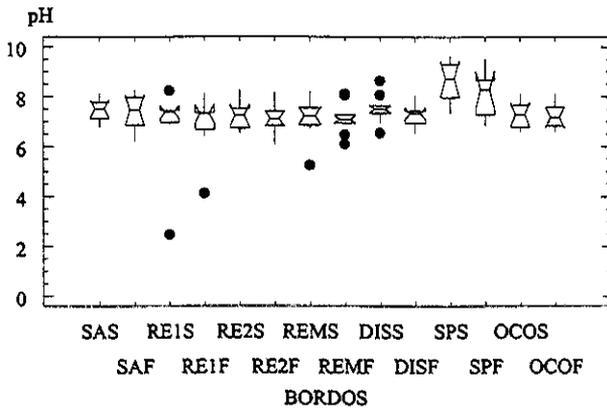


Fig. 17. Diagrama de cajas múltiples para el pH de bordos del Estado de Tlaxcala.

ALCALINIDAD

La mediana de la alcalinidad para los 6 bordos varió entre 40.5 y 87 mg/l y para el bordo San Pedro Ecatepec entre 140.4 y 148.5 mg/l para superficie y fondo respectivamente (Fig. 18).

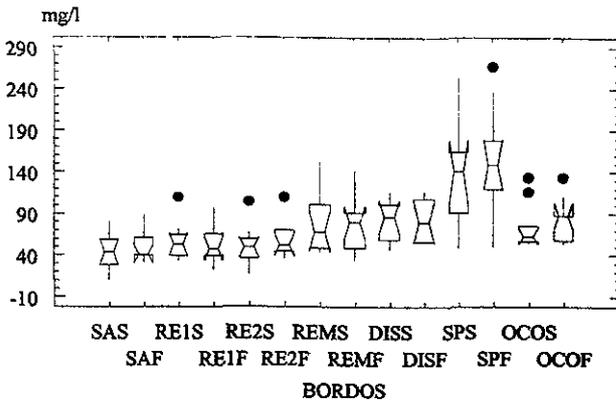


Fig. 18. Diagrama de cajas múltiples para la alcalinidad en bordos del Estado de Tlaxcala.

DUREZA

La dureza total para seis bordos presentó concentraciones medianas en un intervalo entre 49.04 mg/l y 64.46 mg/l, siendo mayor para el bordo San Pedro Ecatepec con concentraciones medianas entre 113.51 y 99.84 mg/l para superficie y fondo respectivamente (Fig. 19).

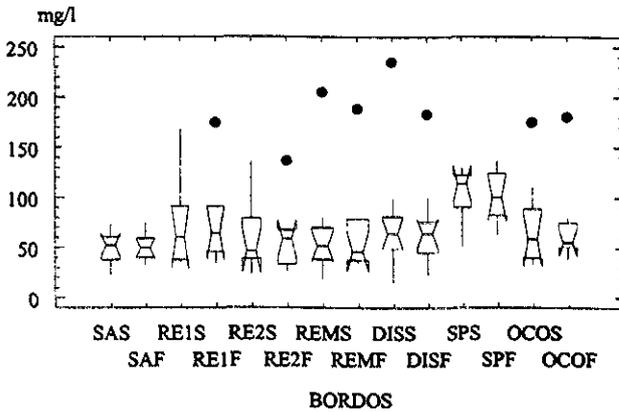


Fig. 19. Diagrama de cajas múltiples para la dureza total en bordos del Estado de Tlaxcala.

Las concentraciones medianas de la dureza al calcio para los bordos fluctuaron entre 16.81 y 28.02 mg/l, en el bordo San Pedro alcanzó 47 mg/l (Fig. 20). Lo que implicó que la dureza al magnesio fue mayor, con magnitudes de las medianas entre 30 y 42 mg/l, y para el bordo San Pedro Ecatepec con comportamiento atípico de 52.84 mg/l y 66.51 mg/l en fondo. Esto al considerar el cálculo de la dureza al magnesio como la diferencia entre la dureza total y al calcio (Boyd, 1979).

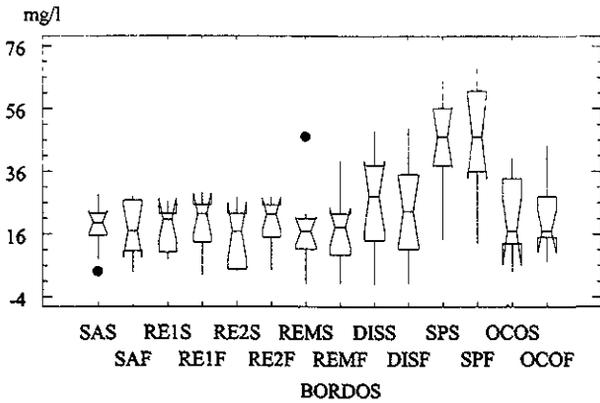


Fig. 20. Diagrama de cajas múltiples para la dureza de calcio en bordos del Estado de Tlaxcala.

CONDUCTIVIDAD

Las medianas para la conductividad fluctuaron entre 66 y 146 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y para el bordo San Pedro Ecatepec 310 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para superficie y 260 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para fondo (Fig. 21).

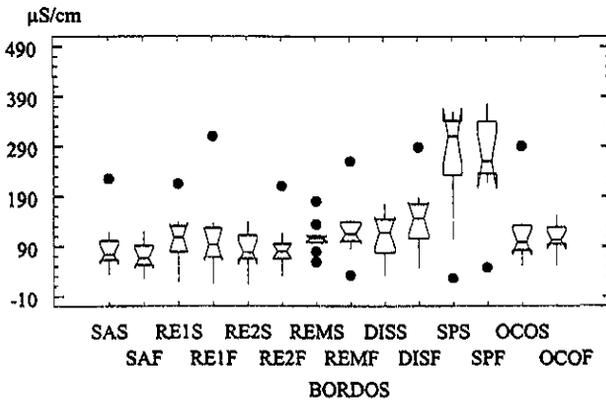


Fig. 21. Diagramas de cajas múltiples para la conductividad en bordos del Estado de Tlaxcala.

NUTRIMENTOS

Para el nitrógeno no se encontró diferencia significativa ($p=0.05$) entre las concentraciones de este nutriente para los siete microembalses.

En cuanto a los nitratos las concentraciones medianas fluctuaron entre 9.71 $\mu\text{g at}/\text{l}$ y 20.18 $\mu\text{g at}/\text{l}$. Mientras que las medianas para los nitritos variaron en un intervalo entre 0.1 $\mu\text{g at}/\text{l}$ y 0.71 $\mu\text{g at}/\text{l}$ (Fig. 22 y 23).

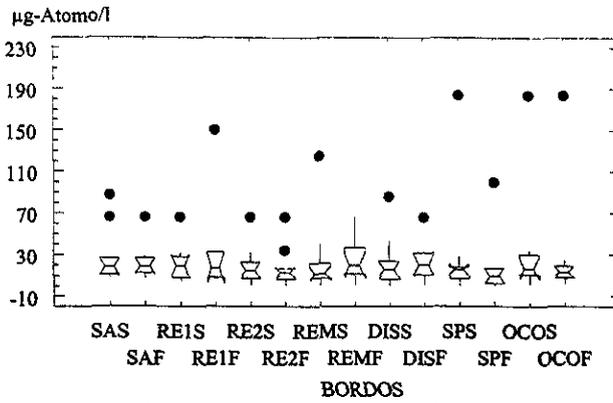


Fig. 22. Diagrama de cajas múltiples para la concentración de nitratos en bordos del Estado de Tlaxcala.

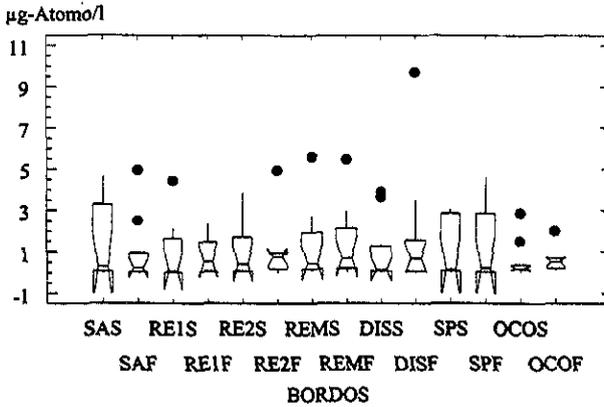


Fig. 23. Diagramas de cajas múltiples para la concentración de nitritos en bordos del Estado de Tlaxcala.

El amonio se encontró en mayor abundancia a lo largo del estudio con medianas entre 9.36 $\mu\text{g at/l}$ y 54.86 $\mu\text{g at/l}$ (Fig. 24).

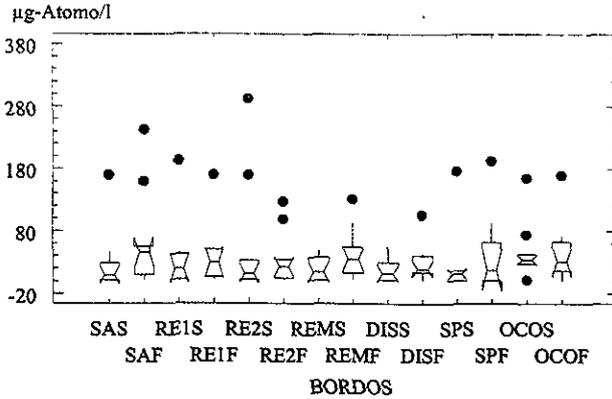


Fig. 24. Diagramas de cajas múltiples para la concentración de amonio en bordos del Estado de Tlaxcala.

La concentración de ortofosfatos fue similar para los bordos ubicados en el Municipio de Xaltocan con concentraciones medianas entre 1.84 $\mu\text{g at/l}$ y 3.45 $\mu\text{g at/l}$ y fueron mayores para los bordos ubicados en el Municipio de Atlangatepec, estos fluctuaron con concentraciones medianas entre 3.94 $\mu\text{g at/l}$ y 6.67 $\mu\text{g at/l}$ (Fig. 25).

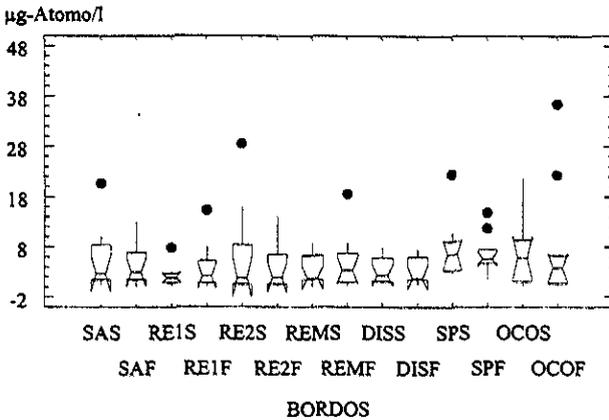


Fig. 25. Diagramas de cajas múltiples para la concentración de ortofosfatos para bordos del Estado de Tlaxcala

Las concentraciones medianas de fósforo total estuvieron en un intervalo entre 2 $\mu\text{g at/l}$ y 7 $\mu\text{g at/l}$ para los 5 bordos de Xaltocan, mientras que para el Ocote y San Pedro Ecatepec los valores de las medianas fueron mayores comparados con los otros microembalses con concentraciones entre 7 $\mu\text{g at/l}$ y 15 $\mu\text{g at/l}$ (Fig. 26).

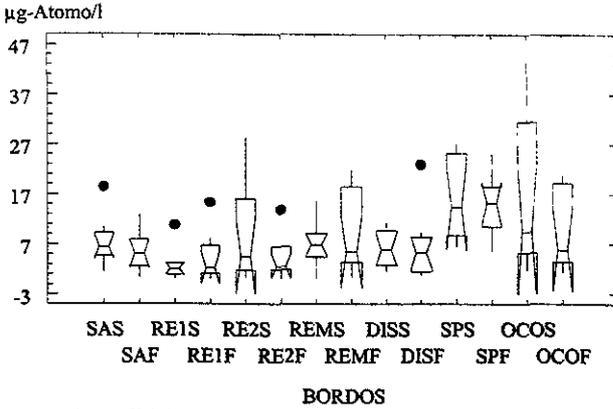


Fig. 26. Diagramas de cajas múltiples para la concentración de fósforo total en bordos del Estado de Tlaxcala.

PRODUCCION PRIMARIA

La mediana de la producción bruta en los embalses fluctuó entre 511.40 y 1365.42 mg C/m²/día, para los siete bordos no se encontró diferencia estadísticamente significativa (p<0.05) con el análisis de cajas múltiples con muesca, lo que revela condiciones físicas, químicas y biológicas similares (Fig. 27). Sin embargo, se puede hacer una clara distinción de los microembalses, aquellos cuya producción primaria mediana fue superior a los 800 mg C/m²/día que correspondió con los bordos que son fertilizados de manera continua por las deyecciones del ganado que abreva en ellos, entre los que se encuentran ubicados en el Municipio de Atlangatepec, así como la Discordia y los Remedios, en donde se da un manejo integrado de recursos. Los bordos San Pedro y Ocote mostraron una mayor dispersión en los niveles de producción, con una tendencia de la distribución hacia concentraciones altas, principalmente en el bordo San Pedro Ecatepec. Como se mencionó anteriormente los suelos de la microcuenca de captación de este sistema presentan una clase textural migajón-arenoso, por lo que al tener una elevada concentración de arena, se favorece una mayor sedimentación, reduciéndose la concentración de sólidos en suspensión e incrementándose la visibilidad al disco de Secchi, la zona fótica y por ende la trofógena. Para la Discordia y los Remedios también se presentó una tendencia hacia niveles altos de producción con concentraciones extremas de 3400 mg C/m²/día y de 3600 mg C/m²/día para los Remedios.

El otro grupo de bordos (San Antonio, Rancho Escondido I y II) con medianas de producción inferiores a los 800 mg C/m²/día, se caracterizaron por una baja fertilización orgánica de excretas animales aunque su microcuenca se encuentra más expuesta a los procesos erosivos eólicos y pluviales, así como a la lixiviación de nutrientes al no presentar una cubierta vegetal desarrollada. Estos bordos, se encuentran concatenados en la época de lluvia, con lo que se da un arrastre de materiales en función de la pendiente, encontrándose en la parte superior el bordo San Antonio, por lo que la producción fluctuó

para el 50% de los datos entre los 200 y 700 mg C/m²/día, después se localiza el bordo Rancho Escondido el cual alcanzó los 1800 mg C/m²/día como concentración máxima y finalmente en la zona más baja que es el sitio final de depositación está el Rancho Escondido II que presentó una amplia dispersión de las concentraciones entre 200 y 1700 mg C/m²/día dentro de la caja, con una tendencia del cuartil de la distribución hacia valores altos, alcanzando los 3600 mg C/m²/día. Este último sistema se encuentra invadido por hidrofítas emergentes del género *Thypha*, que funcionan como trampa de nutrientes.

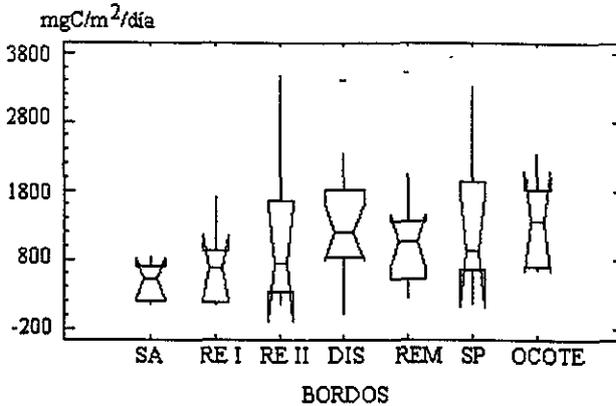


Fig. 27. Diagrama de cajas múltiples para la producción primaria en bordos del Estado de Tlaxcala (SA= San Antonio, REI= Rancho Escondido I, REII= Rancho Escondido II, DIS= Discordia, REM=Remedios, SP= San Pedro Ecatepec, Ocote).

En términos generales el bordo San Pedro Ecatepec fue el más productivo como consecuencia de una mayor zona trofógena, al penetrar más la luz, además de presentar las concentraciones más altas de alcalinidad, durezas, pH y conductividad, así como una elevada concentración de nutrientes, lo que influyó de manera determinante en los rendimientos piscícolas del sistema.

CRECIMIENTO DE LAS POBLACIONES ICTICAS

La relación peso-longitud encontrada para la carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofusculus*) en los diferentes microembalses fueron las siguientes:

Bordo San Pedro Ecatepec:

$$W = 0.0604 L^{2.79}$$

Bordo la Discordia:

$$W = 0.0407 L^{2.87}$$

Bordo los Remedios:

$$W = 0.0363 L^{2.94}$$

Y para la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*) en el Bordo San Pedro Ecatepec:

$$W = 0.0604 L^{2.80}$$

La razón por la cual el valor del exponente de esta relación tiende a tres es que la talla es una magnitud lineal, mientras que el peso, a densidad constante, es teóricamente proporcional al cubo de ésta (Pereiro, 1982).

Al realizar las pruebas de t-student (Márquez, 1991) para determinar si la pendiente obtenida en la regresión lineal peso-longitud era igual a tres, se encontró que para la carpa barrigona en el bordo los Remedios y la Discordia y para la carpa herbívora en el bordo San Pedro Ecatepec las pendientes no fueron significativamente diferentes de tres ($p < 0.05$) lo que indica que estas especies presentaron una tendencia hacia el crecimiento isométrico es decir que los organismos crecieron de manera proporcional en longitud y peso (Everhart y Young, 1989). Mientras que para la carpa barrigona en el bordo San Pedro Ecatepec la pendiente fue significativamente diferente de tres por lo que el crecimiento fue alométrico negativo al tener valores por debajo de tres, presentando un mayor crecimiento en longitud que en peso.

Para la mayoría de los casos la suavización a partir de la cual se definió de la mejor manera las clases de edad para las poblaciones ícticas por el método de Battacharya (1967) fue la suavización no lineal resistente 4253EH, doble (Salgado-Ugarte, 1992) (Figs. 28-37). Las clases de edad se estimaron para la longitud patrón de las especies, a excepción de la carpa barrigona en el bordo San Pedro Ecatepec, donde se empleó el peso al quedar mejor representadas éstas (Tabla 6).

Tabla 6. Clases de edad obtenidas para la carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofuscus*) y la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*), en los microembalses del Estado de Tlaxcala.

GRUPO	SAN PEDRO ECATEPEC CARPA BARRIGONA (g)	SAN PEDRO ECATEPEC CARPA HERBIVORA (cm)	DISCORIA CARPA BARRIGONA (cm)	REMEDIOS CARPA BARRIGONA (cm)
1	18.42	6.64	4.44	5.86
2	90.72	10.28	12.54	12.81
3	140.49	12.96	16.46	14.96
4	208.30	15.44	21.08	18.80
5	271.67	18.73		22.14
6	323.11			
7	372.87			

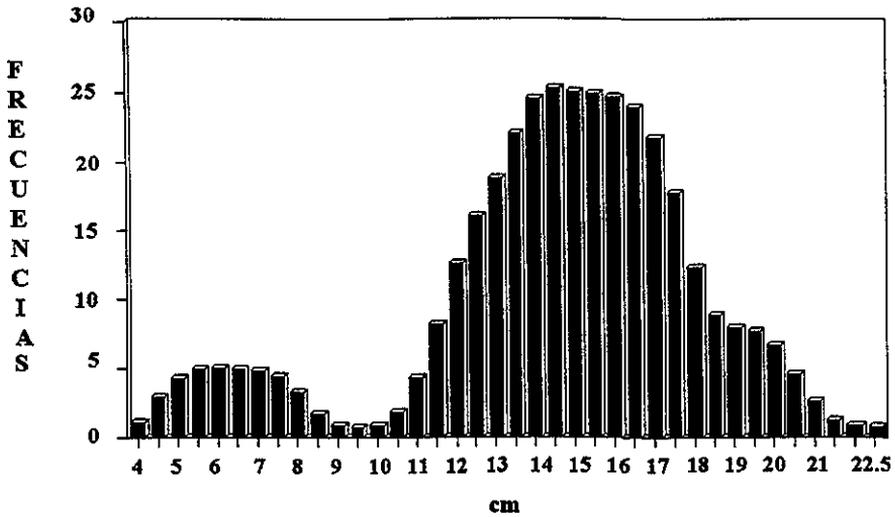


Fig. 28. Distribución suavizada para la longitud patrón de la carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofusculus*) en el bordo San Pedro Ecatepec, Tlaxcala.

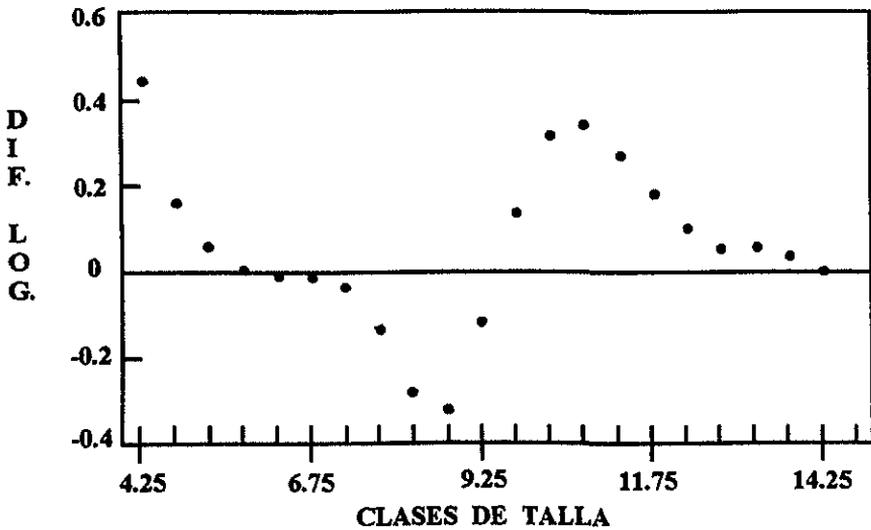


Fig. 29. Método de Bhattacharya para las longitudes patrón de la carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofusculus*), en el bordo San Pedro Ecatepec, Tlaxcala.

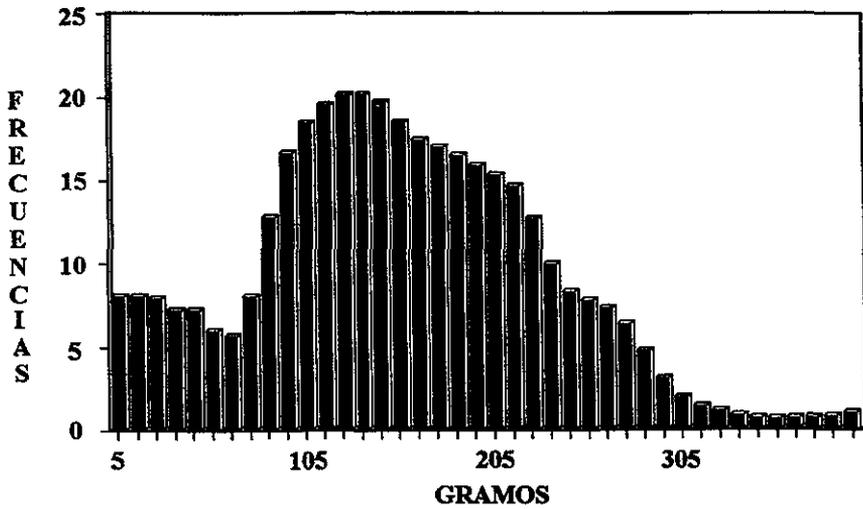


Fig. 30. Distribución suavizada para el peso de la carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofuscus*) en el bordo San Pedro Ecatepec, Tlaxcala.

