

4



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

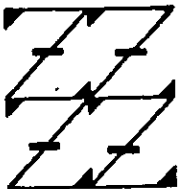
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

EVALUACION DEL CULTIVO DE MOJARRA (Oreochromis niloticus) EN JAULAS FLOTANTES EN LA LAGUNA DE METZTITLAN, EDO. DE HIDALGO.

297231

T E S I S
PARA OBTENER EL TITULO DE:
B I O L O G O
P R E S E N T A N :
BADILLO HUERTA BENIGNO
NAVARRO CASTRO JOSE GUADALUPE

UNAM FES ZARAGOZA



LO HUMANO EJE DE NUESTRA REFLEXION

DIRECTOR DE TESIS: M. en C. JUSTO SALVADOR HERNANDEZ AVILES

MEXICO, D.F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

"Si no estoy equivocado es necesario empezar por diferenciar y definir dos cosas: lo que siempre existe sin jamás haber nacido y lo que siempre está naciendo sin jamás llegar a existir."

Timeo o de la naturaleza.

DEDICATORIA

Como un acto justo de reconocimiento dedico este trabajo a mis padres que no solo me han dado la vida, si no su confianza y esfuerzo para mi formación académica y humana.

José Guadalupe Navarro Castro

Agradecimientos.

Agradecemos a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza y a todos sus profesores por la formación recibida, ya que gracias a esta hemos crecido y podemos seguir creciendo.

Un especial agradecimiento al M. En C. Justo Salvador Hernández Avilés por su dedicación y paciencia durante la elaboración de este trabajo y por tratar de hacernos comprender su concepto de la trascendencia humana en un mundo tan efímero como este.

A los profesores M. En C. Ernesto Mendoza Vallejo, M. En C. José Luis Gómez Márquez, Dr. Isaías H. Salgado Ugarte y Biól. Ma. Del Carmen Galindo de Santiago por sus profundas observaciones, valiosas sugerencias y aportaciones que nos sirvieron para enriquecer y llevar a buen término este trabajo.

A Alberto Guzmán Sosa (tico), porque siendo justos a esta tesis le deberíamos anexar tu nombre.

A Angélica y Miguel que nos enseñaron que la amistad no es divertirse juntos, si no trabajar hombro con hombro.

A todos los que por razones de espacio y no de olvido no aparecen en esta hoja

Gracias.

INDICE

	Páginas
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
ANTECEDENTES	4
OBJETIVOS	6
BIOLOGIA DE LA ESPECIE	7
DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	11
MÉTODO	15
RESULTADOS	
COMPONENTE FÍSICA Y QUÍMICA	
DINÁMICA TÉRMICA DE LA COLUMNA DE AGUA	21
OXÍGENO DISUELTO	22
COMPONENTE EDÁFICA	
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	23
DUREZA TOTAL	
DUREZA DE CALCIO	24
ALCALINIDAD	
CONDUCTIVIDAD	25
TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS	26
NUTRIMENTOS	
NITRATOS	27
NITRITOS	28
AMONIO	29
ORTOFOSFATOS	30
FOSFORO TOTAL	31
COMPONENTE BIOLÓGICA	
PRODUCTIVIDAD PRIMARIA	32
CLOROFILA "a"	33
ZOOPLANCTON	34
COPÉPODOS, CLADÓCEROS Y ROTÍFEROS	35
CRECIMIENTO DE LOS PECES	
RELACIÓN PESO LONGITUD	36
ECUACIONES DE CRECIMIENTO	
LONGITUD	37
PESO	38
MODELO DE VON BERTALANFFY	39
TASA INSTANTÁNEA DE CRECIMIENTO	40
FACTOR DE CONDICIÓN SIMPLE DE FULTON	41

FACTOR DE CONVERSIÓN ALIMENTICIA	42
EFICIENCIA DE LA CONVERSIÓN	43
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
PARAMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS	44
PARAMETROS BIOLÓGICOS	47
CRECIMIENTO	48
RENDIMIENTO PISCÍCOLA	52
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES	55
LITERATURA CITADA	56

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el cultivo de la tilapia *Oreochromis niloticus* en una unidad de producción en jaulas flotantes en el Lago de Metztlán Estado de Hidalgo, a una densidad de 34 org/m³, en el cual se utilizó alimento artificial con 36.5 % de proteína a una ración del 10 % del peso del cuerpo por día para los primeros tres meses, que se disminuyó paulatinamente hasta llegar a un 2% al momento de la cosecha. Asimismo se determinaron algunas condiciones física y químicas de la columna de agua y parámetros biológicos correspondientes a la productividad primaria, clorofila "a" y la composición de los principales grupos de zooplancton.

Los resultados muestran que el crecimiento de los peces estuvo directamente influenciado por la variación de la temperatura del agua, ajustándose al modelo oscilatorio estacional de Von Bertalanffy, $L_t = 30 \text{ cm} (1 - e^{-(0.928(t+0.15)+0.01120(t-0.0285)})$) propio de aguas subtropicales, en donde el crecimiento de los peces tiende a ser mínimo en el invierno y aumentar considerablemente en el verano. Los diagramas de cajas con muesca para el crecimiento de los peces presentaron simetría para la longitud y una asimetría positiva para el peso en los diferentes muestreos. De acuerdo con la pendiente de la relación peso-longitud el crecimiento fue de tipo isométrico.

La condición y la tasa instantánea de crecimiento de los peces fueron fluctuantes durante el periodo de cultivo las cuales estuvieron en un intervalo entre 0.18 y 0.41, y 0.15 y 2.15 %/día respectivamente. El factor de conversión alimenticia presentó en las primeras fases de desarrollo de los peces valores extraordinariamente altos, superiores a los reportados para la especie los cuales disminuyeron hacia el periodo, cálido como consecuencia también, la eficiencia de la conversión alimenticia tuvo variaciones contrastantes a través del periodo de estudio. El rendimiento piscícola fue de 6.48 Kg/m³/año, con un peso promedio para pez, al momento de la cosecha de 285 g.

El Lago de Metztlán es un sistema fluctuante, en donde la componente química no se rige por procesos de dilución y concentración, sino por la entrada y salida constante de agua a través del río Venados principal tributario del lago y de un dique dentro de la cubeta lacustre, que sirve para controlar la zona de inundación respectivamente. De acuerdo con su comportamiento térmico se clasifica como polimictico cálido continuo. Sus aguas son muy duras de tipo bicarbonatadas, con pHs que le da propiedades ligeramente alcalinas.

La concentración de nutrientes, la productividad primaria, la clorofila "a", y los grupos predominantes del zooplancton, en general definieron condiciones eutróficas en las aguas.

INTRODUCCIÓN

Los conocimientos acuícolas se inician en lugares con gran diversidad biológica, en los que en forma natural viven organismos acuáticos entre los que se seleccionan los de mas rápido crecimiento, alta fecundidad y valor nutricional, cuando estos organismos son colocados y observados en pozos, estanques y depósitos naturales o artificiales, empieza la selección sobre la base de crecimiento, comportamiento alimentario, hábitos reproductivos, tolerancia al manejo y resistencia a enfermedades, entre otras; lo que implica la consolidación de la acuicultura como tecnología de alto nivel (Ramírez y Sevilla, 1996).

La acuicultura es una alternativa, que no solo forma parte del ámbito cotidiano en muchas regiones, sino que se expresa en programas y planes gubernamentales, con propósitos que tienden a aumentar la disponibilidad de proteína en inversiones crecientes del sector privado y del esfuerzo de sectores sociales que generan empleos y divisas, así como novedades tecnológicas que con gran rapidez están transformando los sistemas de producción de alimentos por medio de innovaciones que han permeado ambientes sociales y económicos muy diversos (Hernández-Avilés y García-Calderón, 1990).

En México la acuicultura surgió como una actividad eminentemente social, dirigida sobre todo a regiones de extrema pobreza y aunque ha experimentado cambios profundos en los últimos años, el sector social sigue siendo su principal beneficiario, ya que la mayor parte de la infraestructura acuícola existente corresponde a dicho sector. Actualmente ha adquirido mayor importancia, arrojando beneficios sociales y económicos, los cuales a su vez se han traducido en una fuente de alimentación con un elevado valor nutricional. Sin embargo, el 80% de los cultivos que se llevan a cabo son de tipo extensivo de rendimiento bajo (Ramírez y Sánchez, 2000)

Pese a los avances logrados en la acuicultura a escala mundial, la producción de organismos acuáticos depende en forma mayoritaria de las existencias naturales que en muchos casos manifiestan estar próximos a los niveles de máxima explotación sostenible, lo que hace apremiante la necesidad de incrementar la producción acuática mediante la aplicación de sistemas acuiculturales (Díaz, 1991).

En 1993 la acuicultura mundial, contribuyó a la producción pesquera con el 15% de volumen y 26% del valor comercial, mediante la aplicación de técnicas de cultivo extensivo e intensivo en la producción de peces. Asimismo, en México la tasa de crecimiento anual desde 1985 hasta 1997 de la acuicultura frente a las de la captura por pesca son relativamente superiores, si se consideran los promedios anuales en dichos periodos, de 2.5 y 2.2%, respectivamente (Ramírez y Sánchez, 2000).

La acuicultura se ha convertido, así, en un instrumento que contribuye a mejorar las condiciones de vida de la población rural del país mediante la generación de alimento de alto valor nutritivo y el mejoramiento del ingreso familiar. El lago de Metztlán ubicado en el Estado de Hidalgo, es un ejemplo de ello, en donde se tienen registros de un cultivo de tipo extensivo a partir de 1990 de tilapia y carpa con capturas anuales que fluctúan entre 42.47 y 498.27 toneladas y rendimientos entre 0.080 y 0.940 toneladas por hectárea para la tilapia y de 4.91 a 128.33 toneladas anuales y rendimientos de 0.09 y 0.242 para la carpa durante el periodo de 1990-1998, situando a este lago como uno de los más productivos en el ámbito mundial; sin embargo a lo largo de este periodo se han experimentado decrementos de la captura debido a malos manejos pesqueros por sobre pesca de tallas pequeñas de ambas especies y a periodos de desecación del lago (Ibáñez-Aguirre y García-Calderón, 2000). La necesidad de incrementar la producción del grupo de pescadores de la comunidad los condujo a las prácticas de una acuicultura intensiva mediante el cultivo de tilapia en jaulas flotantes.

La tilapia, es una especie que ha tenido éxito en México desde su introducción en la década de los sesentas (Morales, 1974), y actualmente ocupa el primer lugar en las pesquerías de aguas interiores, con rendimientos cercanos a las 73, 000 toneladas anuales, incluyendo la acuicultura extensiva, representando mas del 40% del volumen total de la producción nacional y aproximadamente 3000 toneladas anuales por acuicultura extensiva (FAO, 1997).

Entre los atributos favorables que convierten a esta especie en una de las mas apropiadas para la acuicultura, es su gran resistencia física, capacidad de adaptación, rápido crecimiento, resistencia a las enfermedades, elevada productividad, tolerancia a desarrollarse en condiciones de alta densidad, habilidad para sobrevivir a bajas concentraciones de oxígeno disuelto e intervalos amplios de salinidad, además de su capacidad de alimentarse de una diversidad de productos naturales y artificiales, (Aguilera y Noriega, 1988). En lo que se refiere a la especie seleccionada *Oreochromis niloticus*, es una especie microfaga que consume fitoplancton, pequeños crustáceos y detritus, lo que hace posible la aplicación de alimentos complementarios que fortalecen su dieta, (Pullin y Yaron, 1983).

Por su parte el cultivo en jaulas flotantes presenta ventajas sobre otros modelos tecnológicos de acuicultura intensiva, por ejemplo se pueden adaptar a diferentes cuerpos de agua, se impide la fuga de peces, existe un abastecimiento continuo de oxígeno disuelto permitiendo condiciones de cultivo intensivo, en un volumen de agua relativamente pequeño se puede cultivar una gran cantidad de peces, controlar enfermedades, cosechar fácilmente además de no ser necesario modificar la forma y la estructura de los cuerpos de agua y se puede efectuar tanto a escala comercial como para autoconsumo (Coche, 1982, Beveridge, 1987)

ANTECEDENTES

La mojarra tilapia corresponde a un grupo de peces ciclidos de la tribu Tilapiini originaria de África oriental. Algunas de sus especies han sido cultivadas en estanques desde el año 1000 A.C. No obstante, es hasta el presente siglo cuando esta especie recibe la atención de los acuicultores a nivel mundial (Arredondo-Figueroa y Lozano-Gracia, 1996).