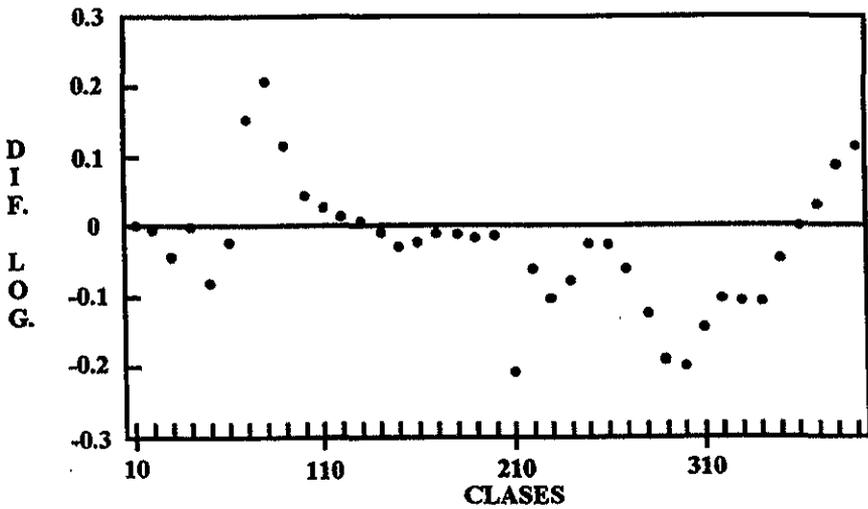


Fig. 31. Método de Bhattacharya para los pesos de la carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofuscus*), en el bordo San Pedro Ecatepec, Tlaxcala.

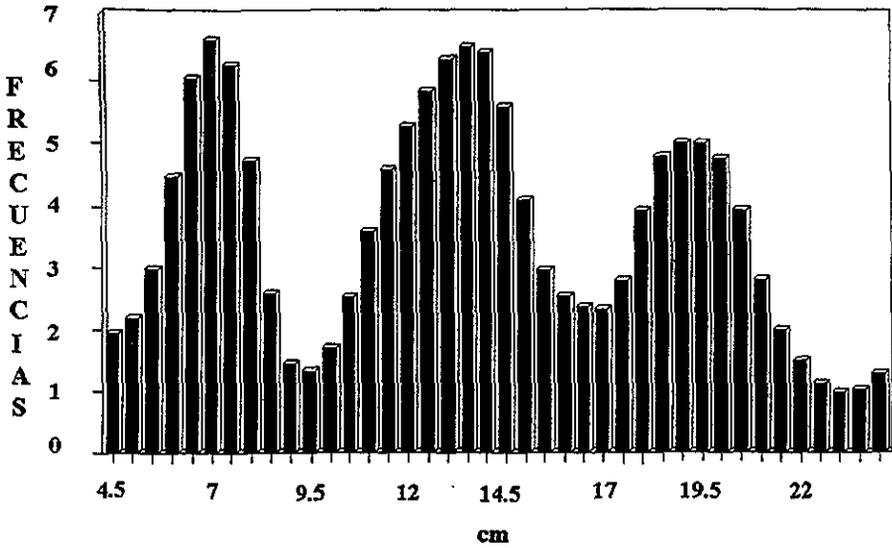


Fig. 32. Distribución suavizada para la longitud patrón de la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*) en el bordo San Pedro Ecatepec, Tlaxcala.

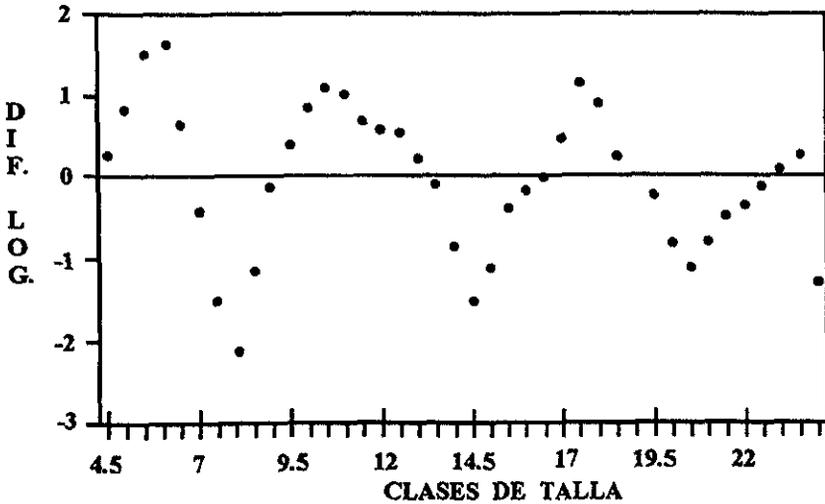


Fig. 33. Método de Bhattacharya para la longitud patrón de la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*) en el bordo San Pedro Ecatepec, Tlaxcala.

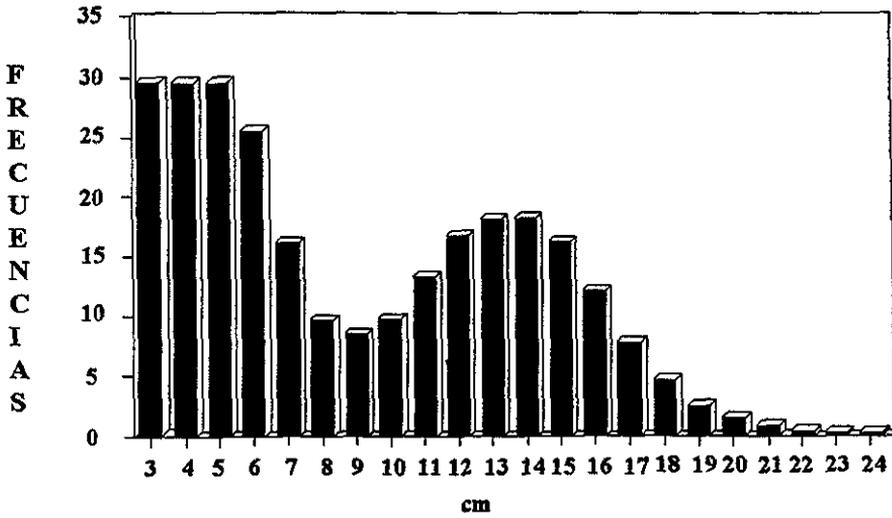


Fig. 34. Distribución suavizada para la longitud patrón de la carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofusca*) en el bordo la Discordia, Tlaxcala.

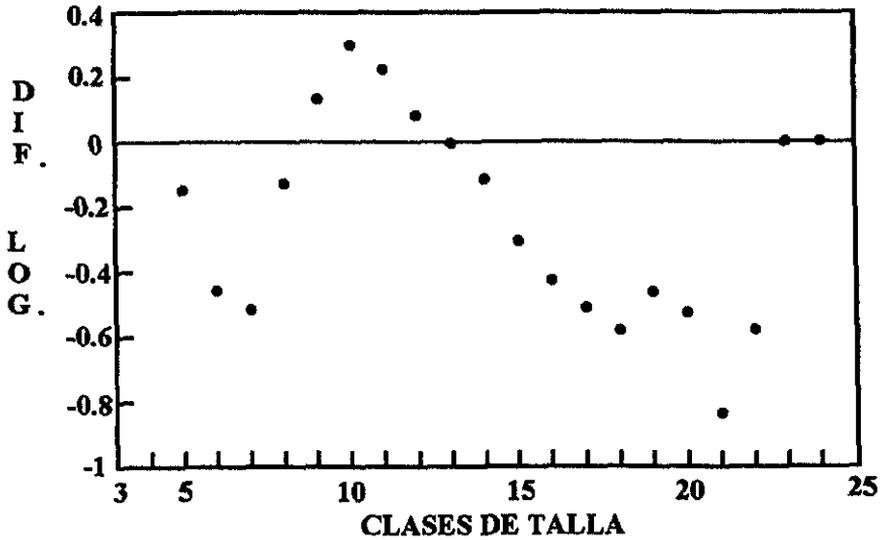


Fig. 35. Método de Bhattacharyya para la longitud patrón de la carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofusca*) en el bordo la Discordia, Tlaxcala.

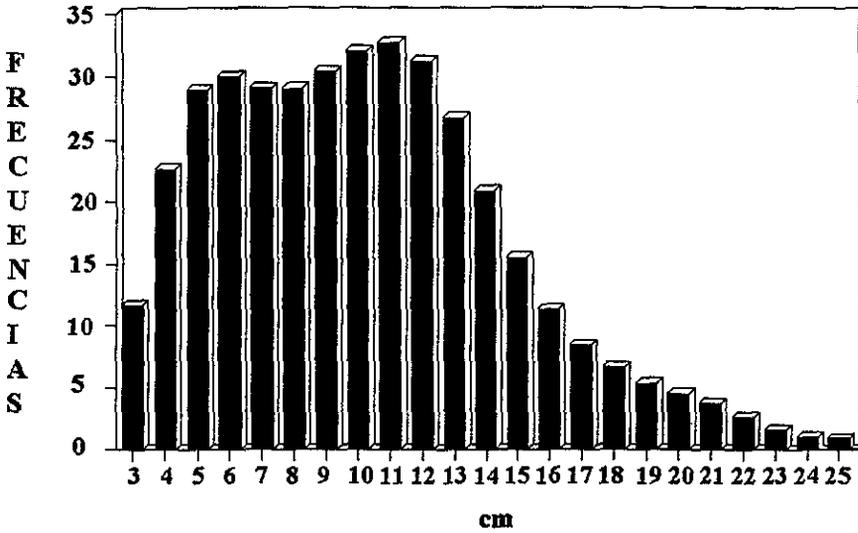


Fig. 36. Distribución suavizada para la longitud patrón de la carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofascus*) en el bordo los Remedios, Tlaxcala.

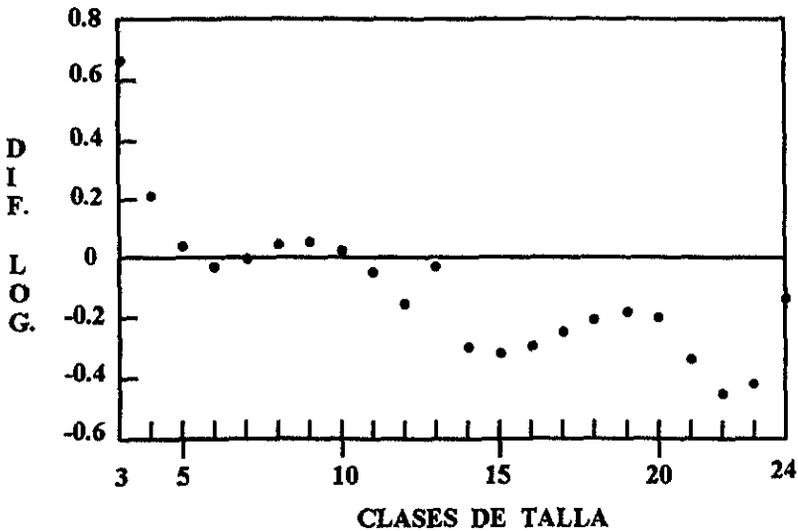


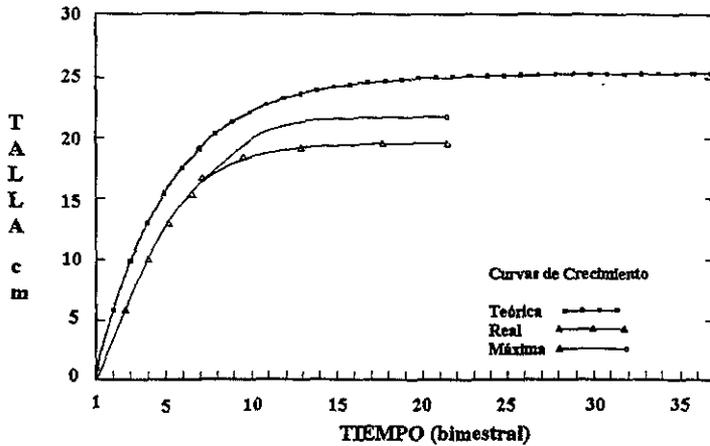
Fig. 37. Método de Bhattacharya para la longitud patrón de la carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofascus*) en el bordo los Remedios, Tlaxcala.

Las ecuaciones de crecimiento según el modelo de von Bertalanffy para la carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofusca*) fueron las siguientes:

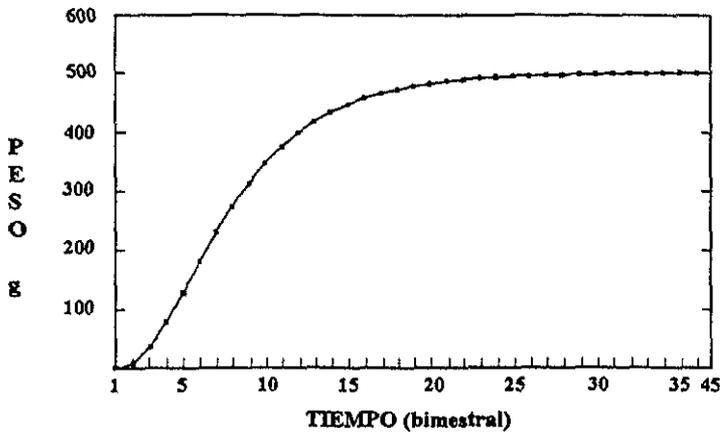
En el Bordo San Pedro Ecatepec (Fig. 38):

$$L_t = 25.041 (1 - e^{-0.2298(t-0.8376)})$$

$$W_t = 495.01 (1 - e^{-0.2298(t-0.8376)})^{2.80}$$



a)



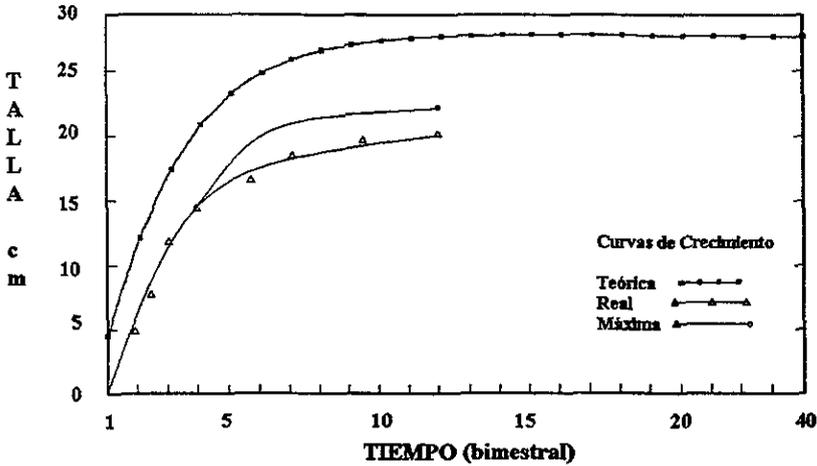
b)

Fig. 38. Curva de crecimiento en longitud a) y en peso b), de la carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofusca*) según el modelo de von Bertalanffy, en el bordo San Pedro Ecatepec, Tlaxcala.

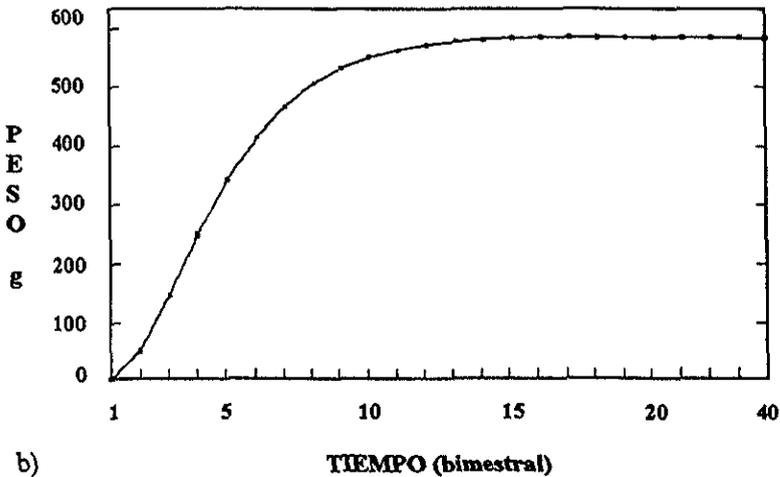
En la Discordia (Fig. 39):

$$L_t = 28.28 (1 - e^{-0.391(t-0.561)})$$

$$W_t = 596.69 (1 - e^{-0.391(t-0.561)})^{2.87}$$



a)



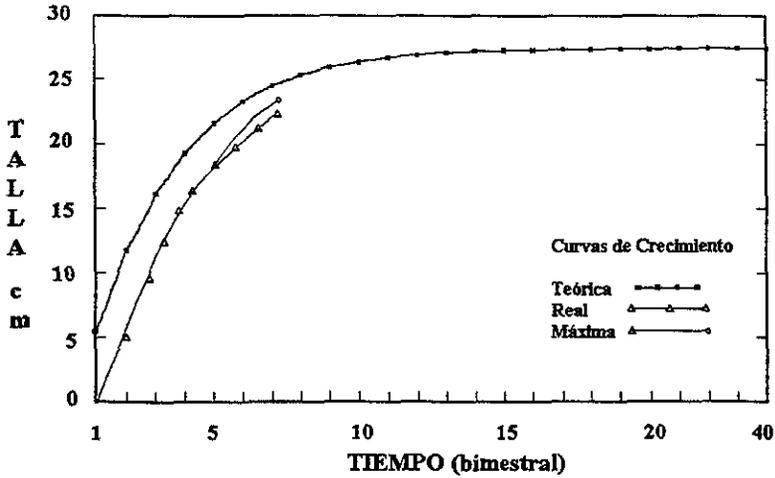
b)

Fig. 39. Curvas de crecimiento en longitud a) y en peso b), de la carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofruscus*) según el modelo de von Bertalanffy, en el bordo la Discordia, Tlaxcala.

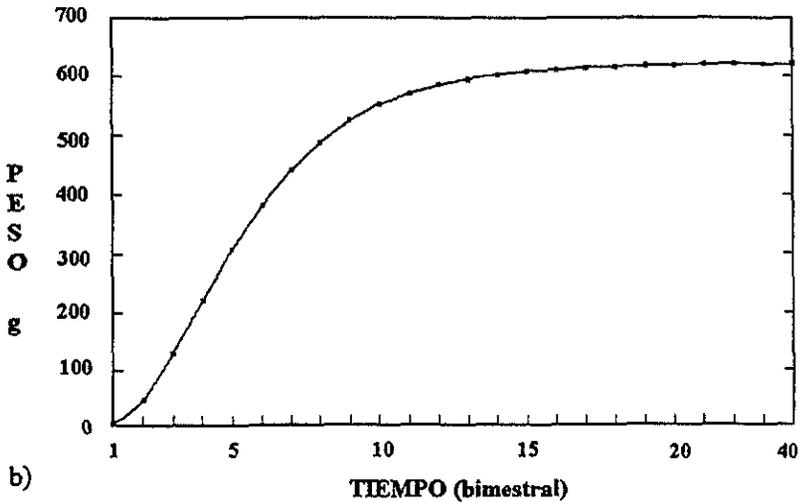
En los Remedios (Fig. 40):

$$L_t = 27.57 (1 - e^{-0.3302(t-0.332)})$$

$$W_t = 623.43 (1 - e^{-0.3302(t-0.332)})^{2.94}$$



a)



b)

Fig. 40. Curva de crecimiento en longitud a) y en peso b), de la carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofuscus*) según el modelo de von Bertalanffy, en el bordo Los Remedios, Tlaxcala.

Y el modelo de crecimiento de von Bertalanffy para la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*) en el bordo San Pedro Ecatepec fue (Fig. 41):

$$L_t = 25.59 (1 - e^{-0.205(t-0.474)})$$

$$W_t = 526.12 (1 - e^{-0.205(t-0.474)})^{2.80}$$

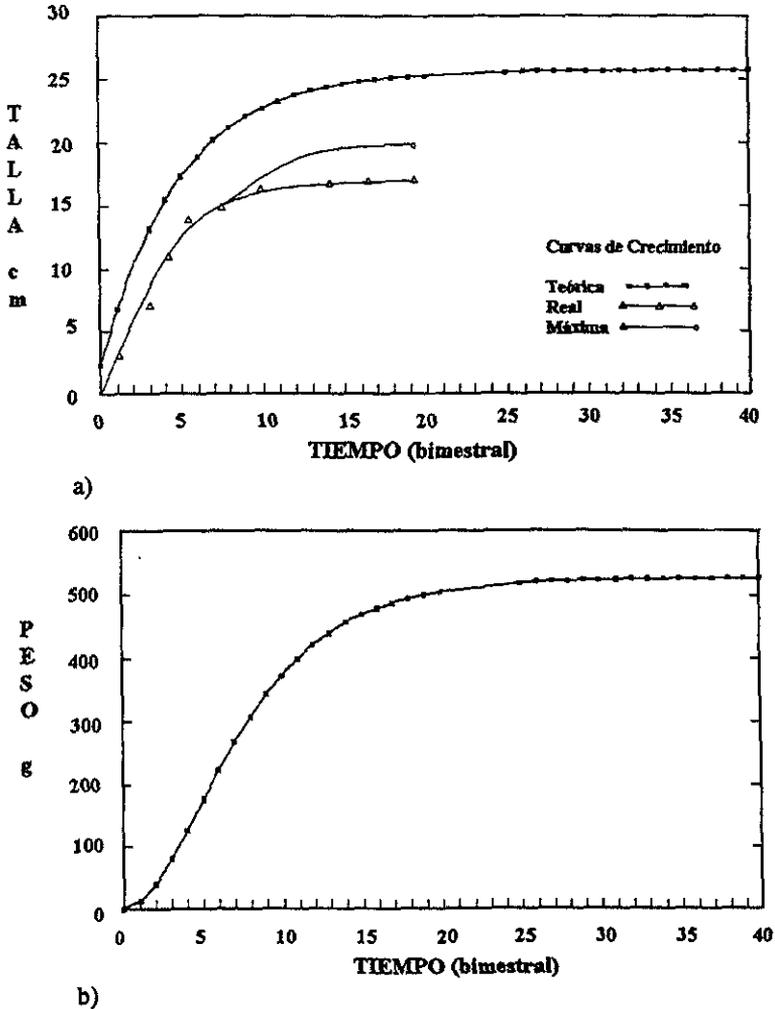


Fig. 41. Curva de crecimiento en longitud a) y en peso b), de la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*) según el modelo de von Bertalanffy, en el bordo San Pedro Ecatepec, Tlaxcala.

Como se observa en las gráficas de crecimiento el tiempo esta dado de manera bimestral, esto responde a que en la época invernal se registran temperaturas bajas (mínimas de 13°C), lo que provoca que en estos meses el crecimiento se detenga o sea muy lento, incrementándose a mediados de la primavera y en los meses estivales, en los cuales se registran las temperaturas máximas (entre 25 y 27°C). Los óptimos de crecimiento y de engorda para las carpas asiáticas se presentan entre 24 y 28°C y los mínimos entre 20 y 24°C (Michaels, 1988).

Las tasas de crecimiento se registran en un intervalo entre 0.23 y 0.39, que son iguales o mayores comparándolas con $k=0.31$ reportado por Torres (1988), o $k=0.20$ por Jaramillo y Sánchez (1991) para el bordo de temporal Chavarría el cual se ubica bajo condiciones de un clima cálido subhúmedo. Aunque estos valores implicarían que el crecimiento se diera a la misma o mayor velocidad, sin embargo, no sucede así ya que el tiempo en que se alcanzan los máximos crecimientos según el modelo de von Bertalanffy son diferentes. Para los sistemas ubicados en climas cálidos las curvas de crecimiento se vuelven asintóticas entre los 8 y 10 meses, sin embargo en Tlaxcala donde se presenta un clima templado el crecimiento máximo se alcanza después de los 14 meses (Tabla 10). De esto se deduce que la interpretación de las constantes del modelo de von Bertalanffy debe hacerse según las condiciones a las que se encuentran sometidos los organismos, o bien, que en el Estado de Tlaxcala al presentarse una época de nulo o bajo crecimiento por las bajas temperaturas (13°C), este modelo se aleja del comportamiento real de los datos, el que supone que en la primeras etapas de desarrollo se da el máximo crecimiento de manera exponencial, para posteriormente hacerse asintótico.

Al comparar el crecimiento de la carpa barrigona en longitud y peso según el modelo de von Bertalanffy se encontró que ésta alcanza mayor crecimiento en el bordo la Discordia, luego en los Remedios y finalmente en el San Pedro Ecatepec. Sin embargo, al observar la distribución de frecuencias de tallas y pesos se encontró en este último microembalse un mayor número de organismos presentaron tallas y pesos superiores a los 11 cm y 100 g respectivamente, lo que se define en las gráficas como la mayor clase modal (de 11 a 18.5 cm y de 105 a 245 g con frecuencias entre 15 y 20 organismos por talla o peso) (Fig. 28). Para la Discordia las clases modales más altas fluctuaron entre 3 y 6 cm, con frecuencia de 30 organismos por talla y de 10 a 17 cm con frecuencias por debajo de los 20 individuos por talla y para los Remedios las frecuencias de tallas fueron aproximadamente uniformes alrededor de 30 organismos por talla, para longitudes desde 5 a 12 cm (Figs. 34, 36).

Al analizar el crecimiento de las especies para los meses de muestreo por medio de cajas múltiples con muesca se observó un mayor crecimiento para la carpa barrigona en el bordo San Pedro Ecatepec tanto en longitud (mediana=15.5 cm) como en peso (mediana=130 g) con una $p=0.05$, le siguió la carpa herbívora con longitud (mediana=13.5 cm) y peso (mediana=53 g), en el bordo los Remedios la longitud (mediana=10 cm) y peso (mediana=34.9 g) fue significativamente mayor $p=0.05$ que la longitud (mediana= 7.7 cm) y peso (mediana=13.8 g) de la Discordia (Fig. 42). Sin embargo, es importante considerar que en el bordo San Pedro Ecatepec probablemente se encontraba una población de mayor edad por lo que las tallas y pesos obtenidos durante los muestreos fueron más altos.

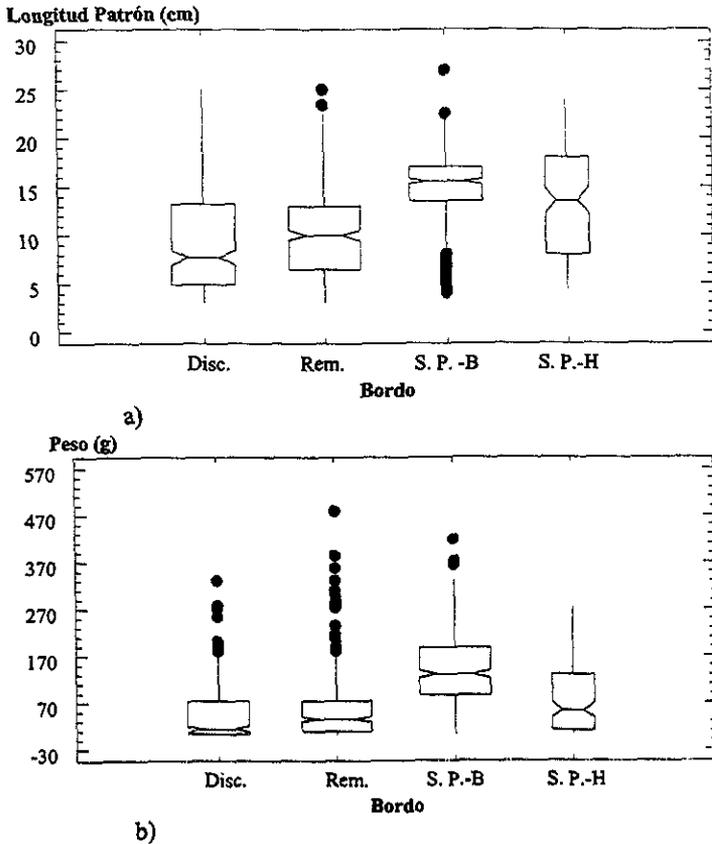


Fig. 42. Análisis de cajas múltiples para el crecimiento en longitud patrón (a) y peso (b) de la carpa barrigona y herbívora en los bordos de estudio del Estado de Tlaxcala (Disc.= Discordia, Rem= Remedios, S:P-B y S:P-H= San Pedro Ecatepec carpa barrigona y carpa herbívora respectivamente).

FACTOR DE CONDICION MULTIPLE

El factor de condición múltiple promedio registrado para las especies fue el siguiente:

Para la carpa barrigona de 19.09 en el bordo San Pedro Ecatepec, en la Discordia de 17.24 y en los Remedios de 8.23. Para la carpa herbívora de 4.99 en San Pedro Ecatepec.

El factor de condición múltiple (KM) se utilizó debido a que considera además de la variabilidad dada por el peso y la longitud, la ocasionada por la altura del pez. Dicha variabilidad fenotípica ocasionada por la componente genética o por el hecho de encontrarse los organismos en condiciones no controladas del sistema, puede ser mejor

detectada al relacionar tres parámetros morfométricos de la población de peces (Medina, 1980).

Este factor de condición para la carpa barrigona fue menor en los Remedios y la Discordia comparado con el bordo San Pedro Ecatepec, con lo que se corrobora una mayor disponibilidad de recursos alimenticios, al presentar una zona productiva mayor.

Sin embargo, estos valores de condición múltiple fueron bajos, al contrastarlos con el obtenido para esta especie en policultivo (60.3), bajo un clima cálido subhúmedo (Hernández-Avilés y Peña-Mendoza, 1992), lo que responde a que los microembalses en el Estado de Tlaxcala, mostraron temperaturas bajas, que influyeron de manera directa en el crecimiento de la especie y en la productividad del sistema.

Aunque no se han reportado factores de condición múltiple para la carpa herbívora en estas condiciones de manejo, se puede considerar que el valor obtenido es bajo. Lo cual responde a que el alimento preferencial de la especie (macrofitas acuáticas) no se encuentra disponible en el bordo. En general esta especie ha tenido un crecimiento lento en el sistema al ser una población que al menos tenía dos años de ser introducida cuando se inicio la investigación.

ANALISIS MULTIVARIADO

El análisis de factor tiene como propósito fundamental el reducir la complejidad de los elementos que conforman el funcionamiento de un sistema y explicarlo con base en las variables más importantes del mismo agrupadas en factores. Todas las variables dentro de cada grupo estarán altamente asociadas entre ellas mismas pero tienen correlaciones relativamente pequeñas con variables en grupos diferentes (Johnson y Wichern, 1992).

Se encontró que cinco factores explicaron la mayor proporción de variación del sistema, con una varianza total acumulada (V.T.A.) del 82.42 %. El criterio de selección de las variables para su inclusión en un factor fue considerar aquellas variables cuya carga de los coeficientes fuera mayor de 5/10, aunque algunos autores proponen al menos 1/3 (Willemsen, 1973) o 6/10 (Arredondo-Figueroa, *et al.*, 1982).

El primer factor (27.17% de variación del factor V.F.) estuvo constituido por variables morfométricas (área superficial, volumen, profundidad máxima, media y relativa, desarrollo del volumen y la pendiente media) y la productividad. En el segundo factor (21.66% V.F) las variables de mayor peso fueron las relacionadas con la componente química (dureza total y de calcio, conductividad, transparencia, nitratos y pH) y algunas variables morfométricas relacionadas con el contorno del sistema: perímetro y desarrollo de la línea de costa, además del área superficial. En el tercer factor (14.49% V.F.) quedaron incluidos los nutrimentos: nitritos, fósforo total y el cociente entre el nitrógeno inorgánico total/fósforo total, la temperatura y el área superficial. En el cuarto factor se consideran los ortofosfatos y el oxígeno y en el último factor el amonio y la alcalinidad (Tabla 7). Cabe destacar que el área superficial tuvo una asociación en los tres primeros factores, lo que determina su importancia en la dinámica de las variables químicas y biológicas del sistema, a través de los procesos de variación del nivel.

Tabla 7. Análisis del factor de rotación varimax normalizada, para los siete microembalses del Estado de Tlaxcala.

FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4	FACTOR 5
PRODUC (0.565)	NITRAT (0.796)	NITRIT (0.634)	ORTOFOSF (-0.794)	AMONIO (0.770)
Ao (0.532)	DURTOT (0.802)	Ptot (-0.757)	DURCALCIO (0.659)	ALCAL (0.072)
V (0.882)	COND (0.870)	NITv/Pt (0.813)	OXIG (0.915)	
Zm (0.913)	PH (0.522)	TEMP (0.789)		
Zmed (0.953)	TRANSP (0.709)	Ao (-0.585)		
Zrel (0.941)	L (-0.825)			
Zmed:Zm (0.795)	Ao (-0.508)			
Dv (0.810)	DI (-0.574)			
Pend.med (0.941)				

PROPORCIÓN DE VARIANZA POR FACTOR.

FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4	FACTOR5
27.12%	21.66%	14.49%	9.88%	9.26%

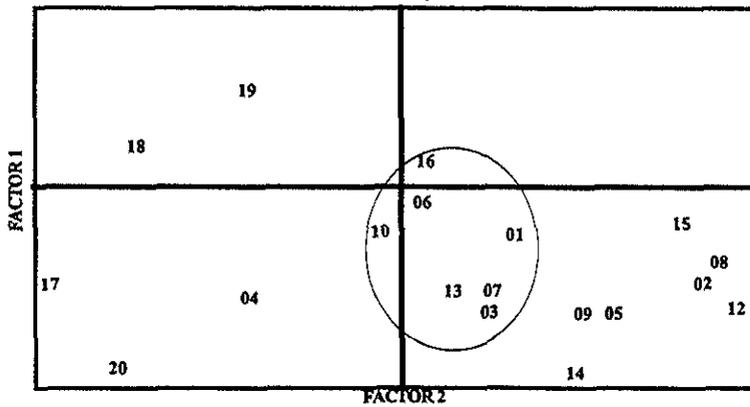


FIG. 43. Representación geométrica de los coeficientes asociados a las variables para cada par de factores del análisis multivariado. (Variables: 1) Fósforo total, 2) nitratos, 3) nitritos, 4) amonio, 5) nitrógeno inorgánico, 6) fósforo total, 7) cociente nitrógeno/fósforo 8) dureza total, 9) dureza de calcio, 10) alcalinidad, 11) oxígeno disuelto, 12) conductividad, 13) temperatura, 14) pH, 15) visibilidad al disco de Secchi, 16) productividad primaria, 17) línea de costa, 18) área superficial, 19) volumen, 20) desarrollo de la línea de costa).

Las variables que más influyeron en el crecimiento de los peces son la producción primaria y la temperatura, tal como lo muestra la regresión múltiple, en donde se encontraron coeficientes de determinación significativos para el bordo los Remedios y únicamente para la temperatura en la Discordia (Tabla 8). Los productores primarios como base de la cadena trófica de pastoreo e indirectamente como generadora de oxígeno, recurso esencial para las poblaciones icticas en cultivo y la temperatura como condición reguladora de las respuestas fisiológicas para el crecimiento de los peces.

Tabla 8. Regresión Múltiple entre el crecimiento, la temperatura y producción primaria para el bordo los Remedios (a) y la Discordia (b).

a)

VARIABLES	VARIABLES	COEFICIENTE	ERROR ESTÁNDAR	VALOR T	NIVEL DE SIGNIFICANCIA
Dependiente	CRECIMIENTO	-17.2176	4.972	-3.4265	0.010
Independiente	PROD. PRIMARIA	0.0651	0.014	4.5504	0.003
Independiente	TEMPERATURA	0.9885	0.233	4.2438	0.004

R. SQ. (AD) = 0.7193

b)

VARIABLES	VARIABLES	COEFICIENTE	ERROR ESTÁNDAR	VALOR T	NIVEL DE SIGNIFICANCIA
Dependiente	CRECIMIENTO	-16.7043	6.4382	-2.5495	0.036
Independiente	PROD. PRIMARIA	0.0177	0.0088	2.0178	0.083
Independiente	TEMPERATURA	1.1309	0.3020	3.7446	0.007

R. SQ. (AD) = 0.5735

DISCUSION DE RESULTADOS

MORFOMETRIA

Al ser los pequeños cuerpos de agua sistemas fluctuantes, las variaciones morfológicas presentan notables cambios que se encuentran gobernados por la precipitación y la temperatura. Así, en la medida en que aumentan la temperatura y la evaporación y disminuye la precipitación, los cambios entre la temporada de secas y la humedad serán mas contrastantes, aunque el impacto de éstos sobre la columna de agua estará modulado por las dimensiones de la cubeta lacustre.

De acuerdo con lo anterior, para una misma condición climática, un cuerpo de agua somero, que posea el mismo volumen que otro profundo y de menor superficie, tardará mas tiempo en secarse (Ryder, 1982). La Figura 3a. muestra entonces que una cubeta lacustre con un perfil hipsográfico de tipo convexo perderá mas rápidamente volumen que uno de tipo cóncavo, de modo que las dimensiones de la cubeta lacustre adquieren mayor significancia en la medida que los climas son más secos, como ocurre en los cuerpos acuáticos del norte del país, en los que el espejo de agua permanece entre tres a cuatro meses.

Los microembalses estudiados en Tlaxcala a pesar de presentar algunos cambios en el perfil, sus topofórmulas se ubican entre las de tipo lineal a cóncavo (Fig. 10), en un clima templado subhúmedo, y sólo pierden una porción entre el 40 al 50 % de su volumen. En cambio, en microembalses con clima de tipo cálido subhúmedo como los del Estado de Morelos, llegan a perder más del 90 % (Hernández-Avilés y Peña-Mendoza, 1992) (Tabla 4). Las topofórmulas que se encontraron (Fig. 10) marcan peculiaridades de cada cuerpo de agua, estableciéndose diferencias, que adquieren por la superficie de contacto que existe con su entorno, especial importancia para las comunidades litorales o bentónicas, lo que favorece el dinamismo para el flujo de energía y el reciclado de materiales, tema que aunque se encuentra fuera del alcance de este trabajo, constituye una línea de investigación que en el caso de los pequeños embalses se encuentra en espera de que sea abordada y que se inscribe en un marco conceptual que es de interés desde fines de la década de los setenta (Somorjai, 1978).

La irregularidad de la línea de costa, al parecer no es determinante, toda vez que son sistemas que se pueden definir entre circulares, subcirculares y elípticos, de tal modo que pueda adquirir mayor significancia el perfil de las topofórmulas, junto con las variaciones de la profundidad media, que entonces adquiere esta última la importancia de una variable que cubre una periodicidad anual y que sintetiza a otro conjunto de variables, llegando a ser el principal indicador de la componente morfológica, no como un valor casi constante como lo define Ryder en sus primeros trabajos, en los cuáles se recomendaba en lagos caracterizados por su estabilidad en el nivel del agua, como un integrante del índice morfoedáfico (Ryder, 1965, 1982).

Como una de las componentes abióticas moduladoras del potencial productivo en las zonas tropicales es la morfológica (Kilham y Kilham, 1990), su dinámica podrá tener mayor o menor importancia frente a otras componentes, de forma tal que el diseño de las

dimensiones de la cubeta lacustre podrá modular este impacto. Al respecto, destaca que en los embalses de Morelos, para alargar el período productivo, serían mas adecuados aquellos con perfiles hacia formas de tipo cóncavo, mientras que los de tipo lineal a ligeramente convexos para Tlaxcala, aunque hay que recordar que este tipo de ambientes son utilizados para múltiples propósitos, por lo que un diseño apropiado tendría que tomar en cuenta no sólo el agregado de actividades sino el manejo integrado, de tal forma que este fuera el óptimo.

El diseño inadecuado en la construcción de los bordos que se advierte, es resultado de una expansión de las actividades productivas más asociado con el incremento de la frontera agrícola, que con un desarrollo regional que tome en cuenta las características y dinámica del entorno. En consecuencia, se advierte a su vez que está por realizarse una regionalización que partiendo de un marco conceptual ubique los diferentes tipos de cuerpos de agua en relación con las componentes que determinan la producción. La información disponible es un punto de partida, pero dada la enorme diversidad ambiental del país, será necesario multiplicar los estudios de caso para afinar los modelos que resulten.

TEMPERATURA

En los bordos estudiados de Tlaxcala, las capas superficiales de la columna de agua presentaron mayores temperaturas y variación con respecto al fondo (Fig. 15), por efecto del calentamiento directo sobre el espejo de agua en el período de máxima insolación durante el día, que solamente lograba calentar los primeros centímetros de la columna de agua debido a una alta turbidez, como se reflejó por la baja visibilidad al disco de Secchi (Fig. 15). La turbidez tanto abiogénica, generada por arcillas, como la provocada por materia orgánica impidieron que la energía accediera a las capas profundas de la columna de agua, ya sea por dispersión en el caso de las arcillas o por absorción en el de la materia orgánica, dentro de esta última el plancton constituyó una trampa energética adicional, sobre todo si se considera que en algunos embalses como la Discordia y los Remedios se alcanzan densidades de fitoplancton de más de 90,000 cel/l como lo reportan Galindo y Loera (1994), y producciones superiores a los 0.5 gC/m²/día (Fig. 27) aunque en una zona trofógena de unos cuantos centímetros, estas aguas ricas en plancton influyen en el incremento de la temperatura superficial según lo citado por Delince (1992).

Los perfiles térmicos mostraron procesos de estratificación en toda la columna de agua, durante las horas de mayor insolación, con la presencia de discontinuidades térmicas con fluctuaciones entre 3 y 7°C y termoclinas oscilantes a lo largo de casi todo el año, con excepción de los meses de octubre a diciembre en los que se registró mezcla (Fig. 14).

Sin embargo, a pesar de la estratificación registrada durante las horas de muestreo (10 a 13 hrs), al encontrarse los bordos fuertemente influenciados por cambios o fluctuaciones atmosféricas diarias, como la variación de la temperatura ambiental la que se encuentra en estrecha relación con la temperatura en la columna de agua en estos sistemas (Arredondo-Figueroa y García-Calderón, 1982, Hernández-Avilés y Peña-Mendoza, 1992), y la acción del viento como principal responsable de la destrucción diaria de la estratificación térmica

en cuerpos de agua poco profundos en zonas tropicales como lo cita Kirk (1986). Así, el efecto del movimiento de las termoclinas y la generación de corrientes de convección, favorece el mezclamiento durante las noches, ya que el enfriamiento de agua de las capas superficiales en estos ambientes puede producirse por efecto de una brisa (menor a 100 cm s^{-1}), la cual es común al finalizar las tardes en zonas tropicales como lo reporta Chang y Ouyang (1988). En función a su comportamiento térmico estos sistemas se clasifican como polimícticos cálidos continuos según el modelo propuesto por Lewis (1983), al encontrarse estos microembalses en latitudes tropicales y ser someros.

OXIGENO

En un ambiente polimíctico cálido continuo era de esperar una sucesión de mezclas y estratificaciones para gases disueltos, sobre todo para el oxígeno. Este contraste se acentúa en ambientes muy someros, donde el efecto de las condiciones ambientales definen cambios drásticos en la hidrodinámica del sistema. Así el efecto de la temperatura puede definir discontinuidades térmicas de hasta 6°C a una profundidad menor de 3 m durante la época cálida del año, que se rompen fácilmente por la acción del viento al disminuir la temperatura ambiental durante las tardes (Boyd, 1990), o procesos de circulación permanente en la hora de máxima insolación durante la época fría del año. Esto implicaría una correspondencia aún para gases disueltos empero, en todos los casos ocurrió una separación entre las concentraciones del oxígeno disuelto entre superficie y fondo (Fig. 15). Este contraste entre dos compartimentos indicó que a pesar de las tendencias de mezcla en toda la columna de agua, existieron factores que actuaron en la separación de capas, entre los que destaca la carga de materia orgánica.

Aunque la separación de estratos fue clara en todos los casos, se pudieron definir dos grupos de embalses: el primero incluyó San Antonio, Rancho Escondido I y II, cuya fertilización dependió principalmente de los aportes alóctonos de la cuenca de drenaje sobre todo en la época de precipitación pluvial, lo cual es evidenciado por las concentraciones medianas de sobresaturación de oxígeno en superficie y valores superiores al 50% de saturación para la mayoría de los casos en el fondo. Estos tres sistemas pertenecen a la misma microcuenca de captación y se encuentran concatenados transportándose agua en la época de inundación en función de la pendiente desde el bordo San Antonio, al Rancho Escondido I y de éste al Rancho Escondido II, existiendo entonces un efecto acumulativo de materiales. Este se manifestó en la reducción del oxígeno, con concentraciones bajas en el fondo de los bordos, sobre todo para el Rancho Escondido II con mínimos de 0.3 mg/l como se observa en la tendencia de dispersión de las cajas múltiples (Fig. 15).

El segundo grupo correspondió a los microembalses San Pedro Ecatepec, Ocote, Remedios y Discordia que fueron fertilizados de manera continua por las deyecciones del ganado que abrevaba en ellos. Para estos sistemas la zona de producción o trofógena con niveles cercanos a la saturación e incluso de sobresaturación en varios meses del muestreo por efecto de una elevada actividad fotosintética, se ubicó en los primeros 20 a 60 centímetros de la columna de agua, espesor estimado de acuerdo con la visibilidad al disco de Secchi; y en menor proporción por el oxígeno disuelto proveniente del aire, tal como lo reporta Milstein, *et al.* (1989) para reservorios utilizados con fines piscícolas. Y la zona de descomposición o trofólítica, en donde se dió un elevado consumo de oxígeno por la

respiración heterotrófica. Esta zona abarcó más del 60% del volumen en estos microembalses, como lo muestran las hipsográficas (Figs. 7, 8, 9), con niveles de oxígeno para la mayoría de los casos inferiores al 30% de saturación. Esto pudiera ser desfavorable para el desarrollo de los peces, pues en general los organismos acuáticos requieren un medio favorable que no debe contener menos del 70% de saturación de oxígeno, como lo reporta (Alzieu, 1994). Asimismo, las variaciones nictemerales de bajo contenido del gas, pueden repercutir en la alimentación y crecimiento (De la Lanza, 1998).

En la superficie de estos sistemas al presentarse sobresaturación de oxígeno, durante las horas de máxima insolación se dio una pérdida por difusión. En cambio en el fondo las concentraciones del oxígeno rara vez excedieron los 2 mg/l y los cambios diurnos no fueron mayores a 1 mg/l. Las bajas concentraciones se registraron al medio día, cuando la radiación solar fue más intensa y la estratificación térmica máxima.