En Kenia en 1924, se inició el cultivo experimental de la tilapia, continuándose después en Zaire de manera mas organizada e intensiva y popularizándose en Sudáfrica y Rodesia. Simultáneamente desde Java se difundió la tilapia hacia todo el Sureste Asiático. Los primeros resultados del cultivo de esta especie obtenida en Malasia causaron grandes expectativas en relación a su potencial productivo y ello contribuyó a que de 1950 a 1970 la tilapia fuese distribuida al resto del mundo tanto en zonas tropicales como subtropicales (Aguilera y Noriega, 1988).

En México el cultivo de la tilapia se inició en 1964, con la importación de los primeros ejemplares procedentes de la Universidad de Auburn, Alabama, EUA, las cuales fueron depositadas en la Estación piscícola de Temascal, Oaxaca (Morales, 1974). Las especies introducidas en ese año fueron identificadas como: *Tilapia rendalli*, *Oreochromis mossambicus*, *O. Aureus*, las cuales fueron distribuidas ampliamente en una gran cantidad de cuerpos de agua naturales y artificiales en las zonas tropicales y templadas del país, que contribuyen a las primeras acciones de fomento para su cultivo (Arredondo-Figueroa, 1983).

Posteriormente en 1978, se introdujo en el mismo sitio la tilapia del Nilo (*O. niloticus*), procedente de Panamá, Centro América. En 1981, se instrumentaron programas de reproducción controlada en jaulas flotantes con la llegada al país de la tilapia roja *O. mossambicus* y *O. urolepis hornorum*, distribuyéndose a los centros acuícolas de Zacatepec y el Rodeo, Morelos, provenientes de EUA a través de la empresa Natural Systems, ubicada en Palmeto, Florida (Secretaría de Pesca, 1994a).

Al término de 1982, la acuicultura extensiva y la pesca de la tilapia estaban rindiendo beneficios importantes, debido a que el cultivo intensivo artesanal aún rendía beneficios netos, pero era una esperanza importante, en virtud de ser muchas las personas beneficiadas con la pesca de la tilapia, el procesamiento, el comercio y el consumo por otro lado, para algunas regiones había resultado un activador económico de consideración, por que la producción nacional de tilapia se encontraba en ascenso, asimismo se estimaba que los beneficios se veían incrementados proporcionalmente (Cabrera y García, 1984)

En 1986, la primera línea roja de *Oreochromis niloticus* llega a México, procedente de la Universidad de Stirling, Escocia, especie que se introdujo en el centro de investigación y Estudios avanzados del IPN, Unidad Mérida, de donde fue distribuida a varios centros acuícolas en la entonces Secretaría de Pesca (Sosa *et al.*, 2000).

En México se han aplicado distintos modelos tecnológicos para la producción de tilapia. El primero de ellos consiste en una política enfocada a la distribución e introducción de crías de diferentes especies de tilapia en grandes cuerpos de agua naturales y artificiales a lo largo y ancho de la República Mexicana (Hernández-Avilés y Peña-Mendoza, 1992). A esta actividad se le ha dado el nombre de repoblación y corresponde a pesquerías derivadas de la acuicultura.

A pesar de la importancia que tiene este modelo tecnológico hoy en día se presentan problemas severos en los embalses, que afectan de forma directa a la producción, entre ellos se tiene la pérdida de vigor genético de la especie, reducción de la talla, sobrepesca y enfermedades, entre otras.

Otros métodos aplicados en México a partir de la década de los ochentas, son el cultivo semi-intensivo y el intensivo en cuerpos de agua pequeños, estanques, jaulas, canales de corriente rápida y en canales de riego. Los cultivos intensivos en jaulas flotantes manejan densidades elevadas que fluctúan entre 80 y 100 organismos/m³, lo que permite producir aproximadamente 20 kg/m³ de tilapia (Secretaría de Pesca, 1994b).

Experimentos realizados en la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, en la Planta Experimental de Producción Acuícola, sugieren que un alimento comercial con 30% de proteína y que cubra los requerimientos nutricionales de la especie, puede mantener una tasa de crecimiento por arriba de 1.5 gramos por día lo que permite llegar a talla comercial por encima de 200 g en tan solo cinco meses, teniendo la posibilidad de mantener dos ciclos de cultivo al año con un rendimiento acuícola de 2.7 toneladas anuales, en tan solo 67 m³ de agua en un sistema de recirculación y reacondicionamiento de agua cerrado (Zendejas, 1996).

El cultivo en jaulas flotantes se hace con ejemplares de ambos sexos y con tallas promedio de 5 a 7 cm, la carga inicial es de 35 a 50 peces/ m³ de agua y la alimentación consiste en alimento balanceado. El cultivo está en relación a la temperatura del ambiente, así por ejemplo en aguas con temperatura promedio de 28°C, las tilapias alcanzan su talla comercial de 250 a 300 g en tan solo 8 meses, razón por la cual este cultivo es rentable y tiene un gran futuro en el país, (Arredondo-Figueroa y Lozano-Gracia, 1996).

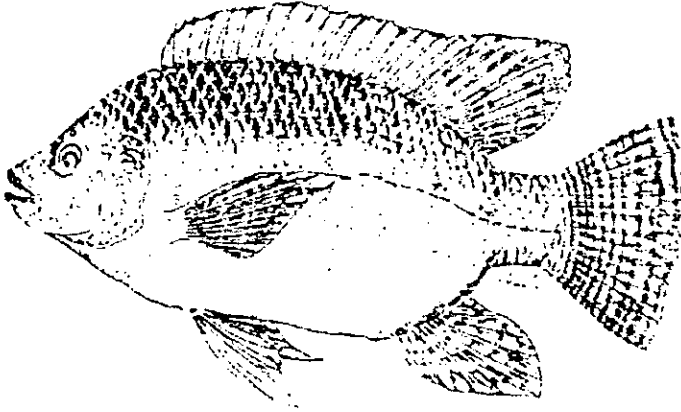
OBJETIVO GENERAL.

Evaluar el crecimiento, condición y rendimiento del cultivo de *Oreochromis niloticus* en jaulas flotantes en el lago de Metztlán, Estado de Hidalgo y analizar los factores bióticos y abióticos asociados al sistema de producción.

OBJETIVOS PARTICULARES.

- a) Caracterizar la variación espacio temporal de los nutrimentos, de los parámetros físicos, químicos y biológicos asociados al sistema de producción.
- b) Evaluar el crecimiento, condición y conversión alimenticia de *Oreochromis niloticus* en un sistema de cultivo intensivo en jaulas flotantes.
- c) Determinar el rendimiento del cultivo de la tilapia bajo estas condiciones de manejo.

BIOLOGIA DE LA ESPECIE



Oreochromis niloticus

DIAGNOSIS

Esta especie tiene de 19 a 22 branquiespinas en la parte inferior del primer arco branquial; aleta dorsal XVI-XVII (moda XVII), 12-13; AIII, 10-11; de 3 a 4 hileras de dientes robustos y gruesos aleta pélvica I, 5; aletas pectorales I, 5. Posee de 31 a 33 escamas en una serie longitudinal. (Arredondo-Figueroa y Guzmán-Arroyo, 1985)

Coloración, el cuerpo tiene un tono verde metálico, los machos en reproducción toman una coloración ligeramente gris plateado; la cabeza verde metálico, ojos café, labios negros, vientre gris plateado, la papila genital es blanca, el borde de la aleta dorsal de gris oscuro a negro, la parte terminal de la aleta caudal es rosa, con bandas negras bien definidas y uniformes en forma circular. La forma del perfil es convexo. (Morales-Días, 1991).

El hueso faríngeo presenta un área dentada con una densidad baja. En la parte superior presenta dientes bicúspides y en la parte inferior monocúspides, curvados hacia atrás. La pigmentación se presenta sólo en la parte superior del área dentada. Los lóbulos superiores del hueso faríngeo están poco desarrollados y el área dentada no está cubierta por completo por los dientes y su densidad es irregular (Arredondo-Figueroa y Tejada-Salinas, 1989).

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

De acuerdo al criterio de Nelson 1984 y Trewavas, 1983 tomado de Morales (1991) la especie se clasifica de la siguiente manera:

Phylum:	Chordata
Sbphylum:	Vertebrata
Superclase:	Gnathostomata
Serie:	Pisces
Clase:	Osteichthyes
Subclase:	Actinopterygii
Infraclase:	Neopterygii
División:	Halacostomi
Subdivisión:	Teleostei
Infradivisión:	Euteleostei
Superorden:	Acanthopterygii
Orden:	Perciformes
Suborden:	Percoidei
Familia:	Cichlidae
Genero:	<i>Oreochromis</i>
Especie:	<i>Oreochromis niloticus</i>

REQUERIMIENTOS ECOLÓGICOS.

Dentro de sus áreas originales de distribución las tilapias han colonizado hábitats mucho muy diversos: arroyos permanentes y temporales, ríos anchos y profundos o con rápidos, lagos profundos, lagos pantanosos, lagunas dulces, salobres o saladas, alcalinas estuarios y lagunas costeras e incluso hábitats marinos. Las tilapias cultivadas habitan por lo general en aguas lénticas, permaneciendo en zonas poco profundas y cercanas a las orillas donde se alimentan y reproducen. Entre los requerimientos ecológicos mas importantes que deben considerarse en la selección de una determinada especie para ser cultivada, destacan los siguientes: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, dióxido de oxígeno, pH, alcalinidad y dureza (Aguilera y Noriega, 1988).

A continuación se presenta un cuadro en el que se señalan los distintos parámetros de calidad del agua para lograr una buena sobrevivencia, crecimiento y reproducción de la tilapia, (Arredondo-Figueroa y Lozano-Gracia, 1996).

Parámetro	Ótimo	Limite
Temperatura °C	24 a 29	29 a 32
Oxígeno disuelto mg/l	>3 a 5	<1.0
CO ₂ mg/l	<30	>50
Salinidad %	<20	>20
pH	6.5 a 7.5	<6.0 y >9
Turbidez cm	<22	>100
NH ₄ + mg/l	<0.1	>1.0
NO ₂ mg/l	<0.6	>2.0

HÁBITOS ALIMENTICIOS

Todas las tilapias tienen una tendencia hacia hábitos alimenticios herbívoros. Las adaptaciones estructurales de las tilapias a esta dieta son principalmente un largo intestino muy plegado, dientes bicúspides o tricúspides sobre las mandíbulas y la presencia de dientes faríngeos.

A pesar de la heterogeneidad en relación a sus hábitos alimenticios y a los alimentos que consumen, las tilapias se pueden clasificar en tres grupos principales:

1. Especies Omnívoras: se alimentan de fitoplancton, pequeños crustáceos detritus y zooplancton.
2. Especies fitoplactófagas: consumen principalmente fitoplancton algas que crecen sobre la superficie de las rocas.
3. Especies herbívoras: se alimentan de vegetación macroscópica.

Oreochromis niloticus pertenece al primer grupo. Los juveniles casi siempre son zooplactófagos (mayor requerimiento de proteína) y posteriormente su alimentación se vuelve fitoplactófaga o detritívora. Los detritus son una mezcla compleja de compuestos vivos y no vivos cuyo contenido proteico es elevado.

Una característica de la mayoría de las tilapias es que aceptan fácilmente los alimentos suministrados artificialmente. En tales casos la base de la alimentación la constituyen los alimentos naturales que se desarrollan en el agua y cuyo contenido proteico es de un 55% aproximadamente (peso seco). Por lo tanto, cuando la densidad de peces es elevada se requerirá el empleo de alimentos suplementarios ricos en proteína (Aguilera y Noriega, 1988).

CONDUCTA REPRODUCTIVA

Para poder reproducirse, la mayoría de las tilapias necesitan una temperatura superior a los 20 °C. Intervienen además otros factores tales como el fotoperiodo y la intensidad lumínica. Estos factores determinan la duración del periodo reproductivo, así como la frecuencia misma de la actividad reproductiva.

El número y tamaño de ovocitos por desove son proporcional al peso, la talla y la edad de la hembra.