Durante los meses fríos la circulación ayudó a mejorar las condiciones del fondo, sin que se advirtieran fenómenos de estratificación térmica, aunque según el perfil vertical de oxígeno matutino en los bordos con elevada fertilización orgánica se definió un gradiente clinógrado típico de cuerpos eutróficos. En estos microembalses las diferencias entre la superficie y el fondo fluctuaron entre 2.75 y 5 mg/l. Para los sistemas cuya fertilización dependió casi exclusivamente de los aportes de la cuenca en la época de lluvias, las diferencias entre las medianas de estos niveles fueron de aproximadamente 1.5 mg/l, aunque los diagramas de caja mostraron amplias fluctuaciones, con tendencia hacia valores bajos. Para la mayor parte del año se presentaron perfiles menos pronunciados, con pequeñas reducciones hacia el fondo; sin embargo, en algunos meses cálidos del año, se dieron disminuciones significativas en la concentración de oxígeno hacia el fondo de estos sistemas.

VISIBILIDAD AL DISCO DE SECCHI (V.D.S.)

El bordo San Pedro Ecatepec presentó la mayor visibilidad al disco de Secchi como consecuencia de la mayor tasa de sedimentación debido a que las partículas predominantes en el fondo fueron arenas (mayor al 70%). Entre los demás sistemas no se encontraron diferencias significativas en la visibilidad al disco de Secchi (Fig. 16), por el efecto acumulativo de terrígenos, a pesar de que en los sistemas más arcillosos se esperaba encontrar una menor visibilidad, al incrementarse los sólidos disueltos. Además de las características texturales, la variabilidad en este parámetro dependió de las concentraciones de materia orgánica ya que existió una distinción entre embalses que recibieron aportes principalmente del lavado de la microcuenca y aquellos que además fueron fertilizados por las deyecciones del ganado, lo que correspondió con una elevada carga de materia orgánica particulada y disuelta. Además el incremento de la materia orgánica disuelta aumenta la dispersión del material particulado y puede ser considerado como un factor de eutrofización, tal como lo reporta (Weilenmann *et al.*, 1989). Un factor de menor orden de importancia en estos cuerpos de agua como determinante de la baja visibilidad al disco de Secchi registrada, se infiere estuvo dado por los productores primarios planctónicos.

POTENCIAL DE HIDROGENO

Según los valores de pH encontrados en los bordos predominaron los bicarbonatos con excepción del Bordo San Pedro Ecatepec, donde los bicarbonatos declinaron al presentarse pH superiores a 8.3, en donde se da la máxima concentración de los mismos, después de este punto sucede la segunda disociación del ácido carbónico ($\text{HCO}_3^- = \text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+$) como lo reporta Wetzel (1981).

ALCALINIDAD Y DUREZA

La alcalinidad y dureza pueden proceder de dos vías: una abiótica dada por las características de la cuenca y la otra biótica por procesos de descomposición que conducen a una liberación de CO_2 , o de producción primaria que condiciona el incremento de CaCO_3 (Delince, 1992).

En las aguas interiores, la alcalinidad es considerada como un índice de muy poca variación, a menos que ocurran fenómenos de perturbación que afecten los suelos de la cuenca, y que incluso se considera equivalente con la conductividad y el total de sólidos disueltos. (Ryder 1982, Henderson *et al.*, 1973), la variación que se presenta en estos ambientes, debe asociarse con las fluctuaciones de volumen, dentro del patrón de concentración y dilución.

Como las concentraciones de alcalinidad fueron superiores a 40 mg/l de CaCO_3 (Fig. 18), las aguas de acuerdo con Boyd (1979) se pueden considerar como duras, atributo que se asocia con ambientes más productivos. Aunque por las concentraciones de dureza total, las cuales fluctuaron entre 30 y 150 mg/l, las aguas se podrían clasificar como suaves a moderadamente duras, y en ciertos momentos como duras al alcanzar concentraciones entre 170 y 240 mg/l, según la clasificación de Sawyer y McCarty (1967) citado en De la Lanza (1998).

En cuanto a los procesos biológicos, en los bordos con mayor fertilización orgánica (Discordia, Remedios, Ocote y San Pedro Ecatepec), se presentó un mayor dinamismo del sistema de carbono, como se observó por la elevada dispersión en las concentraciones de alcalinidad a través de las cajas múltiples. Esta relación, consecuencia de la descomposición, aumenta la concentración de CO_2 y disuelve CaCO_3 , dentro de una reacción hacia el equilibrio con la formación de bicarbonatos (Cole, 1988). Mientras que la asimilación de CO_2 en la zona trofógena para la fotosíntesis, puede asimismo, contribuir a la variación del sistema de carbono, ahora por procesos de descalcificación, fenómeno que ocurre cuando los productores primarios agotan éste compuesto de equilibrio y utilizan como una fuente alternativa de carbono las formas bicarbonatadas, provocándose la precipitación de CaCO_3 , con el incremento de la alcalinidad hacia el fondo, como se observó en la tendencia hacia valores altos en las cajas múltiples en este nivel. Para los otros bordos con menor variabilidad, hubo una relación predominante con los procesos de mineralización de las rocas, lavado y escurrimientos de materiales de la cuenca de drenaje por efecto de agentes atmosféricos.

El único sistema con características químicas significativamente diferentes de los otros embalses fue el bordo San Pedro Ecatepec, con los promedios más altos de alcalinidad, pH, conductividad y durezas, además de mayor fluctuaciones estacionales lo que se reflejó en una mayor dispersión en las concentraciones, siendo este sistema el más productivo.

La alcalinidad y la dureza del calcio mostraron una mayor variabilidad como se pudo observar por la alta dispersión en sus concentraciones (Figs. 18 y 20) en comparación con la dureza total (Fig. 19), de donde se dedujo la presencia de otros iones, como sulfatos y cloruros que modularon los cambios.

Para los microembalses con reducida fertilización: San Antonio, Rancho Escondido I y II se presentaron concentraciones inferiores en las medianas de la alcalinidad con respecto a la dureza total (Figs. 19 y 20), esto implicó que aparte de existir dureza temporal por bicarbonatos y carbonatos, se presentó dureza permanente no mayor a los 20 mg/l dada por sulfatos y/o cloruros de acuerdo con lo citado por Thurston *et al.*, (1979). Sin embargo, en los otros cuatro bordos los valores de la mediana de la alcalinidad fueron superiores a la dureza total en orden de magnitud entre 20 y 49 mg/l, lo que implica que algunos de los carbonatos y bicarbonatos estuvieron asociados al potasio y sodio más que al calcio y al magnesio (De la Lanza, 1998). Esto corresponde al proceso de fertilización reportado por Stum y Morgan (1981), que aunque no se evaluó la exportación de cada microcuenca, se puede asumir que es elevada por el manejo agrícola con varios ciclos anuales en el que se alternan cultivos y el uso como abrevadero para el ganado. EL cual tiene un efecto en el incremento de la producción en la zona eufótica y las tasas de descomposición en la trofolítica con la liberación de bióxido de carbono que redisuelve carbonatos en los sedimentos, y a la presencia de otros aniones, principalmente amonio por efecto de la desnitrificación, incrementando significativamente la alcalinidad. Al sobrepasar la alcalinidad total del agua a la dureza total, parte de los bicarbonatos y carbonatos están asociados con el sodio y el potasio, más que con el calcio y el magnesio, además la dureza al carbonato será igual a la dureza total como lo reporta Arredondo-Figueroa (1986).

CONDUCTIVIDAD

Las aguas de los bordos tuvieron conductividades que se consideran bajas, según la clasificación propuesta por Talling y Talling (1965) al presentar conductividades por debajo de los 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig. 21).

Al comparar las conductividades de estos bordos con los de otros Estados (Anexo2, Fig. 43) se observó que se encuentran dentro de un intervalo de 80 a 140 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que coincide con los menos productivos y el San Pedro Ecatepec con conductividades de 260 a 310 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con los más productivos y que se ubican en climas semiáridos como los reportados para Hidalgo por Ceja y Gazano (1994) y Durango por PAIR (inédito).

NUTRIMENTOS

NITROGENO

Destaca que para las concentraciones del nitrógeno no se encontraron diferencias significativas entre los siete bordos (Figs. 22, 23 y 24) predominando las formas reducida del nitrógeno (Fig. 24), con altas concentraciones de amonio durante todo el período de estudio, como resultado de la descomposición de materia orgánica, por deaminación como lo reporta Mc Carthy (1980), presentándose en superficie y fondo casos extraordinarios hacia concentraciones altas.

Para estos sistemas se esperaría una alta producción primaria, como consecuencia de que el amonio es la forma del nitrógeno preferentemente utilizada por los autótrofos, especialmente para la síntesis de aminoácidos. Incluso Harrison (1978) plantea una correlación entre la amonificación y la asimilación de amonio y bióxido de carbono, lo que sugiere una fuerte interrelación entre el reciclaje de nitrógeno y la fotosíntesis. Además en estos sistemas al encontrarse concentraciones de amonio superiores a 5 $\mu\text{g-atm/l}$, sugiere que el fitoplancton absorbió esta forma del nitrógeno preferencialmente al nitrato, aún cuando las concentraciones de este último sean altas como lo sugiere Mc Carthy (1980).

En cuanto a la toxicidad del amoniaco para los peces la concentración máxima aceptable es de 0.1 mg/l de N-NH_3 (Meade, 1985), la cual depende de las dinámicas del nitrógeno entre las formas no ionizadas y las ionizadas, las cuales se rigen por el pH y la temperatura. Así para los pH encontrados en los microembalses alrededor de 7 (Fig. 17) las relaciones entre el amonio y su hidróxido fueron de 300 a 1, y para el bordo San Pedro Ecatepec con pH superiores a 8 pero inferior a 9 la proporción fue de 30:1 (Wetzel, 1981). Con base en esto, se estimó de acuerdo con el máximo de amonio de 4.09 mg/l para estos sistemas, una concentración de 0.01 mg/l para su hidróxido, al considerar los valores de pH 7, y para el bordo San Pedro Ecatepec cuya concentración mayor de amonio fue de 2.37 mg/l, una concentración de 0.08 mg/l para su hidróxido, al considerar la proporción de estos iones a pH mayores de 8. Estas concentraciones se consideran no fueron tóxicas para los peces.

Al realizar la suma de las formas inorgánicas del nitrógeno se tiene una concentración para las medianas que fluctuaron entre 373 y 707 $\mu\text{g/l}$ para superficie y de 383 a 909 $\mu\text{g/l}$ por lo que estos sistemas se tipifican según las concentraciones inferiores como meso-eutróficos y altos como eutróficos (Wetzel, 1981).

FOSFORO

Al presentar los bordos concentraciones de fósforo total superiores a 37.5 $\mu\text{g/l}$ se clasifican como eutróficos (Wetzel, 1981; Auer *et al.*, 1986), e incluso hipereutróficos para las concentraciones mayores a 200 $\mu\text{g/l}$ con una probabilidad de 0.6 a 0.9 (Rast y Holland, 1988).

Para el bordo San Pedro Ecatepec existió diferencia significativa entre las concentraciones de ortofosfatos y fósforo total con respecto a los demás bordos (Figs. 25 y 26), al ser un sistema frecuentemente fertilizado por el continuo tránsito de ganado por la microcuenca de

captación, además de presentar la mayor zona trofógena con una zona oxica amplia que favorece una mayor tasa de descomposición de materia orgánica con un incremento en la liberación de fósforo. En el Ocote se observó una tendencia hacia concentraciones altas en la superficie debido a la fertilización con gallinaza en ciertas épocas del año, a través de la depositación de costales de 50 Kg en este sistema, cambiando el manejo, de extensivo a semintensivo.

Otros microembalses que recibieron aportes elevados de nutrimentos fueron la Discordia y los Remedios, ya que en éstos se presentó un lavado constante de materia orgánica particulada o disuelta de una granja constituida por un número reducido de vacas, borregos, caballos y aves de corral (gallinas y guajolotes).

La Discordia es el sitio inicial de captación de la microcuenca, durante la época de precipitación pluvial a través de un escurrimiento principal favoreció el lavado de materiales y nutrimentos del área de cultivos temporales de cereales, con la acumulación de sedimentos. La Discordia al llegar a su máximo nivel se desborda comunicando el agua al bordo los Remedios, transportando parte de estos nutrimentos a este microembalse, donde se dio una mayor acumulación.

PRODUCCION PRIMARIA

En estos ambientes la producción primaria fitoplanctónica estuvo fuertemente limitada por la penetración de la luz y la temperatura del agua, la primera se denotó a través de la baja visibilidad al disco de Secchi y la segunda al presentar estos microembalses siete meses fríos con fluctuaciones de temperatura de 12 a 19°C y cinco meses más cálidos con un intervalo entre 16 y 25 °C, para finales de primavera y durante el verano, al relacionarse estas variaciones con la reducción e incremento de las tasas fotosintéticas respectivamente. Los nutrimentos no fueron limitativos al encontrarse en concentraciones que van de lo meso-eutrófico a lo hipereutrófico.

La V.D.S se asocia comúnmente con una elevada producción planctónica, según Boyd (1979). Así, estos microembalses serían hipereutróficos con una probabilidad por arriba del 0.9 y el Bordo San Pedro Ecatepec eutrófico con una probabilidad de 0.5, según el sistema de clasificación de la Organization for Economic Cooperation and Development, París (OECD) citado en Harper (1992). Sin embargo, estas consideraciones no se pueden aplicar a estos ambientes en particular ya que la V.D.S. se atribuyó más al efecto dado por la gran cantidad de materiales en suspensión, principalmente arcillas (turbiedad abiogénica), las cuales limitaron los procesos autotróficos al reducir considerablemente la zona eufótica. Aunque las arcillas tienden a inhibir los procesos autotróficos por reducción en la iluminación, simultáneamente proveen superficies para la absorción de carbono orgánico disuelto, las que en algunos de estos cuerpos acuáticos fueron abundantes y son una fuente alternativa de alimento para otros niveles tróficos, pues estos agregados favorecen el crecimiento bacteriano, con lo que se incrementa la disponibilidad de alimento, como lo reportan Lind y Davalos (1991).

La producción primaria media en los bordos fluctuó entre 0.51 y 1.36 gC/m²/día, y aunque fue fluctuante no superó los 3.8 g C/m²/día (Fig. 27), lo que ubica a estos cuerpos de agua como poco productivos al presentar concentraciones inferiores a lo reportado como límite superior para sistemas tropicales mesotróficos (2 gC/m²/día) (Thornton, 1987). Asimismo son muy bajos para ambientes de estas dimensiones y utilizados con fines piscícolas, comparados con la reportado para estanques de producción piscícola en zonas templadas que reportan entre 6 y 8 gC/m²/día (Mc Connell, *et al.*, 1977) o de zonas tropicales donde se han registrado de 4.08 gC/m²/día a 6.24 gC/m²/día (Yusoff y McNabb, 1989), o entre 11 y 13 g C/m²/día (Diana, *et al.*, 1991). Siendo las producciones altas en los bordos comparables a las obtenidas de 2.98 a 3.89 g C/m²/día con fertilización orgánica ó inorgánica en aguas muy duras (Arredondo-Figueroa y Lozano-Gracia, 1994).

De acuerdo con Oglesby (1977) la eficiencia con la cual el carbono sintetizado a través de la producción primaria fitoplanctónica es transferido a los rendimientos piscícolas puede estimarse, para los diferentes sistemas acuáticos. Así, este autor reconoce cinco clases, dentro de las cuales los pequeños estanques y reservorios que se localizan en regiones tropicales o subtropicales se catalogan dentro de la clase I, que se caracteriza por la mayor eficiencia (0.7-1.5%). Un ejemplo de esta elevada eficiencia se presenta con el cultivo de carpa, donde la siembra de crías elimina los costos reproductivos y presumiblemente en un término de 240 días de crecimiento se pueden cosechar todos los peces. Asimismo, Liang, *et al.*, (1981), hacen una subdivisión de esta clase basada en predicciones de regresiones entre la producción bruta y los rendimientos piscícolas. Uno de los grupos es de los estanques más productivos bajo un manejo intensivo con eficiencias mayores al 1%. El otro grupo incluye lagos poco profundos y reservorios que reciben un manejo menos intensivo, y cuya eficiencia de transferencia fluctúa entre 0.5% y 1%, y que presentan una mayor variabilidad que el primer grupo dentro del cual podrían ubicarse los microembalses estudiados, aunque esto es materia de un estudio por realizar.

RENDIMIENTOS Y CRECIMIENTO PISCICOLAS

Las diferencias en los rendimientos piscícolas para estos microembalses responden fundamentalmente a un gradiente de las cargas orgánicas como se ha mencionado anteriormente, siendo mayor para los bordos San Pedro Ecatepec, Ocote, Discordia y los Remedios. Los rendimientos calculados de acuerdo con el modelo de Liang *et al.*, (1981) (Tabla 9), son elevados comparados con los reales, lo que puede deberse a una sobreestimación de la producción bruta, al considerar la tasa de fotosíntesis constante a lo largo del día. Sin embargo, esta estimación resulta de interés si se considera como el máximo rendimiento que pueden soportar estos sistemas con base en los productores primarios, reflejando los rendimientos obtenidos de alguna manera una baja eficiencia de transferencia energética.

Tabla 9. Rendimientos piscícolas reales y calculados para los microembalses de Tlaxcala, de acuerdo con el siguiente modelo $\log_{10} FY_n = 0.047 PG_v + 2.44$; $N=18$, $r^2=0.76$; $P<0.001$ donde FY_n = rendimientos piscícolas netos y PG_v = Fotosíntesis bruta expresada en $mg O_2/l/día$, propuesta por Liang *et al* (1981).

MICROEMBALSE	PRODUCCIÓN BRUTA mg $O_2/l/día$	RENDIMIENTOS PISCÍCOLAS REALES Kg/ha/año	RENDIMIENTOS PISCÍCOLAS CALCULADOS Kg/ha/año
SAN ANTONIO	5.92	200	275.42
RANCHO ESCONDIDO I	6.76	200	572.19
RANCHO ESCONDIDO II	9.09	200	737.16
DISCORDIA	16.16	500	1583.45
REMEDIOS	8.35	500	679.90
SAN PEDRO ECATEPEC	14.68	1250	1348.84
OCOTE	15.22	200	1431.04

En la acuicultura es indispensable considerar las condiciones ambientales en donde se desarrollará esta biotecnia y su relación con los procesos productivos del cuerpo acuático, así como las características generales de manejo de los organismos, la intensidad y la estrategia de cultivo, la talla de introducción y la densidad de siembra, pues de estos factores dependerá directamente el crecimiento de las poblaciones y el rendimiento del sistema.

Así, al comparar el crecimiento de la carpa espejo *Cyprinus carpio specularis* y de la carpa barrigona *Cyprinus carpio rubrofruscus* de acuerdo con el modelo de Von Bertalanffy para diferentes condiciones climáticas y de manejo, se observa que para ambientes templados en monocultivos extensivos, los tiempos en que los peces alcanzan la longitud y peso infinitos a partir de una talla de introducción de cría (menor a 2 cm), se da en un período entre dos y tres años, como es el caso de los bordos de Tlaxcala. Mientras que, para las mismas condiciones, adicionando mensualmente tamos de maíz y desechos orgánicos y sembrando con una talla de cría de 11.5 cm, los crecimientos máximos se obtienen en un período entre 7 y 8 meses. En un monocultivo intensivo se pueden reducir este tiempo a 6 meses (Sánchez, 1984) (Tabla 10). Así, en términos generales, se tiene como es de esperarse que un mayor insumo de recursos alimenticios las tasas de crecimiento se incrementen, si las poblaciones se manejan en una talla de siembra mayor a los 10 cm y se evita la etapa desfavorable para el crecimiento, que corresponde con el período frío de finales de otoño e invierno en climas templados en el país.

Asimismo a través de un policultivo extensivo, las posibles relaciones sinérgicas entre las especies, favorecen mejores tasas de crecimiento como se observa en los resultados obtenidos por Ceja y Gazano (1994).

En el otro extremo en los climas cálidos, donde las elevadas temperaturas, influyen directamente en una alta producción primaria de los sistemas y elevada tasa de crecimiento de los peces, se encuentra que a partir de una talla de siembra menor a 2 cm, éstos alcanzan

su máximo desarrollo en un período entre 6 y 8 meses, como lo reportan Hernández-Avilés y Peña-Mendoza (1992) para un policultivo extensivo en el Edo. de Morelos (Tabla 10).

Tabla 10. Comparación entre los valores de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy para la carpa barrigona *Cyprinus carpio rubrofruscus* (*C. c. r.*) y espejo *Cyprinus carpio specularis* (*C. c. s.*) en diferentes microembalses del país. (a) Presente trabajo; b) Sánchez, 1984; c) Ceja y Gazano, 1994; d) Hernández-Avilés y Peña-Mendoza, 1992).

Sistema	L_{∞} (cm)	W_{∞} (g)	K	t_0	b	t (meses)	Especie	Manejo
a) Sn. Pedro Ecatepec	25.04	495.01	0.22	0.83	2.80	30	<i>C. c. r.</i>	1
a) Discordia	28.28	596.69	0.39	0.56	2.87	14	<i>C. c. r.</i>	1
a) Remedios	27.57	623.43	0.33	0.33	2.94	20	<i>C. c. r.</i>	1
b) Huapango "A"	22.3	228.5	0.12	-4.79	2.17	8	<i>C. c. s.</i>	2
b) Huapango "B"	24.6	274.8	0.23	-1.74	2.15	5	<i>C. c. s.</i>	2
b) Temascalcingo "A"	38.7	794.0	0.08	-0.56	2.01	8	<i>C. c. s.</i>	1
b) Temascalcingo "B"	31.8	523.23	0.07	-1.24	2.26	7	<i>C. c. s.</i>	1
b) Tiacaque	22.3	736.5	0.49	-0.69	2.70	6	<i>C. c. s.</i>	4
c) Cuauhtepac	18.25	217.79	0.55	0.57	2.73	8	<i>C. c. s.</i>	3
c) Cantarranas	24.76	784.82	0.44	0.62	2.93	8	<i>C. c. s.</i>	3
c) Cuauhtepac	18.16	281.80	0.47	0.32	2.44	8	<i>C. c. r.</i>	3
c) Cantarranas	23.75	532.13	0.90	0.60	2.88	9	<i>C. c. r.</i>	3
d) Chavarria	32.47	458.04	0.31	0.07	2.69	8	<i>C. c. r.</i>	3

(1) Monocultivo extensivo.

(2) Monocultivo Semintensivo.

(3) policultivo extensivo.

(4) Monocultivo Semiintensivo-intensivo.