Los machos en las especies que incuban a sus crías en la boca (*Oreochromis*), permanecen en el área de nidación, delimitando y protegiendo su territorio. Estos despliegan vistosas coloraciones para atraer algunas de las hembras que visitan con frecuencia el área de nidación. Finalmente la hembra deposita los huevecillos en el fondo del nido, y una vez que estos han sido fertilizados por el macho, la hembra los recoge en su boca. La hembra repite esta operación en el mismo nido o en otros hasta completar varios cientos de huevecillos. Finalmente se desplaza a algún sitio protegido, donde permanece quieta durante la incubación de los huevos. Al nacer los alevines continúan en la boca de la madre. Al absorber el saco vitelino, los pececillos empiezan a salir de la boca, alejándose cada vez más y regresando a ella en búsqueda de protección. Cuando finalmente han alcanzado una talla de 10 mm, se alejan definitivamente, pero continúan agrupados en busca de alimento y protección, principalmente cerca de las orillas. La eficiencia de la reproducción de las tilapias tiene consecuencias paradójicas: por una parte las vuelve atractivas para la piscicultura, particularmente en regiones tropicales y en países en desarrollo, dada la facilidad y rapidez de su propagación. Por otra parte, causa problemas debido a que en condiciones de cautiverio su incontrolada multiplicación provoca "enanismo" a causa de la competencia por alimento y se vuelve precoz en su maduración sexual tanto por factores genéticos como ambientales (Aguilera y Noriega, 1988).

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

LOCALIZACIÓN

En la parte central del estado de Hidalgo, a 88 kms de la capital se localiza el municipio de Metztlán, la superficie que ocupa es de 756 km², siendo el segundo en extensión del Estado, se encuentra limitado al Norte por los municipios de Molango, Eloxochitlán y Xochicoatlán, al sur con Atotonilco el Grande, Actopan y Santiago; al oriente con los de Metzquititlán y Zacualtipán, al Poniente con el municipio de Cardonal.

El Lago de Metztlán esta situado entre los 20°39'47" 'y 20° 42' 08" de Latitud N y los 98°49'49" y 98°53'31" de longitud W; a una altitud de 1,264 metros sobre el nivel del mar.

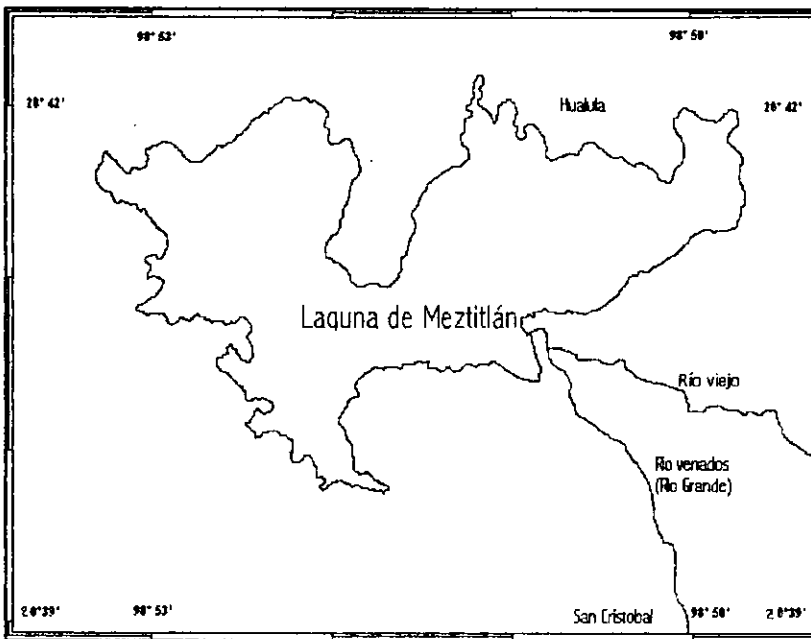


Fig.1. Ubicación del Lago de Metztlán Edo. de Hgo. Modificado del mapa topográfico 1: 50,000 (INEGI, 1988).

MORFOLOGÍA Y GEOLOGÍA

Los estudios paleogeográficos informan que durante la mayor parte del Mesozoico, esta región se encontraba bajo las aguas del mar, siendo prueba evidente de lo enunciado, la presencia de calizas, lutitas y areniscas, sedimentadas y compactadas en el seno marino. Posteriormente movimientos orogénicos elevaron los sedimentos marinos ya consolidados, no sin que se efectuaran esfuerzos muy intensos plegando de espectacular manera la formaciones sedimentarias.

Esfuerzos tectónicos posteriores fracturaron las formaciones Cretácicas, lo que permitió no solamente la fácil erosión y aún la salida de rocas volcánicas como los basaltos que se observan sobre las formaciones sedimentarias del Cretácico. La profunda incisión de la cañada de las Vegas de Metztlán, del lago y del valle de Almolón, está cortada en terreno de calizas y margas pizarras del Cretácico que han sufrido fuerte trastornos tectónicos por fracturamiento e intensos plegamientos.

El lago de Metztlán debe clasificarse como un cuerpo lacustre cuando menos del Pleistoceno, originada por el deslizamiento rocoso de una de las márgenes y en la actualidad el abatimiento del nivel del dique por su parte. La permeabilidad que se observa originando los manantiales hacia aguas abajo y las obras de irrigación son factores que establecen un lago de área variable sin control en el nivel lacustre, ya que al efectuarse grandes precipitaciones, se provocan inundaciones en las áreas de labor (Cantú, 1953).

Se clasifica como un asentamiento de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, subprovincia del carso huasteco que se caracteriza por ser una sierra plegada pero con rasgos de un carso mayor con un alto grado de disección (INEGI, 1988).

HIDROLOGÍA

El Lago esta formado por los efluentes del río Venados y el río Viejo los cuales corren a lo largo de la Vega de Metztlán, el primero pasa frente al poblado de San Cristóbal y el segundo del otro lado de la Vega. La Vega pertenece a la cuenca del Pánuco-Moctezuma (Alvarez *et al*, 1998).

EDAFOLOGÍA

Los suelos que circundan al Lago son feozem calcárico y lúvico, caracterizado por una superficie oscura, suave y rico en materia orgánica y nutrientes; así como fluvisol calcárico formado por materia de depósitos aluviales recientes, constituidos por materiales sueltos que forman terrones y son poco desarrollados (INEGI, 1988).

VEGETACIÓN

Hacia el Oeste del Lago se presenta un cardonal: una agrupación de plantas crasas, con altura a veces hasta de 10 m. Se incluye aquí los comúnmente conocidos como *Myrtillocactus geometrizans* (garambullo), *Lamaireocereus spp* (organos, candelabros, cordones), *Carolegia gigantea* (Sahuaro), *Cephalocereus senilis* (viejitos), *Neobuxbaumia tetetzo* (tetechos), *Neobuxbaumia mezcalensis* (gigantes) (Rzedowski, 1978).

Hacia el Norte el tipo de vegetación predominante son cactáceas grandes con tallos aplanados o cilíndricos, que se desarrollan principalmente en zonas áridas y semiáridas, incluye las comúnmente conocidas como Nopaleras y Cardonales.

Hacia el Este existe pastizal inducido que surge espontáneamente al ser eliminada la vegetación original.

Hacia el sur y sureste hay una amplia región de agricultura de temporal y de riego.

CLIMA

De acuerdo con la clasificación de Koppen, Metztlán resulta tener un clima Bso(h⁷)W del subtipo seco muy cálido con lluvias de verano y una precipitación invernal de 5 a 10.2%. La temperatura media anual es de 22 °C, los meses mas calurosos son durante la época mas seca, de abril a junio, mientras que los mas fríos son los de noviembre a febrero. La precipitación anual va de 400 a 500 mm, los meses de mayor precipitación son septiembre, junio y julio, la frecuencia de heladas corresponde de 0-5 días por año, mientras que para la frecuencia de granizadas tiene de 0-2 días anuales (INEGI, 1988).

PRECIPITACIÓN PLUVIAL Y EVAPORACIÓN MEDIA

De acuerdo con el perfil precipitación- evaporación, en la zona hay un déficit de agua a lo largo de todo el año en un intervalo entre 46 y 182.35 mm, presentándose dos picos de máxima precipitación en junio y septiembre, con 110.1 y 97.11 mm respectivamente, y los máximos de evaporación en abril 189.3 mm, mayo 186.9, septiembre 195.23 y diciembre 186.25 mm (Fig.2.).

En el balance hídrico del lago, la pérdida de agua tiene dos determinantes fundamentales, la evaporación y la salida por un dique hecho ex profeso para controlar el área de inundación con fines agrícolas, dado que en esta región existe una vega que se utiliza para el cultivo.

El llenado del sistema lacustre depende directamente de la captación del agua de lluvia de la cuenca de drenaje.

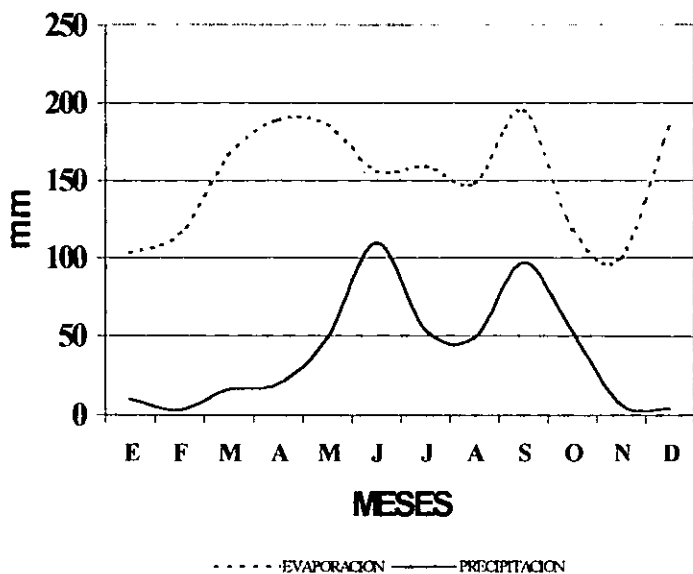


Fig.2. Perfil precipitación- evaporación para San Cristobal Metztlán Edo. de Hgo, de 1996 a 1997 en la estación meteorológica (13-087)

MÉTODO.

El presente estudio se dividió en tres fases para su realización:

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

I TRABAJO DE CAMPO.

1. UNIDAD DE PRODUCCIÓN

Se evaluó un lote de *Oreochromis niloticus* variedad Stirling, de acuerdo con el manejo preestablecido por los acuicultores, que consistió en la siembra de los organismos a una talla de 5.86 cm, un peso de 5.36 g promedio y una densidad de 34 org/m³ en una de las jaulas flotantes de la unidad de producción, con dimensiones de 6X6X2 m. Los peces fueron alimentados artificialmente con pellets marca comercial (Purina) con 36.5% de proteína a razón de 3 Kg/día para la talla de cría y 8 Kg/día a partir de la etapa juvenil, divididos en tres exposiciones al día, que correspondió a una ración en un intervalo decreciente entre 8.49% para el primer mes y 0.69 en el último.

La unidad de producción consta de 16 jaulas de una estructura de fierro tubular de 2.0 X1.0 pulgadas, soldado y protegido con pintura epóxica marina. Cada jaula tiene un volumen de 72 m³, revestida con una red de polietileno de una abertura de malla de 2 cm, la cara superior del cubo que forma el corral se proyecta descubierta y se encuentran sostenidas por unidades de flotación con dimensiones de 0.5X0.5X1.0 m.

2. FÍSICA Y QUÍMICA DEL AGUA.

Los puntos de muestreo de parámetros hidrobiológicos se establecieron a un costado de la unidad de producción a lo largo de la columna de agua, que correspondieron a superficie, zona eufótica, un metro, cinco metros y fondo.

Las muestras se tomaron con una botella Van Dorn de 3 l de capacidad, conservadas a baja temperatura en botellas de plástico, para su posterior determinación.

In situ se registraron los siguientes parámetros:

- Transparencia con un disco de Secchi de 20 cm de diámetro.
- Temperatura a lo largo de la columna de agua con un termómetro con precisión de 0.1°C
- Oxígeno disuelto a lo largo de la columna de agua mediante el uso de un oxímetro de campo marca YSI, modelo 57 con una precisión 0.05mg/l.

3. CLOROFILAS.

Para el análisis de clorofila se tomaron muestras de 500 ml mediante una botella Van Dorn a lo largo de la columna de agua en superficie, zona eufótica y a 1.5 m de profundidad, y en la jaula de estudio, conservándolas en botellas oscuras y a baja temperatura.

4. PRUCTIVIDAD PRIMARIA.

La productividad primaria se determinó mediante el método de las botellas claras y oscuras (Wetzel y Likens, 1991), con un tiempo de incubación de tres horas, en superficie, zona eufótica, y 1.5 m de profundidad. Se realizaron dos repeticiones de cada nivel. La concentración de oxígeno se determinó por el método de Winkler con la modificación de azida de sodio (Cervantes, 1986).

5. ZOOPLANCTON.

Las muestras de zooplancton se obtuvieron filtrando 20 l de agua, y usando una red de cono truncado de luz de malla de 160 μ y un diámetro de boca de 30 cm. Las muestras fueron conservadas con formol al 10% (Schoworbel, 1975).

6. MUESTREO DE PECES

Se tomaron muestras aleatorias de aproximadamente 150 peces con una periodicidad de 30 días, para registrar la siguiente biometría: longitud total, longitud patrón y altura (mm) mediante un ictiómetro de precisión de 1 mm, así como el peso total de los organismos (g) usando una balanza granataria marca Ohaus triple Bean de 0.01 g de precisión.

II. TRABAJO DE LABORATORIO.

1. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS.

La cuantificación de los parámetros químicos se evaluaron según las técnicas descritas en APHA, AWWA y WPFC (1989).

- 1.1) pH: mediante un potenciómetro marca Corning modelo 3D con precisión de 0.01.
- 1.2) La conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y los sólidos totales disueltos (mg/l) fueron determinados instrumentalmente mediante un Check-Mate digital, modelo 90, marca Corning con precisión de $0.1 \mu\text{S}/\text{cm}$ y $0.1 \text{ mg}/\text{l}$.
- 1.3) La alcalinidad: método volumétrico .
- 1.4) La dureza de calcio: método complejométrico.
- 1.5) Dureza total: método complejométrico.
- 1.6) NUTRIMENTOS:
 - 1.6.1) Nitratos: método del ácido fenol disulfónico.
 - 1.6.2) Nitritos: método del ácido sulfanílico.
 - 1.6.3) Amonio: método del fenato.
 - 1.6.4) Fosfatos: método del fosfomolibdato.
 - 1.6.5) Fósforo total: método del fosfomolibdato Cervantes (1986).

2. EVALUACIÓN DE CLOROFILAS.

Los pigmentos fotosintéticos se evaluaron según SCOR/UNESCO, (1980), tomado de Contreras, (1994).

3. ANÁLISIS DE ZOOPLANCTON.

Se realizó un conteo de zooplancton a partir de una alicuota tomada de las muestras y colocada en una cámara de conteo. Se identificó en el nivel de orden Cladóceras, Copépoda y clase Rotífera utilizando un microscopio invertido (Silva, 1992).

III. TRABAJO DE GABINETE.

1. MODELOS DE CRECIMIENTO.

ACCIÓN PESO-LONGITUD.

Para obtener la relación peso-longitud se utilizó la siguiente ecuación potencial (Everhart y Young, 1989):

$$W = aL^b$$

Donde:

- W = Peso del individuo (g).
- a = Ordenada al origen.
- L = Longitud patrón (cm).
- b = Pendiente de la ecuación.

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.

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

Una vez que se obtuvo el valor de la pendiente se realizó una prueba de t de Student, para determinar el tipo de crecimiento (Marques, 1990)

1.2) ECUACIONES DE CRECIMIENTO.

Se utilizaron diagramas de cajas múltiples (Salgado-Ugarte, 1992) para analizar la longitud patrón y el peso a través del periodo de estudio.

Se obtuvo la ecuación de Von Bertalanffy para la longitud patrón (Pauly, 1983).utilizando el programa FiSAT (Gayanilo, *et al.* 1993)

1.3) TASA INSTANTÁNEA DE CRECIMIENTO.

Los datos de longitud y peso fueron agrupados por mes para calcular el crecimiento mediante la tasa instantánea de crecimiento (G).

$$G = \frac{\ln W_{t_i} - \ln W_{t_0}}{t_i - t_0}$$

Donde:

- G = Tasa de crecimiento instantánea
 - \ln = Logaritmo natural.
 - W_{t_i} = Peso promedio mensual de la población en el tiempo 1
 - W_{t_0} = Peso promedio mensual de la población en el tiempo 2
 - T_0 = Tiempo inicial
 - T_1 = Tiempo final
-

1.4) FACTOR DE CONVERSIÓN ALIMENTICIA.

Para evaluar el factor de conversión alimenticia se utilizó la siguiente fórmula:

$$FCA = \frac{AS}{GP} \quad (\text{Kuri-Nivón, 1980})$$

Donde:

AS= Alimento suministrado

GP= Ganancia en peso

ó

$$FCA = \frac{R}{G}$$

Donde:

R = Ración en porcentaje del cuerpo por día.

G = Tasa instantánea de crecimiento (Priede y Secombes, 1988).

1.5) EFICIENCIA DE LA CONVERSIÓN ALIMENTICIA

La eficiencia de la conversión se calculó con la siguiente ecuación:

$$EF(\%) = \frac{G}{R} * 100$$

Donde: G= Tasa instantánea de crecimiento

R= Ración en porcentaje del peso del cuerpo del pez por día (Laird y Needham, 1988)

1.6) FACTOR DE CONDICIÓN SIMPLE DE FULTON.

La robustez o condición de los peces se evaluó mensualmente mediante la siguiente ecuación (Pauly, 1983):

$$K = \frac{W}{L^b} * 1000$$

Donde:

K= Factor de condición.

W= Peso del organismo, (dg).

L= Longitud del organismo, (cm) .

b = Constante obtenida de la relación peso-longitud.

2. CLOROFILA "a".

La concentración de clorofila "a" en $\mu\text{g/l}$ (mg/m^3), se obtuvo mediante la técnica de extracción de pigmentos fotosintéticos con acetona en donde se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Clorofila a} = 11.64 E_{665} - 2.16 E_{645} + 0.10 E_{630}$$

En donde se les resta la extinción de 750 a las de 665, 645 y 630 nm.

Los valores obtenidos se multiplican por el volumen de la extracción en mililitros y divididos por el volumen de la muestra de agua en litros. (Contreras, 1994).

3. PRODUCTIVIDAD PRIMARIA.

La tasa de respiración (R) en términos de consumo de oxígeno se calculó como

$$R = (B_i - B_o) / \Delta t$$

Donde:

B_i = Concentración inicial de O_2 (en mg/l)

B_o = Concentración final de O_2 (en mg/l)

Δt = Periodo de tiempo en el cual se lleva a cabo la respiración en horas.

R se expresa en $\text{mg O}_2/\text{litro/hora}$.

La productividad fotosintética o bruta de oxígeno (PB) en $\text{mg O}_2/\text{lt/hora}$, es:

$$PB = (B_c - B_o) / \Delta t$$

Donde B_c es la concentración final de oxígeno en la botella clara.

La productividad neta de oxígeno (PN) es:

$$PN = (B_c - B_i) / \Delta t$$

o bien: $PN = PB - R$.

expresado en $\text{mg O}_2/\text{lt/hora}$.

Para el cálculo de la productividad primaria en términos de biomasa, las formulas utilizadas fueron las siguientes:

$$\frac{PB = (B_c - B_o)}{\Delta t} \times 0.375 \times 1000$$

$$R = PB - PN$$

Expresada en $\text{mg/C/m}^3/\text{hora}$. (Contreras, 1994, Wetzel y Likens, 1991).

RESULTADOS

COMPONENTE FÍSICA Y QUÍMICO

DINAMICA TÉRMICA DE LA COLUMNA DE AGUA.

Los perfiles térmicos definen un comportamiento con tendencia general a presentar una temperatura homogénea a lo largo de la columna de agua a través del año, con una leve discontinuidad térmica para el mes de enero y un máximo de 29°C para el mes de mayo y un mínimo de 17 °C para enero (Fig. 3).

Las variaciones del nivel del lago muestran un decremento paulatino del volumen a partir del mes de octubre a junio y un incremento en los tres meses restantes

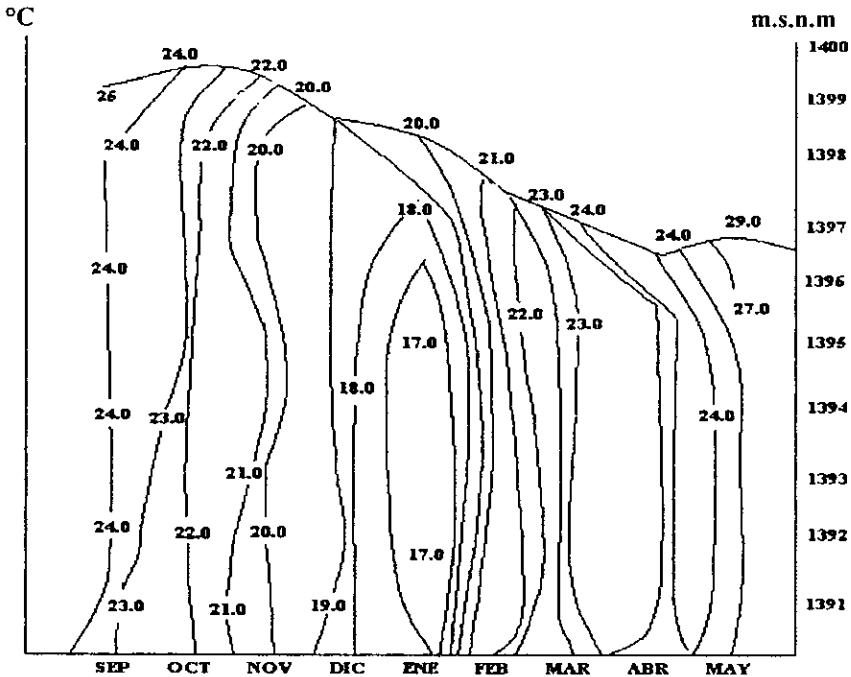


Fig. 3. Diagrama espacio-temporal para la temperatura en el lago de Metztlán Edo. de Hgo. En el periodo comprendido entre 1996-1997.

OXÍGENO DISUELTO.

La concentración de oxígeno disuelto presentó variaciones a nivel de superficie entre 3 y 8 mg/l, que correspondieron a los meses de diciembre y febrero respectivamente. Se observa que existe un gradiente de la concentración en febrero y abril (Fig. 4).

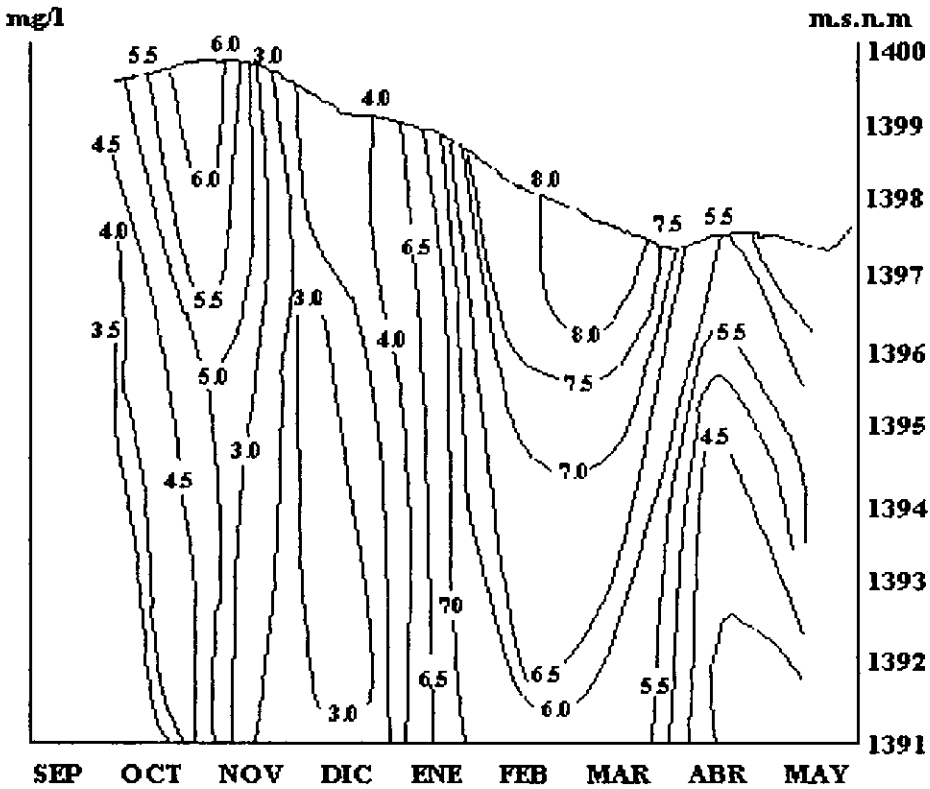


Fig. 4. Diagrama espacio temporal para la concentración de oxígeno disuelto en el lago de Metztlán, Edo. de Hgo. En el periodo comprendido entre 1996-1997.