Con respecto a los rendimientos, de manera paralela con el comportamiento del crecimiento de los peces se establece un gradiente en función al incremento de la temperatura y la intensificación del cultivo, así en los bordos trabajados en Tlaxcala, éstos fueron muy bajos, fluctuando alrededor de los 200 a 500 kg/ha/año, como resultado de un crecimiento lento por efecto de las bajas temperaturas y reducida producción en los sistemas. Únicamente en el bordo San Pedro Ecatepec los rendimientos fueron de 1200 kg/ha/año, con el cultivo mixto de carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofruscus*) y capa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*), en donde la producción primaria fue más alta debido a una menor turbidez abiogénica en el sistema. Estos rendimientos superan las estimaciones de acuerdo con el modelo de Henderson (1974) y a los monocultivos de mojarra cuyos rendimientos son bajos debido a la alta tasa de reproducción de la especie. Sin embargo, cuando estos tipos de cuerpos acuáticos se manejan con tallas de siembra mayor y alimento complementario, los rendimientos se incrementan significativamente entre 1108 y 1818 kg/ha/año (Sánchez, 1984) y para policultivos extensivos donde se hace un manejo integral de la columna de agua, los rendimientos se incrementan hasta 2456 Kg/ha/año cuando se

maneja una densidad de siembra de 1 org/m² (Navarrete y Sánchez, 1989). Mientras para climas cálidos, en donde los bordos se secan temporalmente, los rendimientos en un período de 6 meses fluctuaron entre casi 800 y 1500 kg/ha, los cuales se duplicarían de no presentarse esta temporalidad (Hernández-Avilés y Peña-Mendoza, 1992). Finalmente, policultivos semi-intensivos en estanques rústicos con tratamientos orgánicos e inorgánicos y densidades de siembra de 1.5 org/m² los rendimientos obtenidos fluctuaron entre 2380 y 3657 kg/ha/año siendo máximo el fertilizado inorgánicamente (Arredondo-Figueroa y Lozano-Gracia, 1994), y en climas cálidos los rendimientos de cultivos semiintensivos de ciprinidos presentaron máximos de 5506 kg/ha/año (Quiroz, 1990) (Fig. 44).

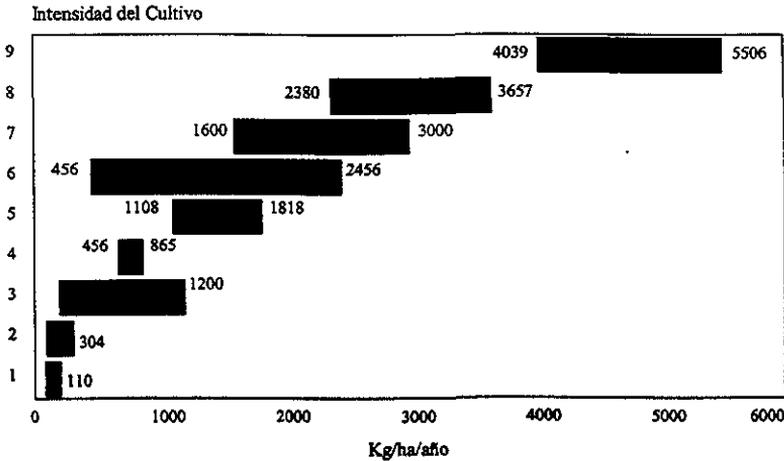


Fig. 44. Comparación de los rendimientos acuícolas en bordos con los obtenidos en diferentes sistemas de producción afines en México. 1. Calculado de acuerdo al modelo de Henderson (1974) por Cortés, (1976) y Arredondo-Figueroa y García-Calderón, (1982), 2. Monocultivos extensivos de mojarra (Hernández-Avilés y Peña Mendoza, 1992), 3. Monocultivos y cultivo mixto extensivos de carpas en climas templados subhúmedos (presente trabajo), 4. Policultivo extensivos en Michoacán (Rosas 1976), 5. Monocultivo extensivo de carpas, con talla de siembra mayor y adicionando alimento complementario (Sánchez y Navarrete, 1987), 6. Policultivos extensivos en el estado de México (Navarrete y Sánchez, 1989), 7. Policultivo extensivo y cultivo mixto en el Edo de Morelos (Hernández-Avilés y Peña-Mendoza, 1992), 8. Policultivo semiintensivo en estanques rústicos en el Edo. de Hidalgo (Arredondo-Figueroa y Lozano-Gracia, 1994), 9. Policultivo semiintensivo en estanques rústicos en el Edo. de Morelos (Quiroz, 1990).

ANÁLISIS MULTIVARIADO

La relación entre la producción primaria con los parámetros morfométricos en el factor I (Tabla 7) se da en función a las variaciones de nivel en estos sistemas, lo que influye de manera indirecta en la acumulación de nutrimentos durante la precipitación pluvial por acarreo de materiales de la cuenca de drenaje y en la época donde predomina la evaporación por concentración de los mismos (Arredondo-Figueroa y García-Calderón, 1982). Así como del material particulado, el cual influye en la turbiedad del sistema, y este a su vez en los niveles de penetración de luz (Cole, 1988). Tanto los nutrimentos como la luz, son factores que determinan las tasas de producción fotosintética por parte de los autótrofos planctónicos (Brilinsky y Mann, 1973; Schindler, 1978).

El hecho de que las variables morfométricas sean las que presentan altas proporciones de carga en el factor I, estriba en que en estos embalses con amplias fluctuaciones de nivel, la dinámica de todo el sistema se ve influenciada de manera importante por los cambios morfométricos anuales y como son someros, existe una mayor interrelación con la cuenca de drenaje (Arredondo-Figueroa y García Calderón, 1982), siendo la velocidad sucesional del ecosistema acuático al terrestre más acelerada comparada con sistemas naturales profundos. Además entre la columna del agua y los sedimentos se presenta una mayor interrelación ocasionada por la circulación continua de la columna de agua (Hakanson y Jansson, 1983), las variaciones de nivel y que estos sistemas presentan poca pendiente (Hernández-Avilés y Peña-Mendoza, 1992).

La producción primaria es importante para la explicación de la dinámica de los microembalses, dado su elevada variabilidad, al depender de los niveles de penetración de luz y de la concentración de nutrimentos. La primera fluctúa en relación con la cantidad de material sestónico, mientras que los segundos experimentan procesos de dilución y concentración en la columna de agua en función de las variaciones de nivel (Arredondo-Figueroa y García-Calderón, 1992).

En estos microembalses, además de la producción primaria, como base de la cadena trófica de pastoreo de la que pueden alimentarse directamente peces planctófagos u omnívoros, habría que considerar la cadena de detritos para fines acuícolas. Ya que éstos al ser fertilizados orgánicamente con estiércol de ganado, desarrollan una zona trofólitica amplia, en donde se llevan acabo altas tasas de descomposición de materia orgánica, aportando además de nutrimentos, materia particulada, que puede ser el sustento para organismos con hábitos alimenticios omnívoros o predominantemente detritívoros e incluso ser el factor determinante de los rendimientos piscícolas como lo plantea Zhu *et al.* (1990), para el caso de la carpa barrigona.

Las variables edáficas que constituyen el factor II, fluctúan por efecto de los procesos de incremento y disminución del volumen con la consecuente dilución y concentración de iones y materiales particulados y en suspensión, las variaciones morfométricas quedan de alguna manera representadas por la línea de costa, la cual aumenta o disminuye en relación con la precipitación pluvial y la evaporación, sin embargo la forma permanece más o

menos constante como se demuestra con el desarrollo de la línea de costa, aunque los procesos de dilución y concentración no son marcados, pues la columna de agua, aun con amplias fluctuaciones no desaparece. Estos microembalses presentan dos características químicas principales, el de ser bicarbonatados, regulados por los procesos de síntesis y degradación de materia orgánica, en donde la asimilación y liberación del bióxido de carbono respectivamente, determinan el sistema de equilibrio y amortiguamiento del carbono (CO_2 , HCO_3^- y $\text{CO}_3^{=}$) de acuerdo con lo propuesto por Wetzel (1981). El tener en suspensión arcillas y materia orgánica, que son factores limitantes de la penetración de luz, como se reporta con los valores bajos en la visibilidad al disco de Secchi. Mientras que las arcillas incrementan la dispersión de la luz, la materia orgánica tiende a una mayor absorción de la misma (Cole, 1988).

La combinación de las dos primeras componentes, la morfométrica y la edáfica, como reguladoras de la producción han sido consideradas como base de los rendimientos pesqueros así, Ryder (1965) propuso el índice morfoedáfico (IME) el cual es el cociente entre una variable morfométrica (la profundidad media) con un parámetro edáfico (alcalinidad o conductividad). El IME indica la disponibilidad de nutrientes, a través de la concentración de los sólidos disueltos, y la capacidad de un sistema para procesar energía y materiales, al tomar como condicionante la profundidad media. Presumiblemente, los factores morfológicos y químicos controlan la producción primaria autóctona, la cual provee la materia orgánica como base de las cadenas tróficas, lo que determina la magnitud de los rendimientos pesqueros. El autor propuso una regresión entre los rendimientos pesqueros en grandes sistemas lacustres y el IME, en donde encontró valores aceptables del coeficiente de determinación. Sin embargo, para estos pequeños embalses se observó una mejor relación entre las variables morfométricas y la producción primaria como se encontró con el análisis de factor. Esto respondió a que la mayor carga de nutrientes deriva de la fertilización orgánica producida por el ganado y en segundo lugar del proceso de mineralización de la roca con aportes alóctonos provenientes de los acarreos de la cuenca de drenaje, dado que se observa una acelerada degradación del suelo por efectos erosivos, lo que implica que el carbono y los nutrientes no resultan limitantes y el factor edáfico probablemente juegue un papel secundario.

En el tercer factor los nutrientes se relacionan con la temperatura del cuerpo acuático, ya que estos sistemas son polimícticos cálidos continuos, donde la acción del viento al atardecer o anochecer es suficiente para romper diariamente e incluso en cuestión de pocas horas, la estratificación que se formó a lo largo del día, sobre todo en las épocas más cálidas del año (Boyd, 1990). Esta circulación influye en la redistribución de los nutrientes de la zona trofólitica a la trofógena, siendo además un factor determinante en la homogenización química de la columna de agua. Además la temperatura influye directamente en la velocidad de mineralización.

Los últimos dos factores (IV y V), aunque presentan una carga que contribuye a explicar la variación total de los sistemas, los pocos parámetros que definen a cada uno de ellos entre sí, no muestran relaciones que se puedan establecer de manera directa como en los casos anteriores.

Al observar el gráfico entre el factor 1 y 2 se encuentra una asociación entre la alcalinidad, nutrientes, producción y temperatura (Fig. 43), relación que es de esperarse debido a que la temperatura influye en la tasa metabólica del fitoplancton, así como activador de los procesos de descomposición de la materia orgánica, con la consecuente liberación de nutrientes. Brilinsky y Mann (1973) postulaban que la producción en ecosistemas acuáticos epicontinentales era principalmente controlada por la entrada de radiación solar determinada por la latitud. Sin embargo, Schindler (1977), sugirió que el efecto de la latitud encontrado por Brilinsky no podía ser debido a la luz, sino que se relacionaba con el suplemento y la eficiencia del reciclaje de nutrientes, al encontrar correlaciones altamente significativas entre la concentración total de fósforo con la producción y la concentración de clorofila "a" al ajustar la carga de este micronutriente al tiempo de residencia hidráulica.

La relación de la producción primaria con la alcalinidad esta determinada por el sistema de amortiguamiento y disponibilidad del carbono. Cuando la producción es elevada se presenta una alta asimilación del CO_2 , con una tendencia al incremento de los bicarbonatos y por tanto del pH. Incluso bajo ciertas condiciones de reducción del CO_2 , se puede utilizar el carbono de los bicarbonatos por los organismos autótrofos y producirse precipitación de carbonatos, proceso que se conoce como descalcificación epilimnética (Wetzel, 1981). Además, la alcalinidad da un indicio de la mineralización del sistema, y en los casos extremos bajo condiciones de baja y alta mineralización se presenta una producción primaria que es atenuada; en el primer caso por que las aguas con pocas sales disueltas son poco fértiles; mientras que en el segundo se debe a la tendencia de los fosfatos a formar sales insolubles que precipitan en aguas alcalinas, con lo que se pierde su posible utilización en el desarrollo del plancton. La máxima producción se obtiene en condiciones intermedias de mineralización (Margalef, 1976), circunstancia similar a la que se registró en los bordos.

Es evidente que las relaciones obtenidas con el Análisis de Factor aunque están dentro de los marcos conceptuales teóricos al respecto y se toman como punto de partida para hacer una discusión global, al considerar las tres componentes: morfométrica, climática y edáfica como base de un análisis más explicativo y general, se deberá utilizar información de microembalses ubicados en diferentes condiciones, lo que permita mostrar la variabilidad de los parámetros de cada componente.

FACTORES DETERMINANTES DE LA PRODUCCION

Las determinantes de la producción de la columna de agua están condicionadas por tres componentes abióticas: Las dimensiones de la cubeta lacustre (componente morfométrica); los materiales disueltos (componente edáfica) y los procesos meteorológicos (componente climática) (Rawson, 1939 y Cole, 1988) (Fig.45).

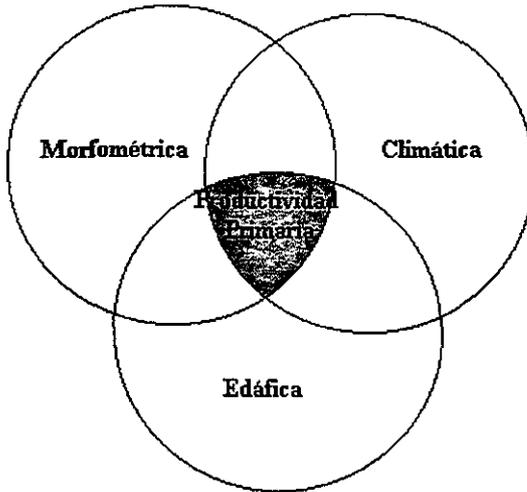


Fig. 45. Esquema conceptual de las componentes que determinan la producción biológica en un ecosistema acuático.

En un ambiente acuático, ya se trate de un lago, embalse, estanque o cualquier cuerpo de agua natural o construido, la interacción de las tres componentes modulará el flujo de energía y el reciclado de los materiales expresados como producción primaria. Empero, la interacción de las tres componentes no se da regularmente con la misma intensidad, sino que es frecuente una asimetría en una dimensión regional, aunque puedan presentarse condiciones únicas para sendos sistemas (Ryder, 1982).

La intervención humana puede modificar las condiciones en que se dan las interacciones de las componentes aumentando el efecto de alguna de ellas. Las perturbaciones pueden ser intencionales teniendo como foco de atención a la columna de agua o indirectas, las cuales se vinculan con modificaciones o alteraciones de la cuenca de drenaje o del ambiente. Entre las primeras se puede mencionar: el diseño de las dimensiones de la cubeta, la fertilización, el manejo hidráulico, mientras que en las últimas se tiene la degradación de los suelos, las emisiones de contaminantes, la deforestación, la erosión, entre otras.

La bióta acuática constituye otra componente, que está gobernada a su vez en estructura y funcionamiento por las componentes abióticas, ya que contribuyen a regular el ambiente, por los efectos de los procesos fundamentales como la fotosíntesis y la respiración, en los que se involucran el intercambio de materiales en ciclos cerrados y abiertos, que constituyen elementos de articulación entre los sistemas acuáticos y terrestres.

Los registros obtenidos en los bordos de Tlaxcala se han analizado bajo este marco conceptual.

INTERACCIONES PAREADAS

Se asume que las diferentes componentes tienen interacciones y que en éstas, el clima condiciona a través de los fenómenos de evaporación y precipitación pluvial, fluctuaciones en la cubeta lacustre, las cuales hacen que algunos cuerpos de agua tengan mayor dinamismo que otros. Este dinamismo se pudiera dar en los ambientes cálidos-húmedos con menores variaciones hasta los semiáridos-áridos donde se generan condiciones contrastantes (Fig.46).

COMPONENTE CLIMATICA-COMPONENTE MORFOMETRICA

Cada tipo de clima genera una unidad temporal de variación, la franja latitudinal en la que México se encuentra, permite establecer más que un régimen térmico como condicionante de las variaciones ambientales, el régimen de humedad-sequía, que se sitúa en el primer orden de influencia en la dinámica de los sistemas. La heterogeneidad topográfica y la distribución de tierras y mares, por la conformación del territorio, que en la vertiente del Atlántico forma un Golfo limitado por el canal de Yucatán, permite una circulación que proporciona mayor humedad a la región en contraste con la vertiente del Pacífico, estableciéndose modalidades en las cuales se dan variaciones importantes en el régimen de humedad-sequía (Rzedowski, 1978). La frontera entre cada régimen es muy variable, tanto que el período de transición puede llegar a constituir una etapa en sí, dependiendo de la duración del mismo.

La fase de transición puede tener una dimensión geográfica o temporal. Hay regiones en las cuales se presenta una estacionalidad muy marcada de sequía y humedad, mientras que en otras hay un corrimiento de fechas entre la estación seca y la húmeda (García, 1996) (Fig. 46). Así, para un clima cálido-húmedo, en lo general el período de secas se reduce a tres meses del año, por efecto de las lluvias veraniegas y de la épocas de nortes, mientras que para un clima cálido subhúmedo, el período de estiaje dura hasta 9 meses del año, lo que propicia condiciones contrastantes en la variación morfométrica de los microembalses, presentando una mínima fluctuación volumétrica porcentual el primer caso; mientras que, para el segundo, la pérdida de agua se agudiza hasta definir condiciones de evaporación total, estableciéndose un gradiente entre sistemas permanentes y temporales. Las diferencias antes mencionadas se pueden considerar subunidades o variantes de la unidad

principal, que tienen particularidades que han motivado que se establezcan modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (García, 1988).

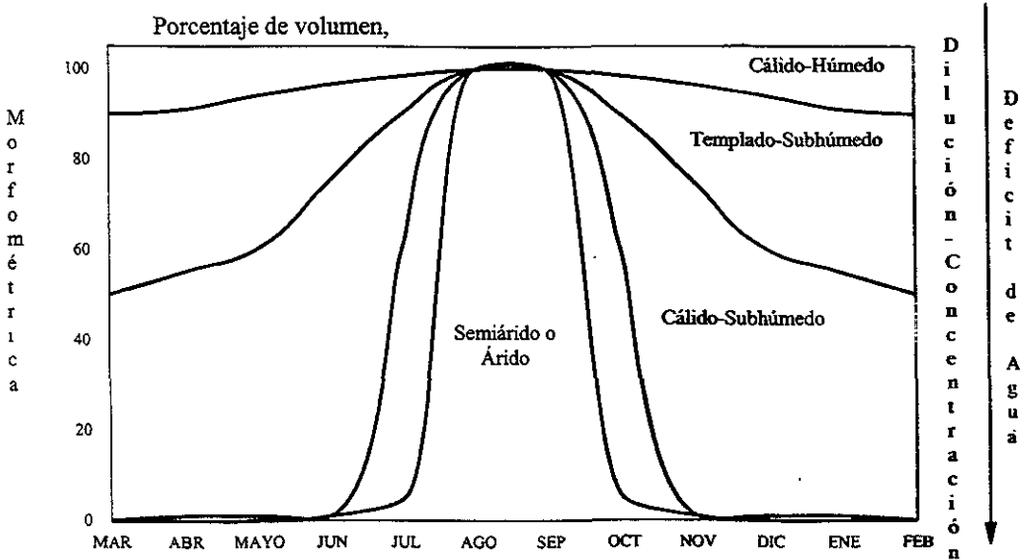


Fig. 46. Modelo de la variación volumétrica porcentual para diferentes condiciones climática en sistemas fluctuantes o temporales.

Entre este intervalo se ubican los climas templados húmedos y subhúmedos, los primeros al igual que los cálidos húmedos tienen períodos de lluvias semejantes, definiéndose la diferencia en términos de la temperatura, donde las temperaturas frías se establecen durante los meses de norte, lo que reduce significativamente las tasas de evaporación, con una disminución del volumen entre un 20 y 30% en la época seca. Mientras para un clima templado subhúmedo, las temperaturas que fluctúan de templadas a frías a través del año no favorecen altas tasas de evaporación; sin embargo, el hecho de que la etapa húmeda se presente durante 7 meses y la seca los cinco restantes, lleva a una condición en que en esta última se da una reducción gradual del volumen hasta del 50% (Figs. 46 y 47).

El estado de Tlaxcala se ubica en la parte centro-oriental del país, situado en las tierras altas del Eje Neovolcánico, sobre la meseta de Anáhuac, se encuentra todo él, por arriba de los 2000 m de altitud. El clima es, en general, templado subhúmedo con lluvias en verano, pero tiende a ser más seco y extremo en los llanos centrales y septentrionales, y más frío hacia las alturas de la Malinche (INEGI, 1981b).

En Tlaxcala, que por su situación geográfica se encuentra hacia la vertiente del Golfo, la sombra de lluvia que ejerce la zona montañosa, tiende a acentuar la temporada de secas, aunque el régimen de nortes (noviembre-marzo) la atenúa. Además las condiciones

microambientales, como ubicación de laderas, sombras de lluvia, extensión de la cuenca, pendientes de escurrimiento, altitud, tipo de suelo, etc., aunque referido a la estación húmeda-seca plantearía condiciones locales dentro de esta unidad templado-subhúmeda con una subunidad que establecería tres etapas: nortes, secas y lluvias. Que se caracterizarían para la etapa de Nortes por condiciones frías y húmedas, aunque la fuerza de los nortes es variable, en cada año. A esta etapa se le podría denominar frío-seco-atenuado, precisamente por la presencia moderada de los nortes, a la que sucedería durante la primavera una etapa que va de cálida-seca y en verano y principios de otoño a caliente-húmeda (Fig. 47). Estas etapas se pueden observar en la Fig. 14 donde la temporada de nortes propicia que los cuerpos de agua no solo mantengan un nivel sino que lo incrementen por las lluvias. Aunque hay que considerar nuevamente que los nortes no representan una fase estable y hay años en que estos traen más o menos lluvias como se advierte en las Figuras 11 y 12. El descenso del nivel esta condicionado por una mayor temperatura y ausencia de precipitación pluvial a las que siguen las lluvias de verano.

Estado	Oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	agst	sep	Tipo de clima
Veracruz Planicie Costera	Caliente												Cálido-húmedo
	Nortes				Secas				Lluvias				
	Caliente Húmedo				Caliente-Seco				Caliente Húmedo				
Centro y Sur de Morelos	Caliente												Cálido-subhúmedo
	Secas						Lluvias						
	Caliente-Seco						Caliente-Húmedo						
Jalapa	Templado						Caliente						Templado-húmedo
	Nortes			Secas			Lluvias						
	Templado-Húmedo			Caliente-Seco			Caliente-Húmedo						
Tlaxcala	Frio						Templado						Templado-subhúmedo
	Secas-Nortes						Lluvias						
	Frio-seco-Atenuado						Templado-Húmedo						
Acatlán Hgo.	Templado												Semiárido-templado
	Seco						Húmedo						
	Templado-Seco						Templado-Húmedo						
Durango	Templado						Caliente						Arido
	Seco						Húmedo						
	Templado-Seco						Caliente-Seco			Caliente-Húmedo			

Fig. 47. Determinantes termoplumiométricas de las variaciones de volumen para diferentes condiciones climáticas de México.