COMPONENTE EDÁFICA

POTENCIAL DE HIDRÓGENO

Lo valores de pH registrados en el lago variaron entre 6.8 y 8.7, pudiéndose observar una fluctuación muy notable de noviembre a enero, alcanzando un valor mínimo de 6.8 en diciembre. Se presentaron dos puntos máximos uno en enero de 8.38 y otro en junio de 8.73 (Fig.5).

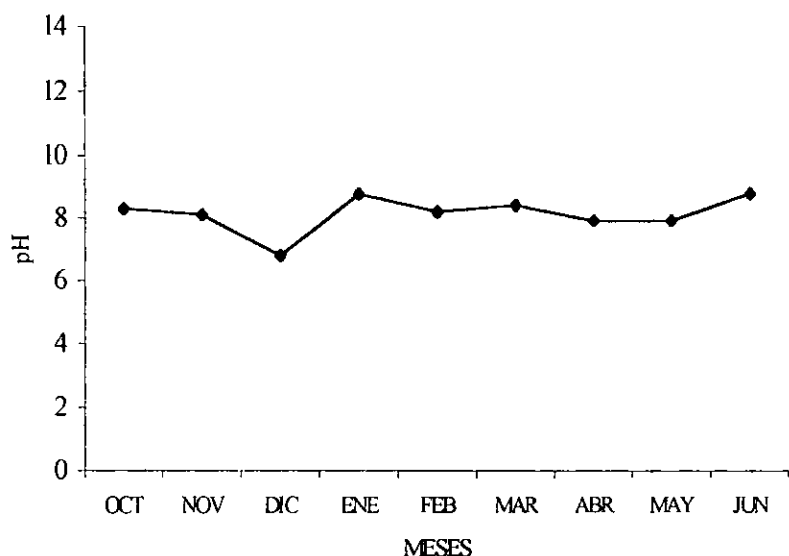


Fig.5. Variación temporal del pH en el lago de Meztitlán, Edo. de Hgo. en el periodo comprendido entre 1996-1997.

DUREZA TOTAL

La dureza total registró concentraciones medias que fluctuaron de 616.6 y 1001 mg/l teniendo un comportamiento ascendente de octubre a marzo (633 a 101 mg/l) momento en el cual alcanza su máxima concentración, después de este mes disminuye hasta alcanzar su mínimo en junio (Fig.6).

DUREZA DE CALCIO

Las medias para la concentración de la dureza al calcio registraron valores que van de 433.4 a 812 mg/l, el comportamiento a lo largo de los meses de muestreo es similar al de la dureza total, de tal modo que existe un incremento de octubre a marzo, teniendo un solo descenso en diciembre. Después de marzo se presenta un marcado decremento en las concentraciones hasta llegar a un valor de 445 mg/l (Fig.6).

ALCALINIDAD

En cuanto a las concentraciones promedio de alcalinidad se registraron valores que oscilaron de 143 a 460 mg/l, la tendencia para este parámetro presentó un incremento a partir de los meses de diciembre (172 mg/l) hasta alcanzar en febrero la mayor concentración (460 mg/l) descendiendo para los meses siguientes (Fig.6).

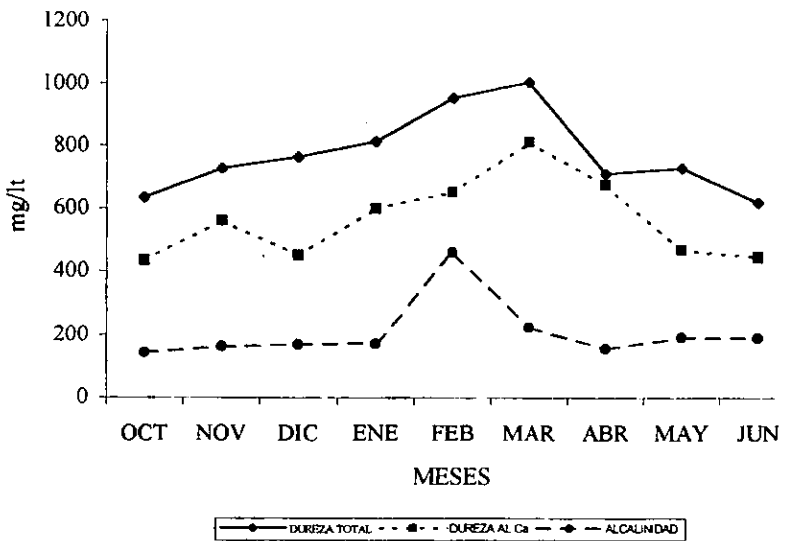


Fig.6. Variación temporal de las concentraciones de dureza total, dureza al calcio y alcalinidad en el lago de Metztlán, Edo de Hgo. En el periodo comprendido entre 1996-1997.

CONDUCTIVIDAD

La conductividad fluctuó entre 366 y 727 $\mu\text{S}/\text{cm}$ presentándose un comportamiento muy homogéneo a lo largo del periodo de muestreo con excepción del mes de octubre que registró el valor mas alto, el resto de los valores variaron entre 366 y 479 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig.7).

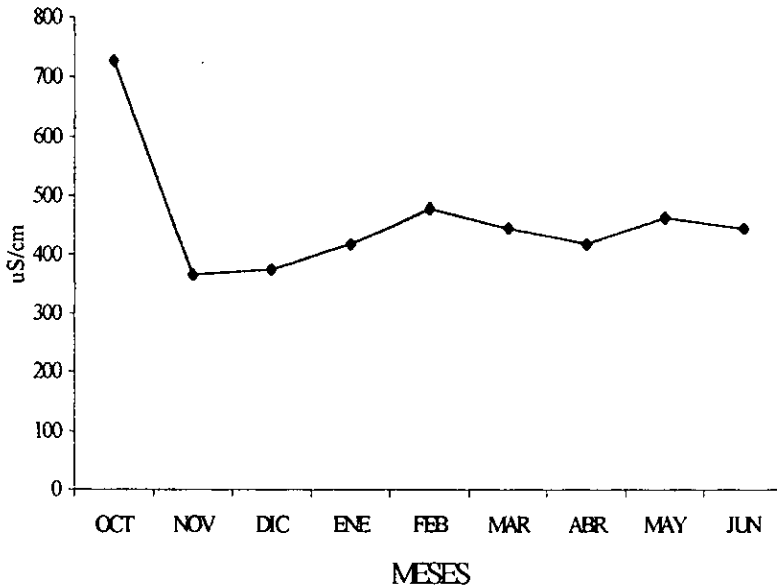


Fig.7. Variación temporal de la conductividad en el lago de Metztlán, Edo. de Hgo. En el periodo comprendido entre 1996-1997.

TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS

El total de sólidos disueltos tuvieron un comportamiento creciente a lo largo de los meses de octubre a marzo, mostrando un máximo en mayo, las concentraciones variaron entre 183 a 332 mg/l (Fig.8).

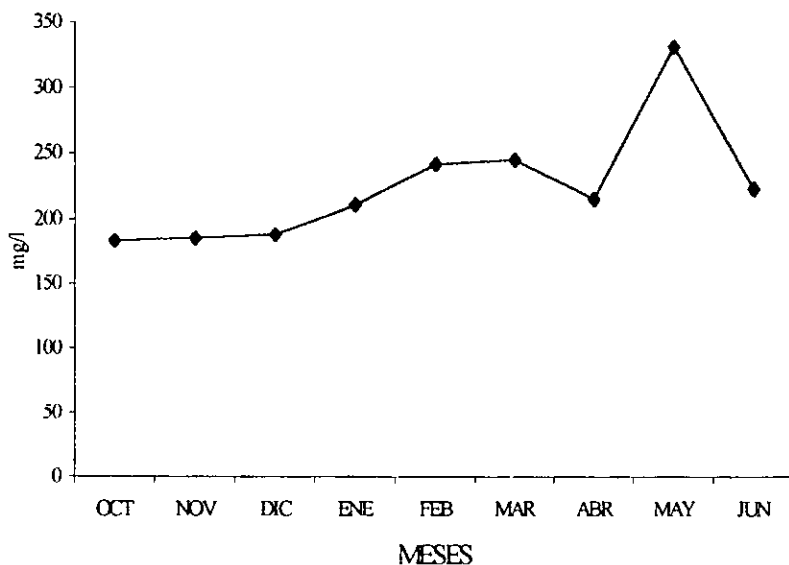


Fig.8. Variación temporal del total de sólidos disueltos en el lago de Metztlán, Edo. de Hgo. En el periodo comprendido entre 1996-1997

NUTRIMENTOS

NITRATOS.

Se encontró que la concentración de nitratos fue homogénea a lo largo de la columna de agua, para todos los muestreos, excepto para marzo y abril. Las concentraciones variaron de 56 a 245 $\mu\text{g/l}$ en los meses fríos, en tanto que en los meses cálidos fueron de 35 a 154 $\mu\text{g/l}$ (Fig. 9)

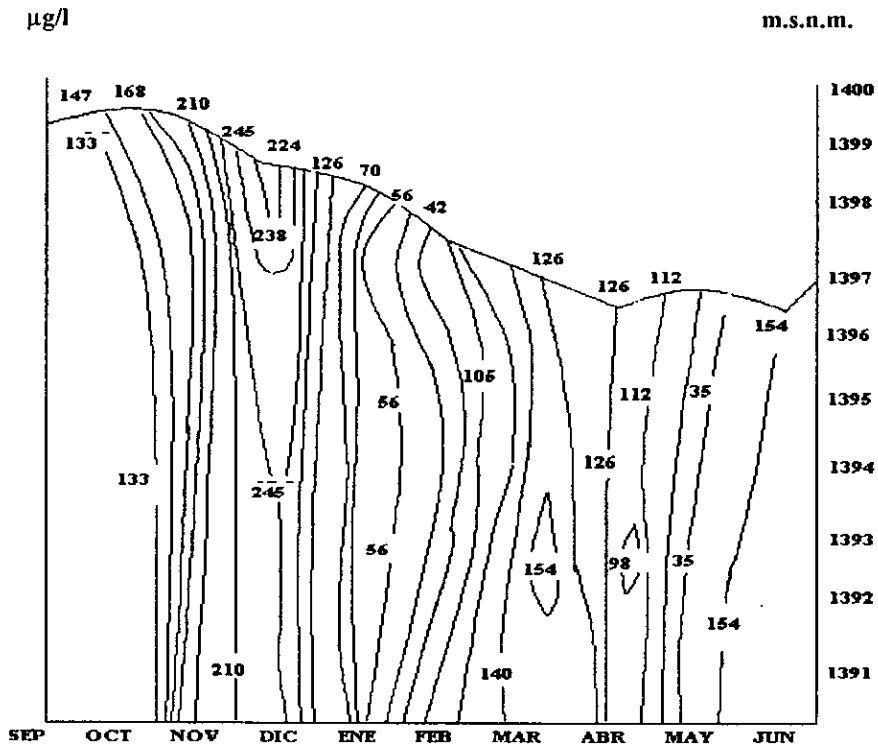


Fig.9. Diagrama espacio-temporal de la concentración de nitratos en el lago de Metztlitlán Edo. de Hgo En el periodo comprendido entre 1996-1997

NITRITOS

La concentración de nitritos en el lago presentó variaciones muy amplias, que fueron desde los 15 hasta los 4550 $\mu\text{g/l}$, presentando las concentraciones mas bajas durante los meses de octubre y noviembre y las mas altas en enero y abril (Fig. 10).

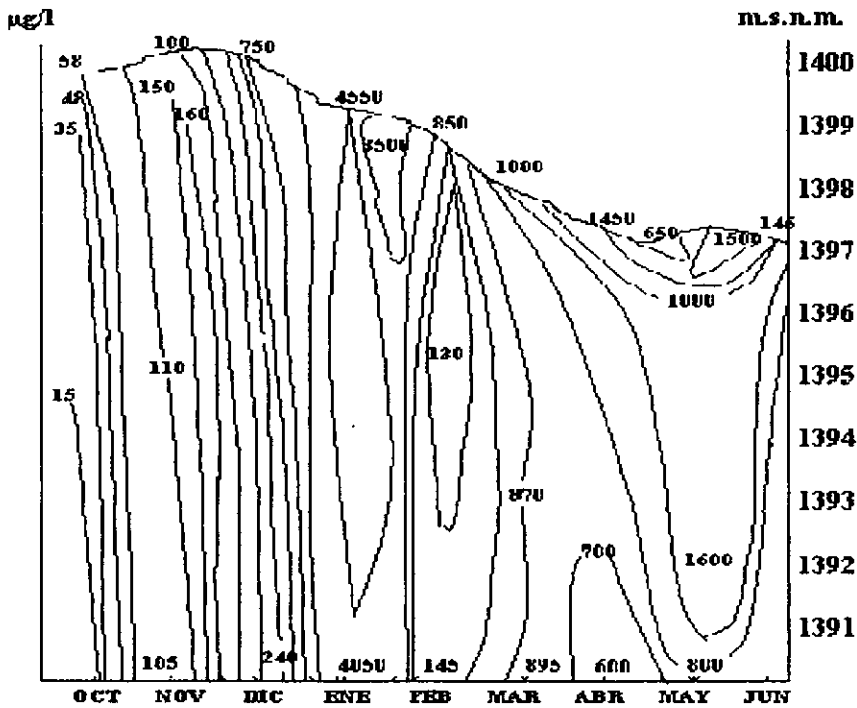


Fig. 10. Diagrama espacio-temporal de la concentración de nitritos en el lago de Metztlilán, Edo. de Hgo. En el periodo comprendido entre 1996-1997.

AMONIO

La concentración de amonio durante los muestreos presentaron homogeneidad a lo largo de la columna de agua, excepto para enero, febrero y mayo, presentando concentraciones que oscilaron entre 14 y 5880 $\mu\text{g/l}$ (Fig. 11).

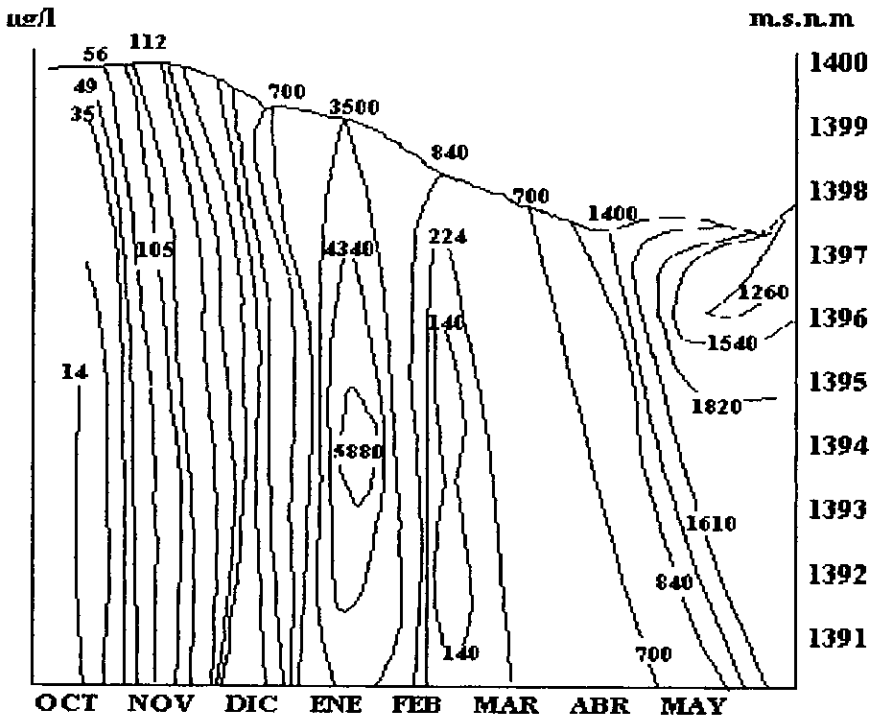


Fig.11 Digrama espacio-temporal para la concentración de amonio en el lago de Metztlán, Edo de Hgo. En el periodo comprendido entre 1996-1997.

ORTOFOSFATOS

Los ortofosfatos presentaron un gradiente en la concentración para los meses de noviembre, diciembre y junio, y homogeneidad para los meses restantes. Las concentraciones presentaron intervalos que van de 1.47 a los 17.05 $\mu\text{g/l}$ durante los meses de muestreo (Fig. 12).

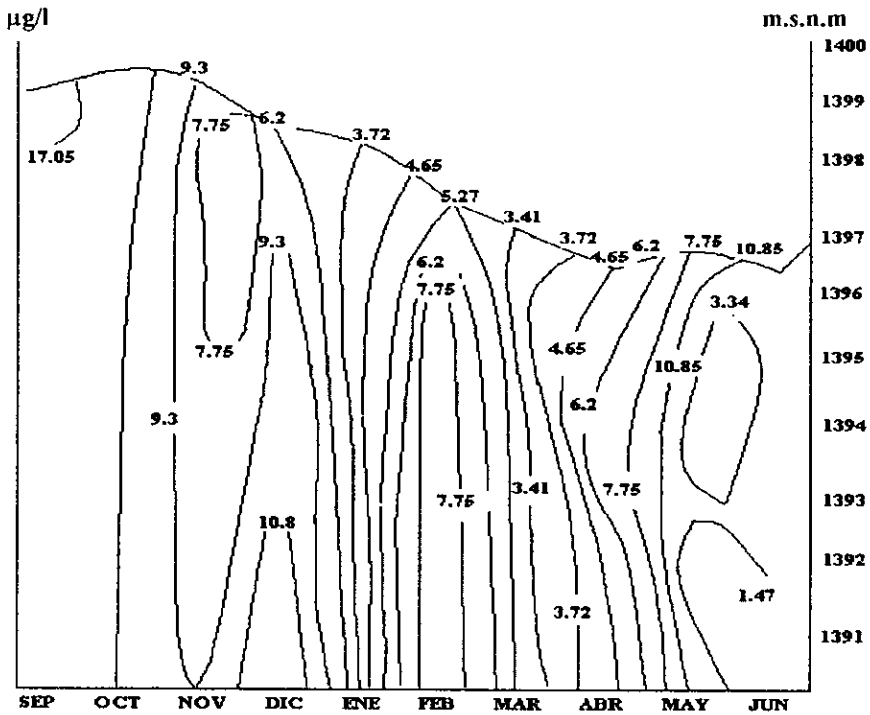


Fig.12. Diagrama espacio-temporal de la concentración de ortofosfatos en el lago de Metztlán Edo. Hgo. En el periodo comprendido entre 1996 a 1997

FÓSFORO TOTAL

El fósforo total definió un comportamiento general hacia un gradiente de concentración en la columna de agua, excepto para octubre y abril, meses en los que las concentraciones fluctuaron entre 4 $\mu\text{g/l}$ registrada en octubre y 55 $\mu\text{g/l}$ para abril (Fig. 13).

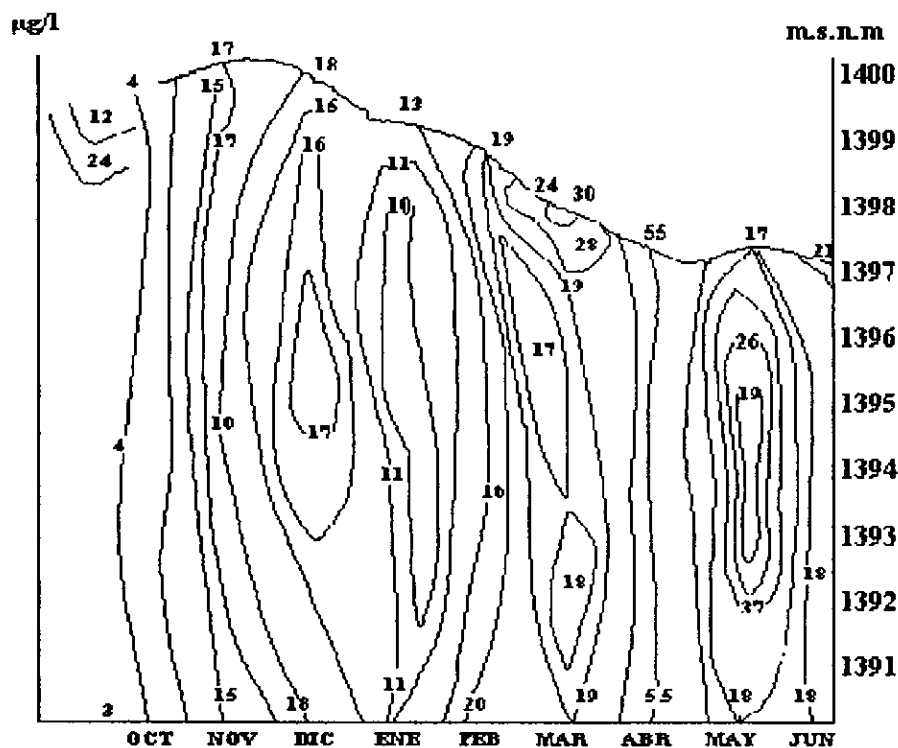


Fig.13. Diagrama espacio-temporal para la concentración de fósforo total en el lago de Metztlán, Edo. En el periodo entre 1996-1997.

COMPONENTE BIOLÓGICA

PRODUCTIVIDAD PRIMARIA

La productividad bruta del lago registró concentraciones entre 6500 y 1100 $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{día}$ mostrando un máximo para el mes de octubre y un decremento importante para los meses fríos de noviembre y diciembre, en tanto que para el periodo de enero a marzo, meses mas cálidos, se vio incrementada manteniendo concentraciones mas o menos constantes alrededor de los 5000 $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{día}$, sin embargo para abril y mayo nuevamente experimenta un decremento (Fig. 14).

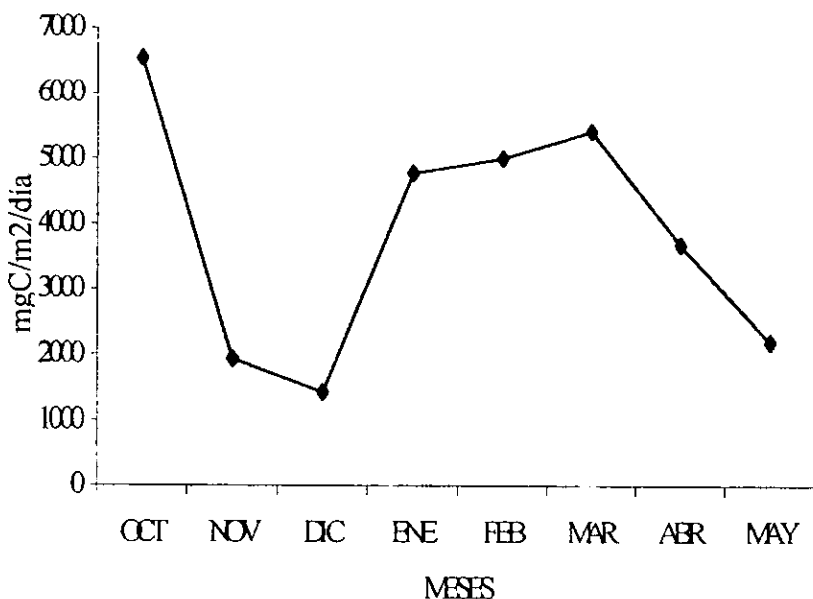


Fig.14. Variación temporal de la productividad primaria en el lago de Metztlán, Edo. de Hgo. En el periodo comprendido entre 1996-1997.