En un clima semiárido como en Aguascalientes el período de precipitaciones pluviales máximas comprende únicamente cuatro meses, de junio a septiembre, con registros medios mensuales cercanos a los 100 mm. Posterior a esta fecha inicia una etapa de estiaje con precipitaciones pluviales medias mensuales menores a los 25 mm. Aunado a esto, la fluctuación de la temperatura media ambiental define un comportamiento en forma de campana con máximas de 23°C durante el verano y mínimas de 14°C en el invierno. Estos factores establecen claramente una etapa de llenado del cuerpo acuático en Aguascalientes durante la temporada de lluvias y otra donde se presenta una reducción consecutiva del volumen hasta que el sistema se seca totalmente, por efecto de la evaporación o de los usos que se hagan del mismo, como el riego o abrevadero (Cortés, 1976) (Fig. 48). Directamente vinculado a estos procesos atmosféricos se define una etapa de dilución y otra de concentración de materiales en el sistema respectivamente. Caracterizándose ésta última por elevadas tasas de descomposición y producción primaria (Hernández-Avilés y Peña-Mendoza, 1992). En estos bordos temporales la siembra se realiza al inicio de la época de lluvias, cosechando en un intervalo entre 6 y 8 meses, donde los organismos en cultivo ya alcanzaron la talla comercial. En cambio, en ambientes templados subhúmedos como en Tlaxcala, el período de lluvias es más prolongado con variaciones medias entre 60 y 140 mm, con temperatura media ambiental baja entre 10 y 15 °C, la cual influye de manera importante en las bajas tasas de producción y descomposición, así como en el crecimiento de las poblaciones icticas en cultivo. En estos bordos permanentes, las variaciones de nivel son menos drásticas y se definen con menor claridad procesos de dilución y concentración. Siendo altamente recomendable la utilización de alimentos complementarios de alto valor nutricional como puede ser cereales tales como maíz o trigo, además de que la siembra de organismos debe ser en tallas cercanas a los 10 cm, pues de otra forma los crecimientos máximos se alcanzarán hasta después de un período de 18 a 24 meses (Fig. 48).

Aunque se puede reconocer que el factor primordial es la precipitación- evaporación, que condiciona la estación seca, no es posible desdeñar la componente térmica, ya que esta es más importante en función de la altitud (Moss, 1988). Así en el Altiplano y en la zona montañosa, es necesario considerar no solo la precipitación sino incorporar la temperatura.

La tipificación del régimen de variación en Tlaxcala cubre solo un aspecto de una clasificación que está en proceso de definir. Tarea difícil sobre todo por la enorme diversidad del territorio, aunque se puede considerar que el factor primario es el de sequía-humedad como ya se analizó anteriormente.

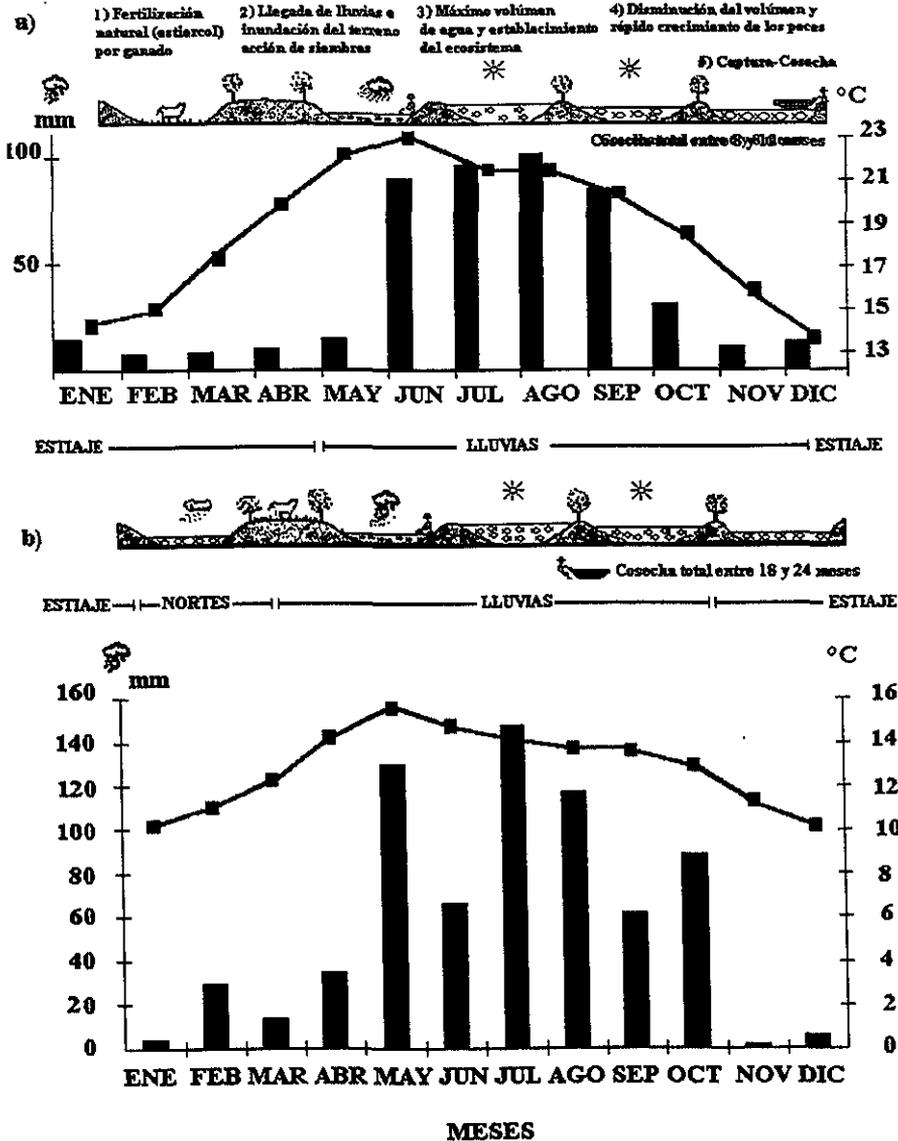


Fig. 48 a. Registros termopluviométricos en una zona con clima semiárido (BS₁hw (w) (e) en Aguascalientes (Cortés, 1976). b) Templada-subhúmeda C (w₂) y C(w₁)(w) en Tlaxcala, y su relación con la introducción de crías y captura en un ciclo anual. (Registro de lluvias (histograma), temperatura (líneas continua).

COMPONENTE CLIMATICA-COMPONENTE EDAFICA

El clima condiciona la concentración de los materiales disueltos en la columna de agua. Así en un clima caracterizado por un exceso de precipitación pluvial hay un proceso de lavado constante del suelo y entre más acelerada sea la tasa de renovación de la columna de agua, es de esperar concentraciones bajas en el total de sólidos disueltos y la conductividad eléctrica. En cambio entre más déficit de agua se registre habrá una mayor concentración de materiales. La temperatura además puede actuar como un factor coadyuvante, toda vez que acentúa los procesos de mineralización. Es de suponer que entre mayor concentración de materiales disueltos se presenten en la columna de agua se condiciona una mayor producción, hasta que un exceso de sales provoque precipitación que podría arrastrar nutrimentos. Sin embargo, otra limitante de la producción es la presencia de arcillas, arrastradas de la cuenca por procesos erosivos que al llegar a la cubeta lacustre se encuentran disueltas e impiden la penetración de la luz.

Una característica de estos ambientes la constituye una turbidez elevada, como es común en el Altiplano, resultado en los cambios en usos del suelo, acentuados por una topografía con pendientes más pronunciadas que establece limitantes para la producción primaria aunque existen dudas importantes sobre la producción heterotrófica, toda vez que se tienen evidencias que cuando se limita la producción por exceso de materiales en suspensión que impide la penetración de luz para la fotosíntesis, las arcillas juegan por otro lado un papel como trampas de materia orgánica, donde se establecen conglomerados con comunidades bacterianas que sirven de alimento a los peces (Lind y Dávalos-Lind, 1991, Lind *et al*, 1994). Al respecto, es importante resaltar la pertinencia de abrir líneas de investigación sobre la cadena heterotrófica, ya que las investigaciones más recientes permiten suponer que esta es más importante de lo que se había supuesto.

En general algunos microembalses del Altiplano Mexicano presentan conductividades en un intervalo entre 80 y 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, no encontrando una clara relación con las diferentes condiciones climáticas en los que se ubican, y por ende una vinculación con los factores meteorológicos como determinantes de los procesos de mineralización de la roca (Fig. 49). Estos pueden quedar enmascarados por diversos factores, tales como: las características edáficas de las cuencas, el gradiente de degradación de los suelos por procesos erosivos y finalmente por el nivel de intensidad acuícola y las variaciones de nivel de estos cuerpos de agua, asociadas a fases de dilución y concentración. Aunque los microembalses en condiciones semi-secas cálidas y cálidas húmedas tienden a conductividades más elevadas como resultado de una mayor mineralización de la roca asociada con altas temperaturas, aunado a la precipitación pluvial para la segunda condición climática.

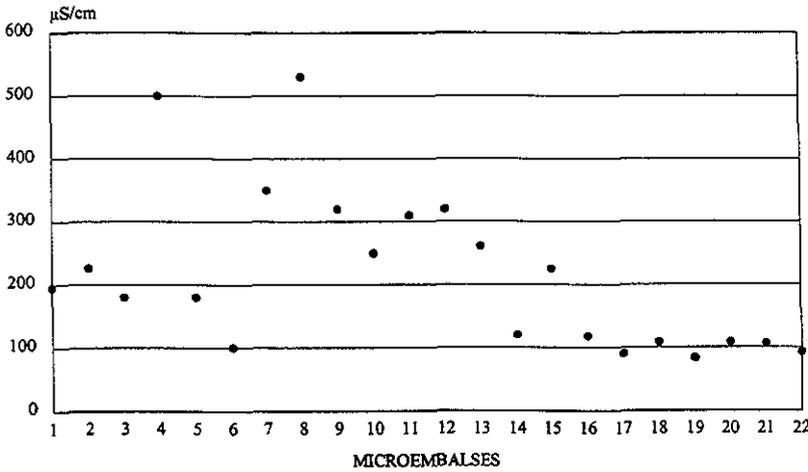


Fig. 49. Relación entre diferentes condiciones climáticas y la conductividad en ecosistemas acuáticos continentales. (Microembalses de los siguientes Estados: Morelos: 1) Michapa, 2) Chavarría, 3) Santa Cruz, 4) Los Lavaderos, 5) Chacaltzingo, 6) El Móvil. Durango: 7) El monigote, 8) El Colorado, 9) San Marcos, 10) El Mesquite 11) Los Ladrillos, 12) Zapata. Hidalgo: 13) Cantarranas, 14) Cuauhtepac. Tlaxcala: 15) San Pedro Ecatepec, 16) Ocote, 17) Sn. Antonio, 18) Rancho Escondido I, 19) Rancho Escondido II, 20) Discordia, 21) Remedios. México: 22) Bordo cercano al embalse La Goleta. Los primeros seis microembalses presentan el grupo climático cálido húmedo "A", del 7 al 14 son secos "B" y los últimos 8 templados húmedos "C"). (Ver Anexo 2).

COMPONENTE MORFOMETRICA-COMPONENTE EDAFICA

Una forma de analizar la relación entre estas dos componentes como determinantes de la producción de los sistemas, es a través del índice morfoedáfico (IME), que combina la sencillez metodológica con la complejidad conceptual al utilizar la conductividad, el total de sólidos disueltos o la alcalinidad, como una medida de la componente edáfica, y la profundidad media, como indicador de la componente morfométrica (Ryder, 1982).

Así, si se considera el factor climático como poco variable (como sucedería en una latitud tropical) los dos factores restantes, el morfométrico y el edáfico, evaluado por medio de algunos parámetros, determinarán la producción. De esta manera, para el factor morfométrico la profundidad media estará inversamente relacionada con la producción; mientras que para el factor edáfico, representado por la conductividad, la relación será directa.

Aunque se han propuesto diferentes modelos matemáticos, a partir de este índice y su relación con los rendimientos pesqueros potenciales, lo cual se inició para lagos de

Norteamérica (Ryder, 1965), posteriormente para lagos y presas sujetas a un intenso esfuerzo de pesca (Henderson y Welcome, 1974), o lagos en condiciones tropicales (Melak, 1976), no se ha contemplado el análisis para sistemas de dimensiones pequeñas, como serían los microembalses con manejo piscícola. Así se consideró pertinente estimar un modelo para 18 sistemas pequeños (bordos o estanques rústicos) ubicados en México, empleados con fines acuícolas bajo diferentes niveles de intensidad (Fig. 50a) donde se incluían microembalses del presente estudio (Anexo 1), obteniendo la siguiente ecuación de regresión:

$$\log \text{Rend} = 0.6014 + 1.1638 \log \text{IME}, \text{ con } n=18, R^2=60.69\% \text{ y } \beta_1 (p<0.01).$$

Este modelo cumplió de manera significativa los supuestos de normalidad y homocedasticidad (Fig. 50 b y c). De donde se deduce que estas dos componentes juegan un papel determinante, en la producción acuícola de estos microembalses, pudiendo usar esta ecuación con fines predictivos de los rendimientos, los cuales dependerán en una alta proporción de las características edáficas de la microcuenca de captación, de la carga y tasa de mineralización de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrimentos, así como su vinculación con la dinámica de variación morfométrica de los sistemas. O bien, se puede considerar que al dividir la conductividad entre la profundidad media del conjunto de sistemas acuáticos se tiene como efecto una primera estandarización de los datos, que al ser transformadas en una escala logarítmica permite obtener una mejor relación entre el IME y los rendimientos piscícolas.

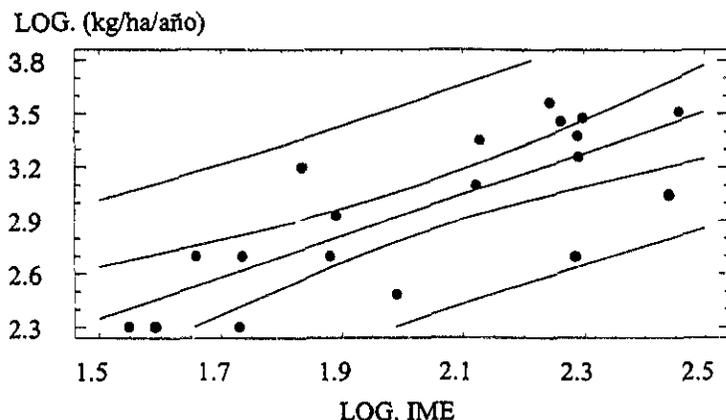


Fig. 50a

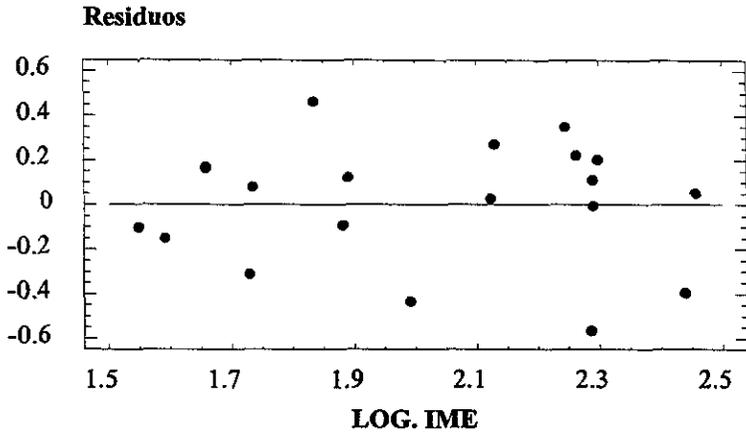


Fig. 50b.

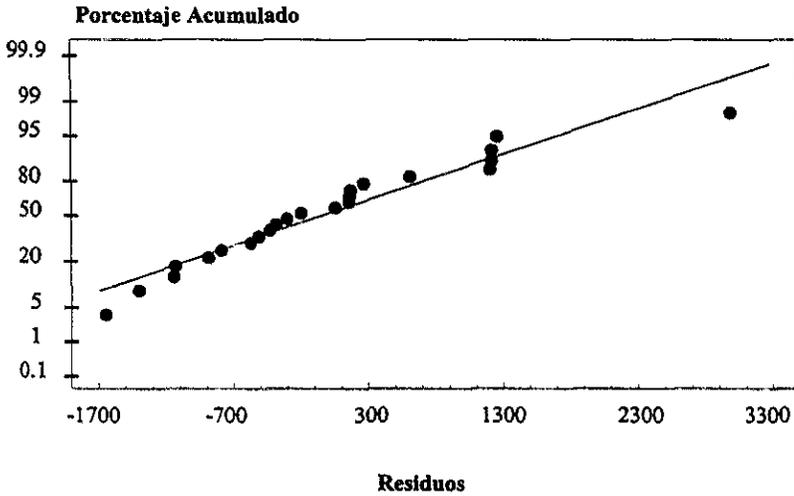


Fig. 50c.

Fig. 50. a) Regresión lineal de los rendimientos piscícolas como una función del índice morfoedáfico IME (alcalinidad/ \bar{z}) para 21 microembalses (bordos o estanques rústicos), b) Prueba de homocedasticidad, c) Prueba de normalidad.

INTERRELACION DE LAS COMPONENTES ABIOTICAS Y SU INFLUENCIA CON LA PRODUCCION

La producción de las aguas interiores está condicionada por un cúmulo de variables que pueden ser agrupadas en tres componentes: la morfométrica, la edáfica y la climática, las que no sólo constituyen atributos de la cubeta lacustre, sino que a su vez forman parte de un entorno mucho más amplio, de modo tal que la morfometría forma parte de la geomorfología de la cuenca. Los materiales disueltos, resultado del intemperismo y exportación de materiales de la misma, así como de la interacción entre la atmósfera y la columna de agua; en tanto que la climática, a través de la temperatura, la precipitación y la evaporación, se articula con la columna de agua (Cole, 1988, Likens y Bormann, 1974).

En algunos procesos la columna de agua es sólo un reservorio temporal, a través del cual los materiales transitan, "aguas abajo", provocando modificaciones en la estructura y funcionamiento del ecosistema hasta llegar a los sedimentos, con lo que se reducen las oportunidades de retorno, pero también el reservorio constituye un depósito temporal para otros materiales en su camino hacia la atmósfera.

El grado de interconexión entre el sistema acuático y el ambiente exterior, lo establecen los flujos que pasan a través de éste, actuando aquel en función del entorno, de tal forma que su dependencia será mayor de acuerdo con el grado de perturbación de la cuenca. Así, una muy erosionada contendrá una cubeta lacustre que tienda a ser de tipo convexo; del mismo modo los aportes alóctonos caracterizarán una columna de agua con altas concentraciones de materiales disueltos, entre los cuales se pueden contar a los nutrientes, los que provocarán salidas hacia los sedimentos, como en el caso del fósforo, o hacia la atmósfera, en el del nitrógeno.

Esto explica porque en el análisis de componentes principales de los microembalses estudiados en Tlaxcala, la morfométrica y la edáfica inciden directamente en la producción de la columna de agua (Tabla 7) y por tanto en los rendimientos. La combinación de estas dos componentes a través de la relación de sus variables más representativas constituyen el Índice Morfoedáfico (Fig. 50) ya discutido. Aunque como las variables empleadas son registros de la columna de agua se restringe la explicación de poco más de dos terceras partes de la variación total del sistema, esto ocurre porque las componentes consideradas pertenecen a un primer nivel de interacción, dependiente a su vez de conjuntos más amplios. Estos constituyen un segundo nivel de interacción, con articulaciones pareadas semejantes a las relaciones descritas para los componentes de la columna de agua, como puede advertirse en la Fig. 51.

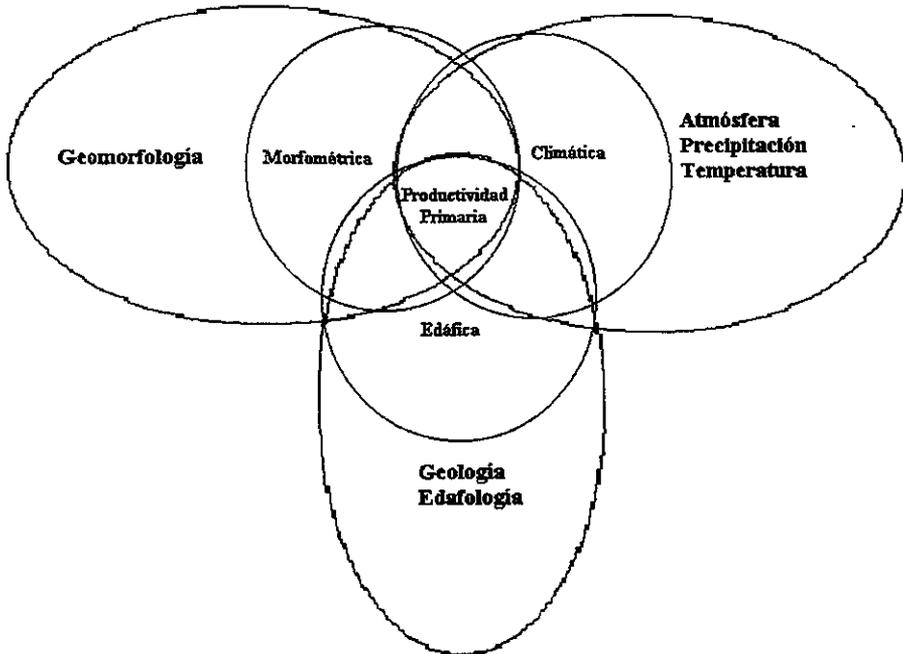


Fig. 51. Esquema conceptual final de las interrelaciones de la componente climática, edáfica, morfométrica y su influencia con la biótica.

Como la gran mayoría de los microembalses son sistemas diseñados, la columna de agua surge como un sistema eutrofizado, aunque la manipulación de la cuenca a través de los usos del suelo regulará el grado de perturbación de la misma. De esta forma la integración de actividades productivas deberá tomar en cuenta los patrones en la dinámica de los flujos de energía y el reciclado de los materiales, con el fin de optimizar su uso. Así por ejemplo, en Tlaxcala la reducción de las tasas de erosión en la cuenca por medio de actividades productivas que al mismo tiempo retengan el suelo, tendrá un impacto directo en la producción acuática, al atenuarse la turbiedad ocasionada por arcillas en suspensión, con el incremento de la zona trofógena.

Respecto a los flujos de energía la materia orgánica proporcionada ahora por los restos agrícolas y los excrementos de los animales que utilizan al cuerpo de agua como abrevadero, así como la derivada de la insolación puede ser optimizada a través de un programa regulado de manejo agrícola y pecuario que parta de una evaluación de las condiciones actuales y de las cargas potenciales que el sistema puede asimilar. En cuanto a los materiales, será necesario regular el aprovechamiento de los útiles para la producción y limitar los que la restringen.

ALTERNATIVAS DE MANEJO ACUICOLA

En estos ambientes templados subhúmedos se propone como una forma de optimizar los rendimientos piscícolas el emplear como estrategia de manejo un policultivo, que considere además de la carpa barrigona (detritófaga), a la carpa cabezona *Aristichthys nobilis* (zooplanctófaga) y la carpa plateada *Hipophthalmichthys molitrix* (fitoplanctófaga). Con este manejo, se da una utilización diferencial de los recursos que provee el sistema, así como un sinergismo entre las especies y al mismo tiempo favorece un mejor crecimiento. Se plantea una proporción 4:2:1 respectivamente y una densidad de 1 org/m² al inicio de la primavera. Esta proporción responde a que los sistemas son ricos en materia orgánica, con una baja producción fitoplanctónica, pero elevada producción heterotrófica. También se tendrá que considerar la talla de siembra de juvenil como la más recomendable, lo que implicaría que en los centros piscícolas se mantuvieran a los alevines hasta que alcanzarán estas tallas, con el empleo de temperaturas más altas y una alimentación a través de la producción de alimento vivo por fertilización inorgánica y el manejo de las poblaciones zooplanctofagas seleccionadas por medio de tratamientos químicos (FAO, 1986).

Es importante que en el proceso de engorde de las poblaciones en cultivo en los microembalsos, se adicione un alimento complementario como maíz molido, otros cereales y/o desperdicios vegetales, que favorezcan el crecimiento, al tener los peces una alimentación más completa.