CLOROFILA "a"

Las concentraciones promedio de clorofila "a" en el lago oscilaron entre 2.9 y 15.5 $\mu\text{g/l}$, observando un decremento de octubre a diciembre registrando la mínima en este último, a partir de enero y durante los meses cálidos se presentó un incremento constante hasta llegar a un pico máximo en marzo, observándose en abril un abatimiento drástico.

Las concentraciones de clorofila "a" para los niveles superficie, zona eufótica y 1.5 m de profundidad, tuvieron un comportamiento similar, en la que se observó que a mayor profundidad menor concentración de pigmentos (Fig. 15).

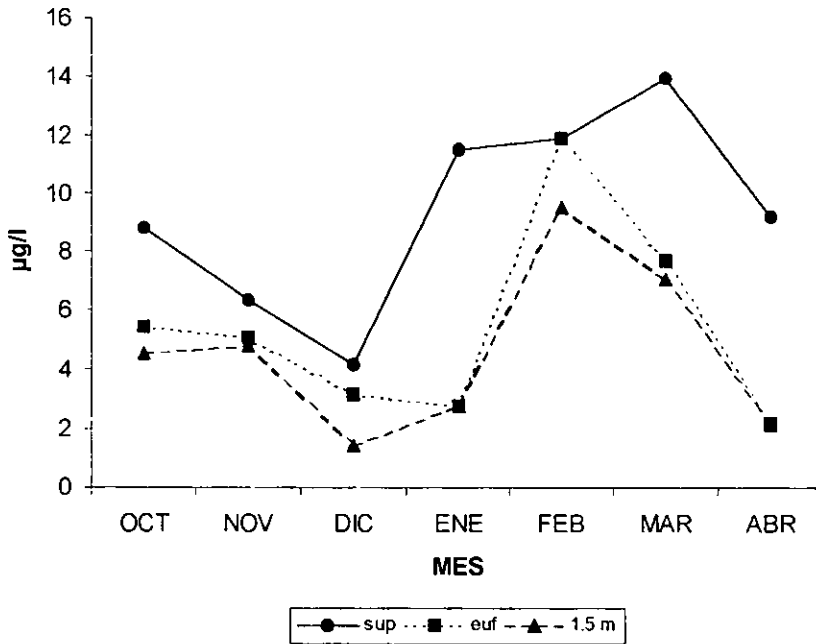


Fig.15. Concentración de clorofila "a" en el lago de Metztlitlán, Edo. de Hgo. a lo lagor del periodo 1996-1997

ZOOPLANCTON

El número total de organismos de zooplancton varió de 6, 600 a 16, 500 org/l, se observó que durante los meses de septiembre a enero se presentó una reducción paulatina del número de organismos por litro de 9, 500 a 6, 600, y un incremento notable en los meses cálidos. esta tendencia es en general para los tres grupos cladóceros, copépodos y rotíferos, sin embargo es más marcado para los cladóceros (Fig. 16).

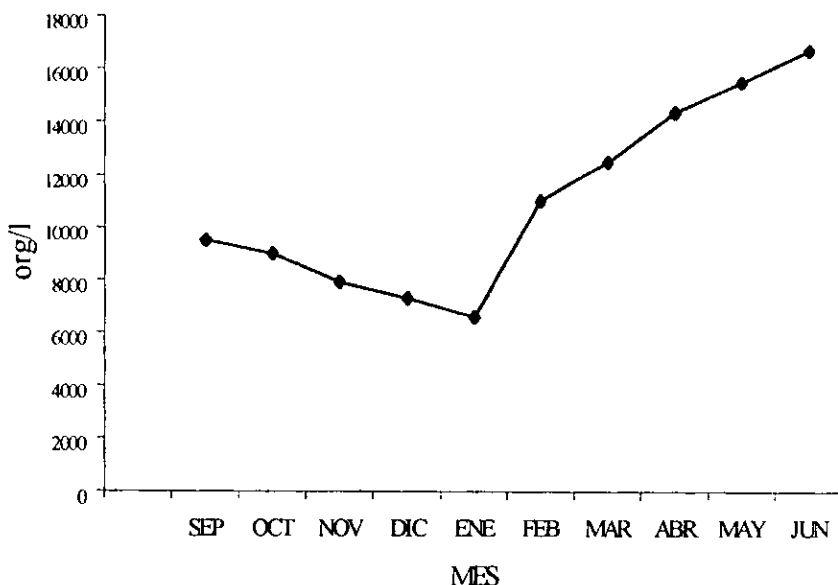


Fig. 16. Variación temporal del zooplancton en el lago de Metztlán, Edo. de Hgo. En el periodo comprendido entre 1996-1997

COPEPODOS

Los copépodos tuvieron una tendencia a disminuir su concentración durante los meses fríos, de tal modo que en los meses de noviembre y enero presentaron el número menor de organismos por litro, 4, 500 y 3, 500 respectivamente, por otro lado durante los meses cálidos no existieron grandes fluctuaciones que van de 5, 600 a 7, 000 org/l (Fig. 17).

CLADOCEROS.

En cuanto a los cladóceros presentaron diferencias marcadas en el periodo frío con respecto al cálido, teniendo incrementos paulatinos de diciembre a junio con densidades que de 1, 500 a 9, 500 org/l (Fig. 17).

ROTIFEROS

El número de rotíferos fluctuó alrededor de 500 org/l, mostrando reducciones en el periodo frío, incluso en el mes de enero no se registraron rotíferos en el lago, y durante los meses cálidos se incrementan hasta los 7000 org/l (Fig. 17).

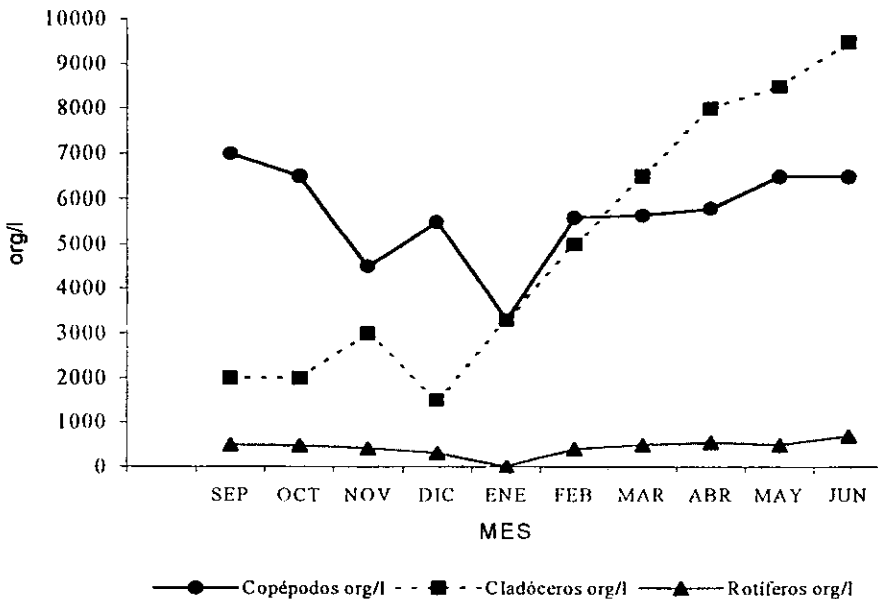


Fig. 17. Variación temporal de copépodos cladoceros y rotíferos en el lago de Metztlán, Edo de Hgo. En el periodo comprendido entre 1996-1997

CRECIMIENTO DE LOS PECES

RELACION PESO-LONGITUD.

La relación peso-longitud obtenida para la población de tilapia fue $W=0.0246 L^{3.0604}$; ($p<0.001$), $R^2=95.24\%$ de acuerdo con el valor de la pendiente igual a 3 ($t=1.375$, $p>0.05$), la población presentó un crecimiento de tipo isométrico (Fig. 18).

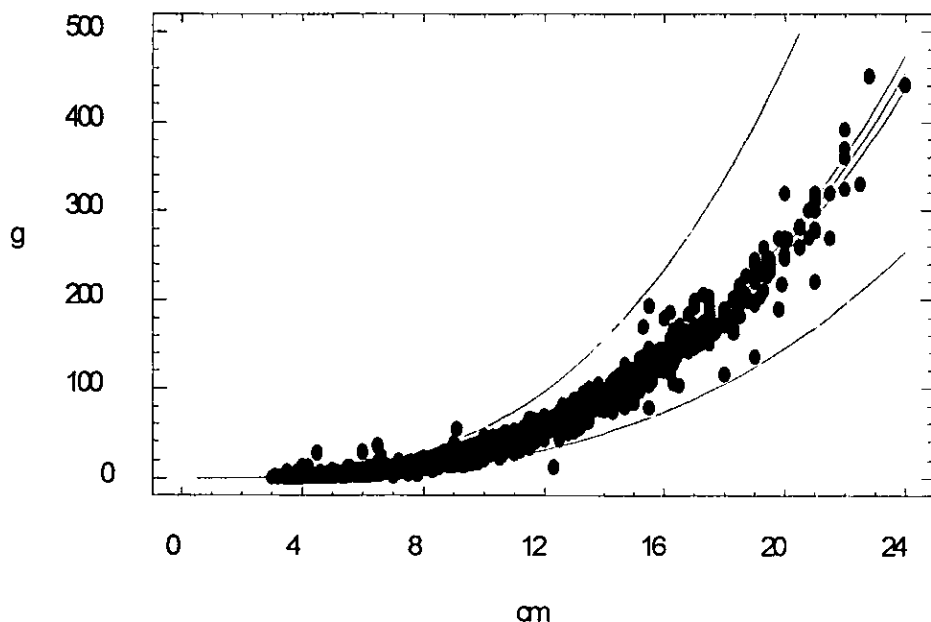


Fig.18. Relación peso-longitud para la población de tilapia *Oreochromis niloticus* bajo condiciones de cultivo intensivo en jaulas flotantes en el lago de Metztlán, Edo. de Hgo.

ECUACIONES DE CRECIMIENTO

LONGITUD

De acuerdo con el análisis de cajas múltiples con muesca para la cohorte de tilapia, se observó que de los meses de septiembre a octubre existen variaciones, mientras que de noviembre a febrero no se presentaron, y de este último mes a septiembre se definió un aumento marcado de un mes a otro. Para el crecimiento en longitud, se encontró que en general las cajas muestran una simetría de la distribución a través del tiempo, presentando algunos casos extraordinarios (Fig. 19)

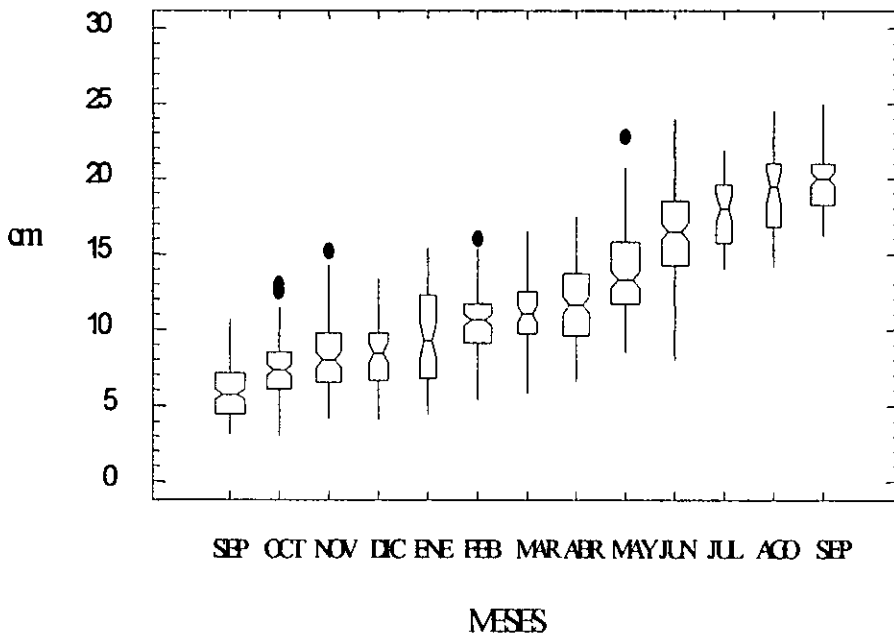
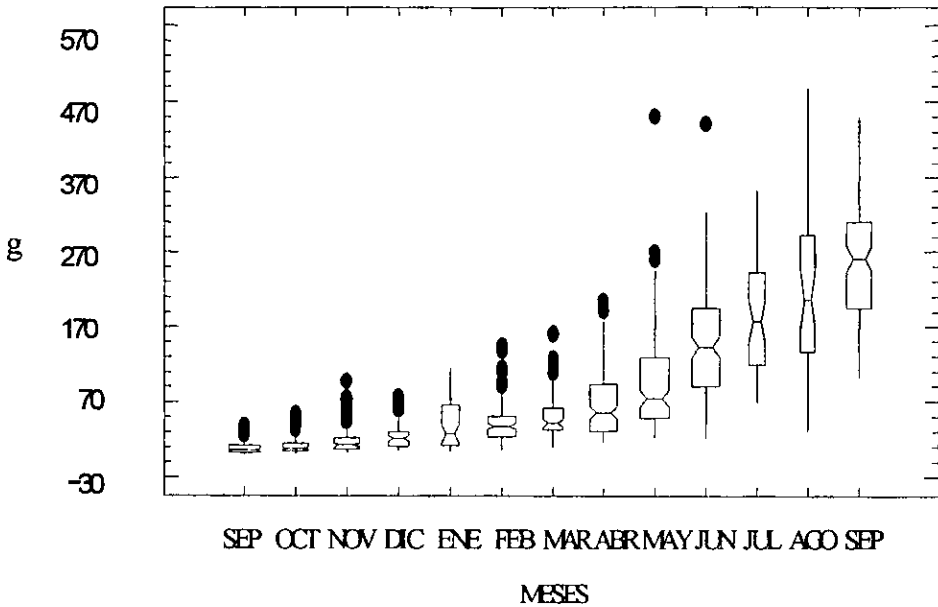