Algo que es importante destacar es que en el bordo los Remedios se registró una población de charal *Chirostoma* sp., la cuál ya se estableció como una pequeña pesquería dado que estos organismos se reproducen de manera natural anualmente en este ambiente (Galindo y Loera, 1994), lo que implica la potencialidad de esta especie para poblar estos sistemas permanentes de temperaturas bajas, los cuales además se alimentan de bacterias heterotróficas adheridas a conglomerados de arcillas con materia orgánica, de manera similar que la carpa barrigona (Dávalos-Lind, *et al.*, 1992). Asimismo, habría que considerar la inclusión del cultivo del ajolote (*Ambystoma* sp.) en estos cuerpos acuáticos, dado que sus hábitos alimenticios se vinculan con la cadena de detritus, ampliamente desarrollada en estos microembalsos, al presentar altas cargas de materia orgánica y una zona trofólitica amplia. Finalmente, cabe mencionar que estos dos grupos de organismos son ampliamente consumidos en la zona.

Con estas estrategias de manejo se plantea incrementar los rendimientos acuícolas entre un 100 y 200 %, lo que se puede lograr al intensificar el cultivo, contrarrestar el efecto negativo de los meses fríos sobre el crecimiento de las poblaciones ícticas y hacer un manejo integral de la columna de agua a través de policultivos, en donde las especies y sus densidades estén en función de las características propias del ecosistema acuático, a través del análisis de los flujos energéticos de las cadenas de pastoreo y detritus, así como del reciclaje y cargas de materiales.

CONCLUSIONES

- Los microembalses estudiados son sistemas permanentes con dimensiones menores a media hectárea y $10,000 \text{ m}^3$, fluctuantes debido a que presentan una reducción del área del 19% y del volumen del 50% en 8 meses, someros con profundidades medias inferiores a 2 m, pendientes menores al 10% y se encuentran situados sobre roca fácilmente erosionable. Tienden a presentar formas circulares, subcirculares o elípticas, depresiones en forma de cono truncado a cóncavos, aunque con escalonamientos batimétricos.
- Estos ambientes son polimícticos cálidos continuos, con tendencia a la estratificación diurna y discontinuidades térmicas oscilantes en los primeros 80 cm de profundidad.
- Aunque no existen discontinuidades térmicas marcadas si se presentan contrastes en la concentración de oxígeno disuelto con concentraciones de sobresaturación hacia la superficie y del 50% de saturación hacia el fondo. Lo que define una zona trofólitica del 80% del volumen.
- Son sistemas turbios con material abiogénico en suspensión procedente de la cuenca, con visibilidades al disco de Secchi menor de 17 cm.
- Son aguas moderadamente duras, bicarbonatadas, con pHs ligeramente básicos, conductividades bajas, que no presentan procesos de dilución y concentración de materiales típicos de ambientes temporales de zonas cálidas, semiáridas o áridas.
- Por la concentración de nutrientes se ubican como ambientes eutróficos, pero por su producción son mesotróficos o aun oligotróficos, circunstancia atribuida a la limitación en la penetración de la luz por aporte de terrígenos.
- La relación peso-longitud definió comportamientos de tipo isométrico y alométrico negativo para la carpa barrigona, con longitudes teóricas máximas de acuerdo con el modelo de von Bertalanffy en un intervalo entre 25 y 28 cm y pesos máximos entre 495 y 623 g, con factores de condición múltiple menores de 20. La carpa herbívora tuvo un crecimiento isométrico, longitud máxima de 25.59 cm, peso máximo de 526.12 g, y un factor de condición múltiple promedio de 4.99; esta población tuvo un crecimiento muy lento al no existir su alimento preferencial en el embalse.
- El crecimiento de las poblaciones ícticas en general fue lento debido a las bajas temperaturas y producción primaria en los embalses, por lo que los máximos crecimiento se alcanzan en un periodo de dos años.
- La componente morfométrica y edáfica juegan un papel determinante en los rendimientos piscícolas en pequeños embalses en México, definiéndose el siguiente modelo matemático que establece esta relación al considerar el Índice Morfoedáfico, propuesto por Ryder (1965). Así:

$\log \text{Rend} = 0.6014 + 1.1638 \log \text{IME}$, con $n=18$, $R^2=60.69\%$ y β_1 ($p<0.01$), donde Rend= rendimiento piscícolas (kg/ha/año) y el IME= $\bar{z}/\text{Alcalinidad}$.

- Los rendimientos piscícolas con manejo extensivo en estos microembalses fluctuaron de 200 a 1200 Kg/ha/año, los cuales fueron reducidos debido a las bajas temperaturas y productividad primaria en los sistemas, como principales factores que influyeron en el crecimiento de los peces, lo que se corroboró a través de un análisis de regresión múltiple.
- De acuerdo con el análisis multivariado, cinco factores explicaron la mayor proporción de variación de los sistemas, con una variación total acumulada del 82.42%. El primer factor estuvo constituido por variables morfométricas y la producción; en el segundo factor las variables de mayor peso fueron las de la componente edáfica y algunas variables morfométricas relacionadas con el contorno del sistema. En el tercer factor quedaron incluidos nutrimentos, temperatura y el área superficial.

ANEXOS

Anexo 1. Estimación de Índice Morfoedáfico (IME) y rendimientos piscícolas (Kg/ha/año) para microembalses de México, ubicados bajo diferentes condiciones climáticas.

Sistema	Clima	Superf. Has	\bar{z} m	Alcalinidad mg/l	Conduc. μ siems/cm	Rendim. Kg/ha/año	IME \bar{z} : Alcalinidad
a) Chavarría	Aw ₂	1.5686	0.80	76.69	251	304 (1)	95.86
b) Chavarría	Aw ₂	1.5686	0.80	54.55	130	1582 (2)	68.19
b) Chavarría	Aw ₂	1.5686	0.60	119.19	297	3000 (3)	198.65
d) Temascalcingo "A"	C(w ₀)w		0.57	110.10		497.4 (4)	193.16
d) Temascalcingo "B"	C(w ₀)w		0.49	139.50		3253 (4)	286.69
d) Huapango "A"	C(w ₂)w	0.09	0.54	148.75		1110.8 (4)	275.46
d) Huapango "B"	C(w ₂)w	0.106	0.5	97.50		1818.4 (4)	195.0
d) Tiacaque	C(w ₂)w		0.65	87.50		2241 (5)	134.61
e) Sn. Pedro Ecatepec	C(w ₁)(w)	0.2542	1.10	145.71	225	1250 (3)	132.46
e) Ocote	C(w ₁)(w)	0.2522	1.03	78.38	118	500 (1)	76.09
e) Sn. Antonio	C(w ₂)(w)	0.6315	0.915	49.09	90	200 (1)	53.65
e) Rancho Escondido I	C(w ₂)(w)	0.294	1.41	55.02	108	200 (1)	39.02
e) Rancho Escondido II	C(w ₂)(w)	0.3355	1.57	55.85	83	200 (1)	35.37
e) Discordia	C(w ₂)(w)	0.3867	1.77	80.78	108	500 (1)	45.64
e) Remedios	C(w ₂)(w)	0.4253	1.49	81.03	106	500 (1)	54.38
f) Bordo Cercano al embalse la goleta	C(w ₂)w	0.106	0.6	46.26	92.5	840.29	77.7
g) Estanque rústico 1		0.188	1.5	292.4	1272	2379.8 (6)	194.93
g) Estanque rústico 2		0.188	1.5	274.6	1294	2857.9 (6)	183.06
g) Estanque rústico 3		0.188	1.5	263.5	1298	3657.3 (6)	175.66

(1) Monocultivo extensivo, (2) Policultivo extensivo (3) Cultivo mixto, (4) Monocultivo extensivo con alimento complementario (5) Semintensivo e Intensivo (6) Policultivo Semintensivo.

* Calculado de Arredondo-Figueroa, 1990.

+ Calculado por el modelo $\log \text{Rend} = 0.601437 + 1.16376(\log \text{IME})$, $R^2 = 0.6069$

a) Palomino 1984. b) Hernández, 1987, Hernández-Avilés y Peña-Mendoza, 1992. c) Jaramillo y Sánchez, 1991, d) Sánchez, 1984 e) Presente trabajo f) Elías, 1994 g) Arredondo-Figueroa y Lozano-Gracia, 1994.

ANEXO 2. Conductividad promedio de microembalses mexicanos ubicados en condiciones climáticas diferentes.

Sistema	Clima	Conduc. µsiems/cm
1) Michapa	Aw_2	195
2) Chavarría	$Aw(w)$	226
3) Santa Cruz	$Aw(w)$	180
4) Los Lavaderos	$Aw(w)$	500
5) Chacaltzingo	$Aw(w)$	180
6) El Movil	$Aw(w)$	100
7) EL Monigote	$B_{s_0}hw$	350
8) El Colorado	$B_{s_0}hw$	530
9) San Marcos	$B_{s_0}hw$	320
10) El Mezquite	$B_{s_0}hw$	250
11) Los Ladrillos	$B_{s_0}hw$	310
12) Zapata	$B_{s_0}hw$	320
13) Cantarranas, Hgo.	$B_{s_1}k$	261
14) Cuautepéc, Hgo	$B_{s_1}k$	120
15) Sn. Pedro Ecatepec	$C(w_1)(w)$	225
16) Ocoite	$C(w_1)(w)$	118
17) Sn. Antonio	$C(w_2)(w)$	90
18) Rancho Escondido I	$C(w_2)(w)$	108
19) Rancho Escondido II	$C(w_2)(w)$	83
20) Discordia	$C(w_2)(w)$	108
21) Remedios	$C(w_2)(w)$	106
22) Bordo Cercano al embalse La Goleta.	$C(w_2)w$	92.5

1) Guerra y Peña, 1985, 2)Hernández, 1987, Hernández-Avilés y Peña-Mendoza, 1992. 3-6) Ponce y Robledo, 1982 7-12) Programa de Aprovechamiento Integral de Recursos Naturales, PAIR (Inédito), 13-14) Ceja y Gazano, 1994, 15-21) . Presente trabajo 22) Elías, 1994.

Anexo 3. Condiciones de manejo para diferentes microembalses en México empleados con fines piscícolas.

SISTEMA	TALLA				TIEMPO Meses	DENSIDAD Peces/m ²	MANEJO
	INICIAL		FINAL				
	L (cm)	W (g)	L (cm)	W (g)			
a) Huapango "A"	11.5	19.5	17.1	228.6	7	0.27	Extensivo más 16 kg/mes de tamo de maíz y desechos.
a) Huapango "B"	11.5	19.5	21.3	346.8	7	0.27	Extensivo más 60 kg/mes de tamo de maíz y desechos.
a) Temascalcingo "A"	5.1	6.2	19.2	299.0	8	0.15	Extensivo (40 % de mortalidad).
a) Temascalcingo "A"	5.1	6.2	14.4	169.2	7	1.0	Extensivo más 30 kg/mes de tortilla y tamo de maíz.
a) Tiacaque	14.4	51	22.0	542.5	6	0.19	Fertilización (1500 kg/ha de estiércol) Balanceado Albamex 5% de la biomasa/día.
b) Estanque "1"		45.0		281.0	5.5	1.73	Policultivo, carga inicial de 12 Kg/1000 m ² Superfosfato triple-17 cada 15 días.
b) Estanque "2"		80.0		551.0	5.5	1.54	Policultivo, carga inicial de vacaza seca 1.5 Kg/m ² , Fertilización periódica cada tercer día, 30 l de vacaza digerida ó 30 Kg de vacaza o gallinaza seca
b) Estanque "3"		123		581.0	5.5	1.70	Policultivo, carga inicial de vacaza seca 1.5 Kg/m ² , Fertilización periódica cada tercer día, 30 l de vacaza digerida ó 30 Kg de vacaza o gallinaza seca
c) Estanque "1"	10.42	8.0	15.86	71.61		4.04	Fertilización con estiércol de pollo y cabra 10 Kg/100 m ² /semana
c) Estanque "2"	7.78	5.97	15.27	71.29		4.59	
c) Estanque "3"	7.78	5.97	11.97	24.58		5.18	

a) Sánchez, 1984 b) Quiroz, 1990 c) Chávez, 1981

Anexo 4. Ubicación y principales características climáticas de microembalses en México empleados con fines piscícolas.

Sistema	Municipio	Clima	Altitud (msnm)	Temp. (°C)	Preci p. (mm)
a) Sta. Cruz	Jonacatepec, Mor.	Aw(w)(i')g	1,200	ma=22	268.8
a) Los Lavaderos	Tenango, Mor.	El más seco de los cálidos-húmedos	1,200	M=26.9 m=21.1	193.2
a) Chalcatzingo	Jantetelco, Mor.	con lluvias en verano	1,300	M=25 m=19.5	193.2
a) El movil	Tetecala, Mor.	Tmed =+ 30°C pp a =- 200 mm	1,130	M=26.9 m=21.1	
b) Huapango	Sn. Andrés Timilpa Edo. México	C(W ₂)(w)b(i)g Templado subhúmedo Tmed =14°C pp a =800 mm	2,650	M=15.9 m=10.5	
b) Temascalcingo	Temascalcingo Edo. México	C(W ₀)(w)b(i) Templado subhúmedo Tmed =14°C pp a =800 mm	2,700	M=14.5 m=10.7	
b) Tiacaque	Jocotitla Edo. Méx.	C(W ₂)(w)(b')(i) Tmed =14°C pp a =800 mm	2,530	M=14.8 m=8.5	
c) Estanques en la unidad piscícola "las Fuentes" Rústicos.	Jiutepec Mor.	A(0)W'g El más seco de los calidos-subhúmedos Tmed =°C pp a =- 120 mm	1,400	M=29.8 m=13.2	

a) Ponce y Robledo, 1982

b) Sánchez, 1984

c) Quiroz, 1990

LITERATURA CITADA

- Altieri, M. A. y J. Trujillo. 1987. The agroecology of corn production in Tlaxcala, Mexico. *Human Ecology*. 15:189-220.
- Alzieu, C. 1991. El agua medio de cultivo. 1-27. En: Barnabé, E. (ed.) *Acuicultura (I)*. Omega, Barcelona.
- Athie, L. M. 1987. Calidad y cantidad de agua en México. *Universo veintiuno*, México, 152 pp.
- APHA, AWWA y WPCF. 1989. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association. Washington. 874 pp.
- Arredondo-Figueroa, J. L. 1983. Especies acuáticas de importancia nutricional introducidas en México. *Biótica*. 8(2): 175-199.
- Arredondo-Figueroa, J. L. 1986. Piscicultura. Breve descripción de los criterios y técnicas para el manejo de calidad de agua en estanques de piscicultura intensiva. Secretaría de Pesca. México. 182 pp.
- Arredondo-Figueroa, J. L. 1990. La aplicación de análisis de cúmulos y de componentes principales en el estudio limnológico de estanques temporales. 229-248. En: De la Lanza, G. y J.L. Arredondo-Figueroa (Comps.). *La acuicultura en México, de los conceptos a la producción*, Univ. Nal. Autón. México.
- Arredondo-Figueroa, J. L. y A. Flores-Nava. 1992. Características limnológicas de pequeños embalses epicontinentales, su uso y manejo en la acuicultura. *Hidrobiológica*. 3/4:1-10
- Arredondo-Figueroa, J. L. y J. L. García-Calderón, 1982. La conducta física, química y rendimiento pesquero de un estanque temporal utilizado para la piscicultura extensiva en el Estado de Morelos, México. *Revista Latinoamericana de Acuicultura* 12: 1-28.
- Arredondo-Figueroa J: L: y S. D. Lozano-Gracia, 1994. Water quality and yields in policulture of nonnative cyprinids in Mexico. *Hidrobiológica*. 4 (1-2): 1-8.
- Arredondo-Figueroa, J. L., A. Hernández y R. M. Ochoa. 1982. Aplicaciones de técnicas de análisis multivariado en el estudio de los embalses temporales. IMAS. UNAM. Serie naranja. México. 60 pp.
- Auer, M. T., M. S. Kieser y R. P. Canale. 1986. Identification of critical nutrient levels through field verification of models for phosphorus and phytoplankton growth. *Can. J. Fish. aquat. Sci* 43:379-388.
- Bhattacharya, C. G. 1967. A simple method of resolution of a distribution into Gaussian components. *Biometrics*. 23:115-135.

- Barnabé, G. 1991. Acuicultura (Tomo I). Omega S. A.. Barcelona, España. 478 pp.
- Barnes, S. K. y K. H. Mann. Fundamentals of aquatic ecology. Blackwell Scientifics Publications. London. 270 p.
- Beveridge, M. C. M. 1984. Cage and pen fish farming. Carrying capacity models and environmental impact. *FAO Fish. Tech. Pap.* 255. 131 pp.
- Beveridge, M. C. M. 1987. Cage aquaculture. Fishing News Books. Blackwell Scientific Publication Ltd. Oxford. 351 pp.
- Boyd, C. E. 1979. Water quality in warmwater fish ponds. Auburn University. Auburn. 354 pp.
- Boyd, C. E. 1990. Water quality in ponds for aquaculture. Auburn University. Alabama. 482 pp.
- Brilinsky, H. y K. H. Mann. 1973. An analysis of factor governing productivity in lakes and reservoirs. *Limnol. Oceanogr.* 18(1): 1-14
- Cabrera-Jiménez, J.A. y J. L. García-Calderón, 1984. El estado de la acuicultura en México al termino de 1982. 42-65. En: Pedini Fernando-Criado, M., (Comp.). Informes nacionales sobre el desarrollo de la acuicultura de América Latina. *FAO Inf. Pesca.* (244) Supl. 1:138 p. (42-65 p.)
- Carlberg, S. R. 1972. New Baltic Manual. With method for sampling and analyses of physical, chemical and biological parameters. Cooperative Research report. Series A. No. 29. International Council for the Exploration of the sea. Copenhagen. 145 pp.
- Castrejón, L. 1983. Estudio de las características hidrobiológicas del bordo semitemporal "Cerro de la Era" en el Estado de Morelos. Investigación acuícola. U.A.E.M. pag:32-43.
- Ceja, M. S. y M. M. J. Gazano. 1994. Estudio de las características hidrobiológicas con fines de producción piscícola en los embalses temporales: Cantarranas y Cuauhtepc del Municipio de Acatlán en el Estado de Hidalgo. Tesis de Licenciatura. F. E. S Zaragoza. México. 106 pp.
- Cervantes, S. A. 1986. Manual de técnicas básicas para el análisis de ambientes acuáticos del séptimo semestre de la Carrera de Biología. Escuela Nacional de Estudios Profesionales, Zaragoza. UNAM. México. 106 pp.
- Chang, W. Y. y H. Ouyang. 1988. Dynamics of dissolved oxygen and vertical circulation in fish ponds. *Aquaculture.* 74: 263-276.
- Cole, G. A. 1988. Manual de Limnología. Hemisferio Sur S.A. Montevideo. 389 pp.

Contreras, F. E. 1984. Manual de técnicas Hidrobiológicas. U.A.M.-Iztapalapa, México. 25 pp.

Cortés, A. R. 1976. Estimación del rendimiento potencial piscícola del estado de Aguascalientes (México). Según índice morfoedáfico y consideraciones para el fomento de la piscicultura. FIDEFA. México. 12 pp.

Dávalos-Lind, L. Sada R. R., Guerra A., Velarde G., Orozco L. J., Chrzanowski Th. Y Lin O. T. 1992. La producción bacteriana y su importancia en la cadena trófica en el Lago de Chapala. Ingeniería Hidráulica en México: 30-36.

De Bernardi, R. 1981. Biotic interactions in freshwater and effects on community structure. *Bull. Zool.* 48:353-371.

De la Lanza E., G. 1998. Aspectos fisicoquímicos que determinan la calidad del agua. 1-24. En: Martínez C., L. E. (Comp.). Ecología de los sistemas acuícolas. AGT. México.

Delince, F. G. 1992. The ecology of the fish pond ecosystem. With special reference to Africa. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 230 pp.

Diana J. S., C. K. Lin y P. J. Schneeberger. 1991. Relationships among nutrient inputs, water nutrient concentrations, primary production and yield of *Oreochromis niloticus* in ponds. *Aquaculture*. 92:323-341.

Elías F. G. 1994. Cultivo de la Carpa Común (*Cyprinus carpio*) en un bordo del Estado de México considerando la composición de algunos aspectos sobre la variación temporal de los grupos zooplanctónicos y del macrobentos, durante dos periodos de cultivo. Tesis de Licenciatura. E. N. E. P. Iztacala. Estado de México. 85 pp.

Everhart, W. H. y W. D. Youngs, 1989. Principles of fishery science. Comstock Publishing Associates, New York. 349 pp.

FAO. 1986. La carpa común. Producción masiva de alevines y jaramugos. No. 2 Roma. 85 pp.

FAO. 1997. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. FAO. Roma. 125 pp.

Ford, E. 1933. An account of the herring investigations conducted at Plymouth during the years from 1924-1933. *J. Marine Biol. Assm.* 19: 305-384.

Galindo de S., M. C. y P. J. Loera P. 1994. Evaluación de un policultivo piscícola en dos bordos permanentes del Estado de Tlaxcala. Tesis de Licenciatura. F. E. S. Zaragoza, U. N. A. M. México. 116 pp.

García, E., 1988. Modificación al sistema de clasificación de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4a edición Offset Laros, S. A. México. 252 pp.

- García E. 1996. Diversidad climático vegetal en México. 15-25. En: Lorrente, J., García, A. y González, E. Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos en México, hacia una síntesis de su conocimiento. Instituto de Biología, CONABIO, Facultad de Ciencias UNAM. México.
- García-Calderón, J. L. y J. A. Cabrera-Jiménez. 1990. La acuicultura, definición y límites. 3-14. En: La Acuicultura en México: de los conceptos a la producción. Instituto de Biología. UNAM. México. 316 pp.
- Grande, L. R. 1974. Métodos para el análisis físicos y químicos en suelos agrícolas. Instituto de Investigaciones de Zonas Desérticas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. S.L.P: 74 pp.
- Guerra H., E. y B. Peña M. 1985. Estudio del crecimiento de *Oreochromis hornorum* (Trewavas, 1980) en relación a las condiciones limnológicas del embalse permanente de Michapa, Edo. de Morelos. Tesis de Licenciatura. E.N.E.P. Zaragoza, U.N.A.M. México. 70 pp.
- Harper, D. 1992. Eutrophication of Freshwaters. Chapman y Hall. London. 327 pp.
- Hakanson, L. 1977. On lake form, lake volume and lake hypsographic survey. Geografiska Annaler. 59A 1 / 2: 1-29.
- Hakanson, L. 1981. A manual of lake morphometry. Springer-Verlag. Berlin. 77 pp.
- Hakanson, L. y M. Jansson 1983. Principles of lake sedimentology. Springer-Verlag. Berlin. 316 pp.
- Harrison, W. G. 1978. Experimental measurements of nitrogen remineralization in coastal waters. *Limnol. Oceanogr.* 23:684-694.
- Henderson, H. F. 1974. Programa de evaluación de recursos para apoyar el desarrollo pesquero de aguas continentales de México. Progr. de Invest. y Fom. Pesca. México/PNUD/FAO. Contribución al estudio de las pesquerías de México. CEPM:8. 62 pp.
- Henderson, H., R. A. Ryder y A. W. Kudhongania. 1973. Assessing fishery potentials of lakes and reservoirs. *J. Fish. Res. Board. Can.* 34:1849-1860.
- Henderson, H. F. y R. L. Welcome. 1974. The relationship of yield to morfoedaphic index and numbers of fishermen in Africa inland fisheries. *CIFA Occas. Pap.* 1:1-19.
- Hernández-Avilés, J. S. 1987. Evaluación de la tasa de crecimiento y robustez de la mojarra: *Oreochromis undepishornorum*, carpa plateada: *Hipophthalmichthys molitrix valeccinnenses*, y carpa cabezona: *Anstichtys nobilis*, en un sistema de policultivo extensivo en el estanque de temporal Chavarría en el Estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. E.N.E.P. Zaragoza. UNAM. México. 94 pp.

Hernández-Avilés, J. S. y J. L. García-Calderón, 1990. La acuicultura, hacia el manejo integrado de los recursos. En: De la Lanza, G. y J.L. Arredondo-Figueroa (Comps.). La acuicultura en México, de los conceptos a la producción, Univ. Nal. Autón. México.

Hernández-Avilés, J. S. y B. Peña-Mendoza. 1992. Rendimientos piscícolas en dos bordos semi-permanentes en el estado de Morelos, México. *Hidrobiológica*. 3/4:11-23.

Hernández-Avilés, J.S., Galindo de Santiago, M. C. y Loera P. J.1995. 291-308. En: De la Lanza E., G y García-Calderón, J. L. Lagos y Presas de México. Centro de Ecología y Desarrollo. México.

INEGI. 1981a. Cartas topográficas, edafológicas, de clima y uso de suelo (E14-B23 y E14-B33). Escala 1:50,000. Secretaria de Programación y Presupuesto. México.

INEGI. 1981b. Síntesis geográfica de Tlaxcala. S.P.P. Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática. México. D. F. 91 pp.

INEGI. 1987. Anexo Cartográfico del Estado de Tlaxcala. Secretaria de Programación y Presupuesto. 2a. Impresión. México.

Imboden, D.M. y A. Lerman 1978. Chemical models of lakes. 241-356. En: Lerman A. (Comp). Lakes, chemistry, geology, physics. Springer-Verlag. New York.

Jaramillo S., G. y V. A. Sánchez. 1991. Evaluación del crecimiento de la carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofasciatus*) y la tilapia (*Oreochromis urolepis hornorum*) bajo condiciones de policultivo en el bordo de temporal "Chavarria", en el Mpio. de Coatlan, Edo. de Morelos. De junio de 1989 a enero de 1990. Tesis de Licenciatura. E. N. E. P. Zaragoza. México, D. F. 87 pp.

Johnson, R. A. y D. W. Wichern, 1992. Applied multivariate statistical analysis. Prentice Hall. New Jersey. 642 pp.

Kilham, P. y S. S. Kilham, 1990. Endless summer: internal loading processes dominate nutrient cycling in tropical lakes. *Freshwat. Biol.* 23:379-389.

Kirk, J. T. O. 1986. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University Press. Cambridge. 401 pp.

Lewis, W. M. Jr. 1983. A revised classification of lakes based on mixing. *Can. Jour. Fish. Aquat. Scien.* 40:1779-1787.

Liang, Y., J. M. Melack y J. Wang, 1981. Primary production and yields in Chinese ponds and lakes. *Trans. Am. Fish. Soc.* 110:346-350.

Likens, G. E. y F. H. Bormann, 1974. Linkages, between terrestrial an aquatic ecosystems. *Bioscience* 24 (8):447-456.

- Lind, O. T. y Dávalos-Lind, L., 1991. Association of turbidity and organic carbon with bacterial abundance and cell in a large, turbid, tropical lake. *Limnol. Oceanogr.* 36(6): 1200-1208.
- Lind, O. T.; L. Dávalos-Lind; T.H. Chrzanowski y J. G. Limón. 1994. Inorganic turbidity and the failure of fishery models. *Int. Revue. Ges Hydrobiol.* 79:7-16.
- Lowell, E. K. y P. M. Tobin. 1986. Hypsographs: Basic Tools for Lake Management and Monitoring. *Environ. Man.* 10(5):623-627.
- Margalef, R. 1976. Biología de los embalses. *Investigación y Ciencia.* 1:50:62.
- Margalef, R. 1983. *Limnología.* Omega S. A. Barcelona. 1001 pp.
- Márquez, C., M. J. 1991. Probabilidad y estadística para ciencias químico-biológicas. McGraw-Hill. México. 657 pp.
- Michaels, V. K. 1988. Carp farming. Fishing News Books Ltd. Farnham. 207 pp.
- Mc Carthy, J. J. 1980. Nitrogen. 191-233. In: I. Morris (Comp.), *The physiological ecology of phytoplankton.* Blackwell Scientific Publication, Oxford. *Studies in Ecology.*
- Mc Connell, W., S. Lewis. y J. E. Olson. 1977 Gross photosynthesis as an estimator of potential fish production. *Trans. Am. Fish. Soc.* 106: 417-423.
- Meade, J. W. 1985. Allowable ammonia for fishculture. *Prog. Fish-Cult.* 47:135-145.
- Medina, G. M. 1980. El factor de condición múltiple (KM) y su importancia en el manejo de la carpa israel (*Cyprinus carpio specularis*) hembras en el estado de madurez V (Nikolsky, 1983). *Manuales Técnicos de Acuicultura. Departamento de Pesca.* México 1(1):34.
- Melak, J. M. 1976. Primary productivity and fish yields in tropical lakes. *Trans. Am. Fish. Soc.* 5:575-580.
- Milstein, A., M. Feldite, N. Mozes. y Y. Avnimelech. 1989. Limnology of reservoirs used for fish farming and crop irrigation, with integrated free and cage fish culture. *Israel. J. Aquacult.* 41:12-22.
- Moss, B. 1988. *Ecology of freshwaters: man and medium.* Blackwell Scientific. Oxford. 417 pp.
- Navarrete S., N. A. y R. Sánchez. 1989. El sistema de policultivo de peces en el medio rural mexicano, *Rev. Lat. Acuí.* 39:45-53. Lima, Perú.

- Moav, R.; G. Wohlfarth, G.L., Schroeder; G. Hulata, y H. Barash 1977. Intensive policulture of fish in freshwater ponds. 1. Substitution of expensive feeds by liquid cow manure. *Aquaculture*. 10:25-43.
- Odum, E. P. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science*. 164:262-270.
- Odum, E. P. 1985. Trends expected in stressed ecosystems. *BioScience*. 35(7):419-422.
- Odum, E. P., J. T. Finn y E. H. Franz. 1979. Perturbation theory and the subsidy-stress gradient. *BioScience*. 29 (6):349-352.
- Oglesby, R. T. 1977. Relationships of fish yield to lake phytoplankton standing crop, production and morphoedaphic factors. *Journal Fish. Res. Board Can.* 34:2271-2279.
- Padua, J. 1978. Paquete estadístico para las ciencias sociales (SPSS): Oferta y condiciones para su utilización e interpretación de resultados. Cuadernos del CES. 12: 104 pp.
- Palomino, S. G. E. 1984. Evaluación de algunos parámetros bióticos y abióticos, relacionados con el crecimiento de la *Tilapia spp.* en el bordo de temporal Chavarria, Municipio de Coatlán del Río, Edo. de México. Tesis de Licenciatura. ENEP Zaragoza. UNAM. México. D. F. 66 pp.
- Pauly, D. 1983. Fish populations dynamics in tropical waters. A manual for use with programmable calculators. International center for living aquatic resources management ICLARM. Studies and reviews. Manila: 163-240.
- Pereiro, A. J. 1982. Modelos al uso en dinámica de poblaciones marinas sometidas a explotación, Inf. Tec. Ins. Esp. Oceanograf. Núm. 1. Madrid. 256 pp.
- Ponce P., T. J. 1983. Estudio del comportamiento físico-químico y de productividad primaria en un embalse temporal, utilizado para la piscicultura extensiva en el Estado de Morelos, México. Tesis de Licenciatura. E. N. E. P. Iztacala. Tlalnepantla. 30 pp.
- Ponce, Z. J. J. y F. P. Robledo. 1982. Variación estacional y abundancia fitoplanctónica de los bordos: Santa Cruz, Los Lavaderos, Chacaltzingo, El Móvil en el Estado de Morelos, México. Tesis de Licenciatura. E. N. E. P. Iztacala. Tlalnepantla. 100 pp.
- Porras D., D. 1981. Estudio preliminar para la evaluación de charcas temporales. *Rev. Lat. Acuí.* 8: 16-22.
- Porras D., D. 1983. Estudio del estanque semitemporal "Simón Cárdenas", serie de embalses productivos para el desarrollo de la acuicultura en el Estado de Morelos, México. 3-15. Investigación Acuicola. U.A.E.M.
- Porras D., D. 1984. Morfometría de embalses. Cuenca Oriental-Morelos. U.A.E.M. 3-15.

Programa de Aprovechamiento Integral de Recursos Naturales (PAIR), Inédito. Cuadro de parámetros físico-químicos de presones en el Edo. de Durango.

Quiroz C., H. 1990. Fertilización intensiva en estanques rústicos de producción ejidal con policultivos piscícolas, como estrategia de integración de procesos agropecuarios en la acuicultura, en el Estado de Morelos. México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, U.N.A.M. México, D. F. 85 pp.

Rana, K. 1997. Recent trends in global aquaculture production: 1984-1995. FAO. *Aquaculture Newsletter*. 16:14-19.

Rast, W y M. Holland, 1988. Eutrophication of lakes and reservoirs: A framework for making management decisions. *Ambio*. 17(1):1-12.

Rawson, D. S. 1939. Some physical and chemical factors in the metabolism of lakes. 9-26. En: Moulton, E. R. (Comp.). *Problems of lake biology*. 10 A.A:A:S: Washington.

Ryder, R. A. 1965. A method for estimating the potential fish production of north temperate lakes. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 94:214-218.

Ryder, R.A. 1982. The morphoedaphic Index. Use, abuse and fundamental concepts. *Transactions of American Fisheries Society*. 111:154-164.

Robinson, M. A. 1982. Prospects for world fisheries to year 2,000. FAO. *Fish Circ.*, 722 (Rev 1). 16 pp.

Rosas M., M. 1976. Explotación piscícola de charcos temporales y permanentes en el estado de Michoacán. INP/SI. 38 pp.

Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa. 432p.

Salgado-Ugarte, I. H. 1992. El análisis exploratorio de datos biológicos, fundamentos y aplicaciones, E.N.E.P. Zaragoza, U.N.A.M., Ediciones Marc. México. 243 pp.

Somorjai, S. A. 1978. *Surface Science*. Science. 201:489-497.

Sánchez, M. R. 1984. Análisis de los aspectos biológicos y económico en dos casos de piscicultura rural, con Carpa (*Cyprinus carpio specularis*). Tesis de Licenciatura. E.N.E.P. Iztacala. Tlalnepantla. 122 pp.

Sánchez M., R. y N. A. Navarrete. 1987. Rendimiento de carpa espejo (*Cyprinus carpio specularis*) en bordos del Estado de México. *Rev. Lat. Acui*. Lima. 33-35.

SEPESCA, 1982. Programa Nacional de Acuicultura 1979-1982. México.

- SEPESCA, 1990. Inventario nacional de unidades de producción Acuícola. Secretaría de Pesca. México. 66 pp.
- SEPESCA. 1991. Situación actual y perspectivas de las pesquerías derivadas de la acuicultura. Secretaría de Pesca. México. 77 pp.
- Schlinder, T. W. 1978. Factor regulating phytoplankton production and standing crop in the world's freshwaters. *Limnol. Oceanogr.* 23:478-486.
- Sokal, R. R. y F. J. Rohlf. 1979. Biometría. Principio y métodos estadísticos en la investigación biológica. H. Blume. Barcelona. 832 pp.
- Stumm, W. y J. J. Morgan. 1981. Aquatic chemistry. An introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters. 2nd. Ed., John Wiley & Sons, New. York. 780 pp.
- Talling, J. F. y I. B. Talling. 1965. The chemical composition of African lake waters. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 50:421-463.
- Thornton, J. A. 1987. Aspects of eutrophication management in tropical/sub-tropical regions. *J. Limnol. Soc. sth. Afr.* 13(1), 25-43.
- Thornton, K. W., B. L. Kimmel y F. E. Payne. 1990. Reservoir limnology: Ecological perspectives. Wiley & Sons, Inc. New York. 246 pp.
- Thurston, R. V., Russo, R. C., Felnerof, Jr., C. M., Edsall, T. A. y Barker Jr., Y. M. (eds.). 1979. A review of the EPA Red Book: quality criteria for water. Water Quality Section. American Fisheries Society Bethesda, Maryland. 313 pp.
- Tinoco, J. M. R. y V. L. Atanacio. 1988. Inventario Nacional de cuerpos de agua. Secretaría de Pesca. México, 47 pp.
- Torres, R. B. 1988. Evaluación del crecimiento y robustez de la tilapia *Oreochromis urolepis hornorum* (Trewavas, 1980) y la carpa barrigona *Cyprinus carpio rubrofasciatus* (Richardson) en condiciones de policultivo extensivo, y su relación con los parámetros limnológicos del embalse de temporal "Chavarría" en el Edo. de Morelos. Tesis de Licenciatura. E.N.E.P. Zaragoza, U.N.A.M. México, D. F. 88 pp.
- Von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth. *Hum. Biol.* 10:181-243.
- Walford, L. A. 1946. A new graphic method of describing the growth of animals. *The Biological Bulletin.* 90(2):141-146.
- Weilenmann, U., C. R. O'Melia y W. Stumm, 1989. Particle transport in lakes: models and measurements. *Limnol. Oceanogr.* 34:1-18.
- Wetzel, R. G. 1981. Limnología. Omega S. A., S. A. Barcelona. 679 pp.
- Wetzel, R. G. y E. G. Likens. 1991. Limnological analyses. Springer-Verlag. New York. 391 pp.

Willemssen, E. W. 1973. Understanding statistical reasoning W. N. Freeman and Company. San Francisco. 222 pp.

Yusoff, F. M y C. D. McNabb, 1989. Effects of nutrient availability on primary productivity and fish production in fertilized tropical ponds . *Aquaculture*. 78: 303-319.

Zhu, Y., Y. Yang, J. Wan, J.D.Hua y J. A. Mathias, 1990. The effect of manure application rate and frequency upon fish yield integrated. Fish Farm Ponds. *Aquaculture* 76:37-42.

Zweig, R. D. Freshwater Aquaculture in China: Ecosystem: Management for Survival. 14(2):66-74.

RELACION DE FIGURAS Y TABLAS

PAGINAS

Fig. 1. Ubicación de los bordos San Antonio, Rancho Escondido I y II, Discordia y Remedios, en el Municipio de Xaltocan, Estado de Tlaxcala.	9
Fig. 2. Ubicación de los bordos Ocote y San Pedro Ecatepec, en el Municipio de Atlangatepec, Edo. de Tlaxcala.	10
Tabla 1. Características de las zonas donde se ubican los microembalses estudiados en el Estado de Tlaxcala.	11
Fig. 3a. Terminología y límites de clase para la clasificación de las formas de cuerpos acuáticos lacustres. b. Cinco curvas hipsográficas relativas hipotéticas que ilustran la clasificación de los lagos de acuerdo con su forma.	15-16
Tabla 2. Resumen morfométrico de siete microembalses del Estado de Tlaxcala.	21
Fig. 4. Mapas batimétricos de los microembalses: San Antonio (a), Rancho Escondido I (b) y Rancho Escondido II (c), Municipio de Xaltocan, Tlaxcala.	23
Fig. 5. Mapas batimétricos de los microembalses: Remedios (a) y Discordia (b) en el Municipio de Xaltocán, Tlaxcala.	24
Fig. 6. Mapas batimétricos de los microembalses: Ocote (a) y San Pedro Ecatepec (b), Municipio de Atlangatepec, Tlaxcala.	25
Fig. 7. Hipsográficas de los bordos San Antonio (a), Rancho Escondido I (b) y Rancho Escondido II (b).	26
Fig. 8. Hipsográficas de los bordos Remedios (a) y Discordia (b).	27
Fig. 9. Hipsográficas de los bordos San Pedro Ecatepec (a) y Ocote (b).	28
Fig. 10. Hipsográficas relativas para siete microembalses en el Estado de Tlaxcala.	30
Tabla 3. Clasificación de los perfiles batimétricos de siete microembalses en el Estado de Tlaxcala de acuerdo a la curva hipsográfica relativa.	31
Tabla 4. Déficit de área y volumen para microembalses bajo diferentes condiciones climáticas.	31
Fig. 11. Perfil ombrotérmico para la zona de Apizaco, Tlaxcala de 1990 a 1992.	32
Fig. 12. Perfil ombrotérmico para la zona de Atlangatepec, Tlaxcala de 1990 a 1992.	33
Fig. 13. Diagrama de cajas múltiples para la temperatura por nivel en bordos del Estado de Tlaxcala.	33
Fig. 14. Diagrama espacio-temporal para la temperatura en el bordo los Remedios durante un ciclo durante un ciclo anual.	34

Fig. 15. Diagramas de cajas múltiples para la concentración de oxígeno disuelto en bordos del Estado de Tlaxcala.	35
Tabla 5. Clases texturales de las microcuencas de captación de los microembalses del Estado de Tlaxcala.	36
Fig. 16. Diagrama de cajas múltiples para la visibilidad al disco de Secchi en bordos del Estado de Tlaxcala.	36
Fig. 17. Diagrama de cajas múltiples para el pH de bordos del Estado de Tlaxcala.	37
Fig. 18. Diagrama de cajas múltiples para la alcalinidad en bordos del Estado de Tlaxcala.	38
Fig. 19. Diagrama de cajas múltiples para la dureza total en bordos del Estado de Tlaxcala.	38
Fig. 20. Diagrama de cajas múltiples para la dureza de calcio en bordos del Estado de Tlaxcala.	39
Fig. 21 Diagrama de cajas múltiples para la conductividad en bordos del Estado de Tlaxcala.	39
Fig. 22 Diagrama de cajas múltiples para la concentración de nitratos en bordos del Estado de Tlaxcala.	40
Fig. 23. Diagrama de cajas múltiples para la concentración de nitritos en bordos del Estado de Tlaxcala.	40
Fig. 24. Diagrama de cajas múltiples para la concentración de amonio en bordos del Estado de Tlaxcala.	41
Fig. 25 Diagrama de cajas múltiples para la concentración de ortofosfatos en bordos del Estado de Tlaxcala.	41
Fig. 26. Diagrama de cajas múltiples para la concentración de fósforo total en bordos del Estado de Tlaxcala.	42
Fig. 27. Diagrama de cajas múltiples para la producción primaria en bordos del Estado de Tlaxcala.	43
Tabla 6. Clases de edad obtenidas para la carpa barrigona (<i>Cyprinus carpio rubrofuscus</i>) y la carpa herbívora (<i>Ctenopharyngodon idella</i>), en los microembalses del Estado de Tlaxcala.	44
Fig. 28. Distribución suavizada para la longitud patrón de la carpa barrigona (<i>Cyprinus carpio rubrofuscus</i>) en el bordo San Pedro Ecatepec, Tlaxcala.	45
Fig. 29. Método de Bhattacharya para las longitudes patrón de la carpa barrigona (<i>Cyprinus carpio rubrofuscus</i>) en el bordo San Pedro Ecatepec, Tlaxcala.	45
Fig. 30. Distribución suavizada para el peso de la carpa barrigona (<i>Cyprinus carpio rubrofuscus</i>) en el bordo San Pedro Ecatepec, Tlaxcala	46

- Fig. 31. Método de Bhattacharya para los pesos de la carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofuscus*) en el bordo San Pedro Ecatepec, Tlaxcala. 46
- Fig. 32. Distribución suavizada para la longitud patrón de la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*) en el bordo San Pedro Ecatepec, Tlaxcala. 47
- Fig. 33. Método de Bhattacharya para la longitud patrón de la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*) en el bordo San Pedro Ecatepec, Tlaxcala. 47
- Fig. 34. Distribución suavizada para la longitud patrón de la carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofuscus*) en el bordo la Discordia, Tlaxcala. 48
- Fig. 35. Método de Bhattacharya para la longitud patrón de la carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofuscus*) en el bordo la Discordia, Tlaxcala. 48
- Fig. 36. Distribución suavizada para la longitud patrón de la carpa barrigona en el bordo los Remedios, Tlaxcala. 49
- Fig. 37. . Método de Bhattacharya para la longitud patrón de la carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofuscus*) en el bordo los Remedios, Tlaxcala. 49
- Fig. 38. Curvas de crecimiento para la longitud (a) y el peso (b) para la carpa barrigona según el modelo de von Bertalanffy, en el bordo San Pedro Ecatepec, Tlaxcala. 50
- Fig. 39. Curvas de crecimiento para la longitud (a) y el peso (b) para la carpa barrigona según el modelo de von Bertalanffy, en el bordo la Discordia, Tlaxcala. 51
- Fig. 40. Curvas de crecimiento para la longitud (a) y el peso (b) para la carpa barrigona según el modelo de von Bertalanffy, en el bordo los Remedios, Tlaxcala. 52
- Fig. 41. Curvas de crecimiento para la longitud (a) y el peso (b) para la carpa herbívora según el modelo de von Bertalanffy, en el bordo San Pedro Ecatepec, Tlaxcala. 53
- Fig. 42. Análisis de cajas múltiples para el crecimiento de la carpa barrigona en los bordos de estudio del Estado de Tlaxcala 55
- Tabla 7. Análisis de factor con rotación varimax normalizada, para los siete microembalses del Estado de Tlaxcala. 57
- Fig. 43. Representación geométrica de los coeficientes asociados a las variables para cada par de factores del análisis multivariado. 57
- Tabla 8. Regresión Múltiple entre el crecimiento, la temperatura y productividad primaria para el bordo los Remedios (a) y la Discordia (b). 58
- Tabla 9. Rendimientos piscícolas reales y calculados para los microembalses de Tlaxcala, de acuerdo con el siguiente modelo $\log_{10} FY_n = 0.047 PG_v + 2.44$; $N=18$, $r^2=0.76$; $P<0.001$ donde FY_n = rendimientos piscícolas netos y PG_v = Fotosíntesis bruta expresada en $mg O_2/l/día$, propuesta por Liang *et al* (1981). 68

Tabla 10. Comparación entre los valores de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy para la carpa barrigona *Cyprinus carpio rubrofusca* (C. c. r.) y espejo *Cyprinus carpio specularis* (C. c. s.) en diferentes microembalses del país. 69

Fig. 44. Comparación de los rendimientos acuícolas en bordos con los obtenidos en diferentes sistemas de producción afines en México. 70

Fig. 45. Esquema conceptual final de las interrelaciones de la componente climática, edáfica, morfométrica y su influencia con la biótica. 74

Fig. 46. Modelo de la variación volumétrica porcentual para diferentes condiciones climáticas en sistemas fluctuantes o temporales. 76

Fig. 47. Condiciones termoplumiométricas de las variaciones de volumen para diferentes condiciones climáticas de México. 77

Fig. 48. a) Registros termoplumiométricos en una zona con clima semiárido en Aguascalientes (Cortés, 1976). b) Templada sub-húmeda en Tlaxcala y su relación con la introducción de crías y captura en un ciclo anual. 79

Fig. 49. Relación entre diferentes condiciones climáticas y la conductividad en ecosistemas acuáticos continentales. 81

Fig. 50. a) Regresión lineal de los rendimientos piscícolas como una función del índice morfoedáfico IME (alcalinidad/ \bar{z}) para 21 microembalses (bordos o estanques rústicos), b) Prueba de homocedasticidad, c) Prueba de normalidad. 82-83

Fig. 51. Esquema conceptual final de las interrelaciones de la componente climática, edáfica, morfométrica y su influencia con la biótica. 85