Fig.19. Diagrama de cajas múltiples para la longitud de la población de tilapia *Oreochromis niloticus* bajo condiciones de cultivo intensivo en jaulas flotantes en el lago de Metztlán, Edo de Hgo.

PESO

Para el peso hubo un comportamiento hacia una mayor dispersión de los datos para valores altos, incluso es notoria la presencia de casos extraordinarios para todos los muestreos, lo que reflejó una asimetría positiva en la distribución. El crecimiento en longitud y peso máximo registrados fueron de 25 cm y 460 g respectivamente, mientras los valores medios en la cosecha de 21.43 cm y 284.35 g en un intervalo de tiempo de 12 meses y con una talla de introducción promedio de 5.86 cm y 5.36 g, respectivamente (Figs. 19 y 20).



MODELO DE VON BERTALANFFY

La ecuación de Von Bertalanffy, se ajustó a un modelo de crecimiento oscilatorio estacional, expresado como $L_t = 30 \text{ cm} (1 - e^{-(0.928(t+0.15)+0.01120(t-0.0285)})$, con $R^2 = 0.99078$, para la longitud patrón, obteniendo un peso infinito de 814.56 g, a partir del valor de la longitud máxima, expresada en la relación peso-longitud (Fig.21).

Parámetros Estimados

Parámetro	Estimados	Error Estándar Asintótico
L_y	30.000	+2.389E+00
K	0.929	+1.434E-01
t_0	-0.150	+1.338E-02
C	0.770	+4.299E-02
WP	0.286	+6.113E-03

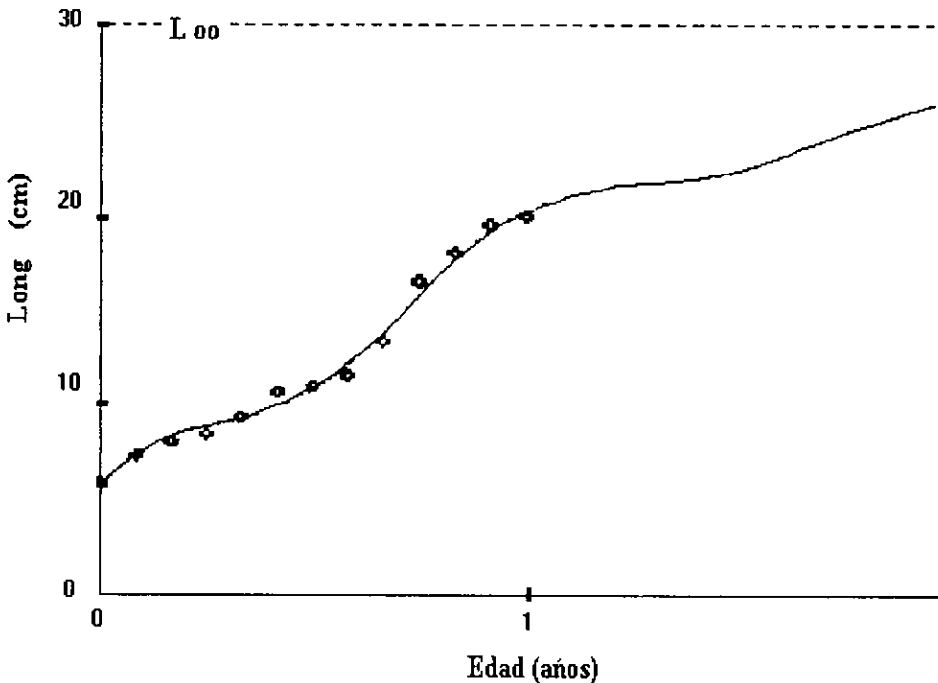


Fig.21. Ecuación de Von Bertalanffy para la longitud patrón de la población de tilapia *Oreochromis niloticus* bajo condiciones de cultivo intensivo en jaulas flotantes en el lago de Metztlán, Edo. de Hgo.

TASA INSTANTÁNEA DE CRECIMIENTO

La tasa instantánea de crecimiento tuvo un comportamiento fluctuante a lo largo del periodo de muestreo, presentando un valor máximo de 2.15 %/día en el mes noviembre y un mínimo para el mes de diciembre de 0.15%/día. El resto de los valores variaron entre 0.32 y 1.57 %/día , con una tendencia de disminuir a partir de enero y hasta agosto (Fig. 22).

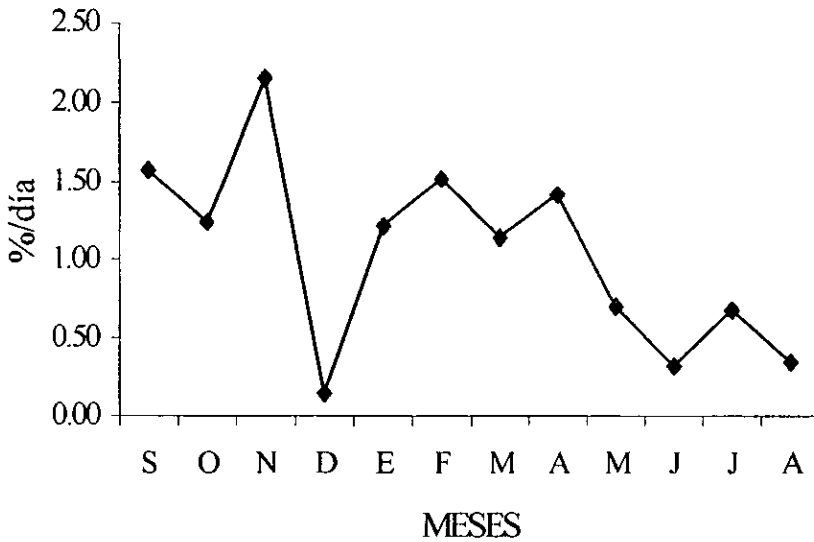


Fig.22. Tasa instantánea de crecimiento para la población de tilapia *Oreochromis niloticus* bajo condiciones de cultivo intensivo en jaulas flotantes en el lago de Metztlán, Edo. de Hgo.

FACTOR DE CONDICIÓN SIMPLE DE FULTON

El factor de condición simple fluctuó entre 0.18 y 0.41. Durante los primeros meses este factor presentó una tendencia general creciente con excepción de los meses de septiembre y diciembre con ligeros repuntes, posteriormente a partir del mes de febrero hubo un incremento consecutivo hasta alcanzar máximos durante abril y mayo de 0.35, con un decremento drástico a partir de junio hasta septiembre (Fig. 23).

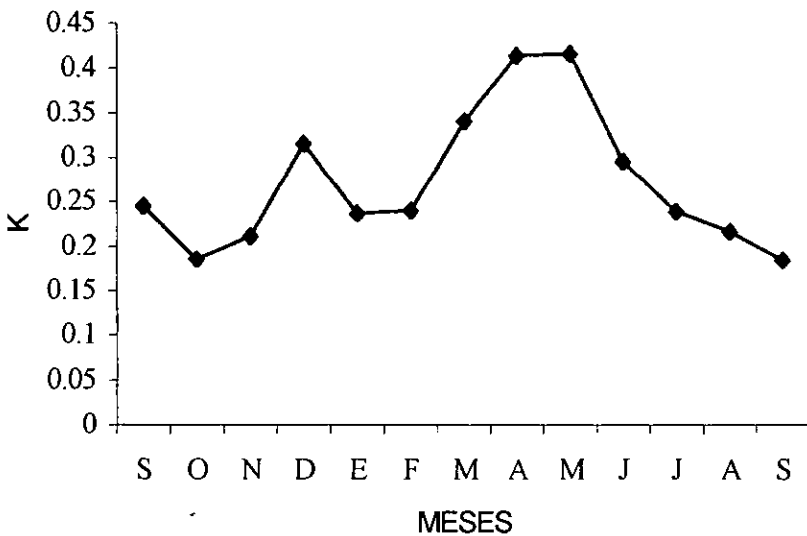


Fig.23. Factor de condición simple para la población de tilapia *Oreochromis niloticus* bajo condiciones de cultivo intensivo en jaulas flotantes en el lago de Metztlán, Edo. de Hgo.

FACTOR DE CONVERSIÓN ALIMENTICIA.

El factor de conversión alimenticia tuvo en general un comportamiento inverso con respecto a la tasa instantánea de crecimiento, mostrando que durante los primeros meses después de la siembra, se obtuvieron los índices mayores, 15.36 y 12.16 para octubre y noviembre respectivamente, y especialmente durante el mes de enero se dio un incremento hasta un valor de 37.46, cuyo periodo coincide con las temperaturas mas bajas registradas. A partir de febrero el factor de conversión alimenticio fluctuó entre 4.31 y 1.16 (Fig.24).

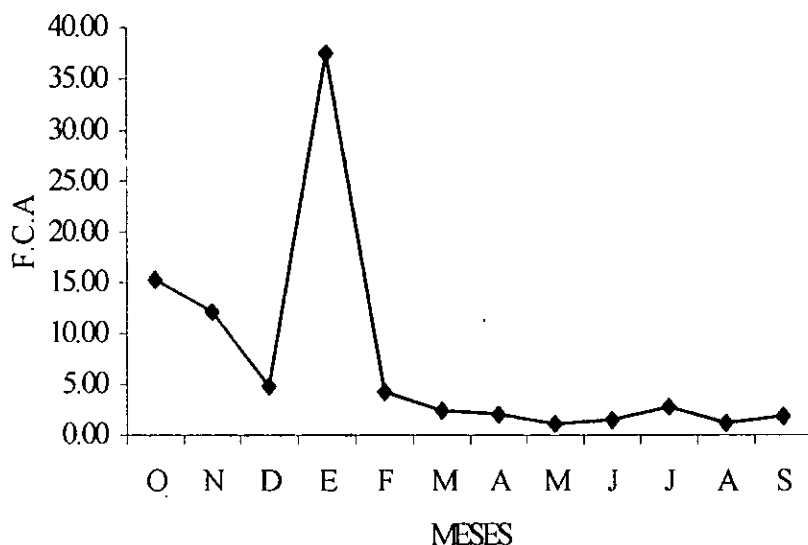


Fig. 24. Factor de conversión alimenticia para la población de tilapia *Oreochromis niloticus* bajo condiciones de cultivo intensivo en jaulas flotantes en el lago de Metztlán, Edo de Hgo.

EFICIENCIA DE LA CONVERSIÓN ALIMENTICIA

La eficiencia de la conversión registró valores que fueron de 2.67 a 86.5 con una tendencia general creciente a lo largo del periodo de muestreo, el mínimo correspondió al mes de diciembre y el máximo a abril (Fig.25).

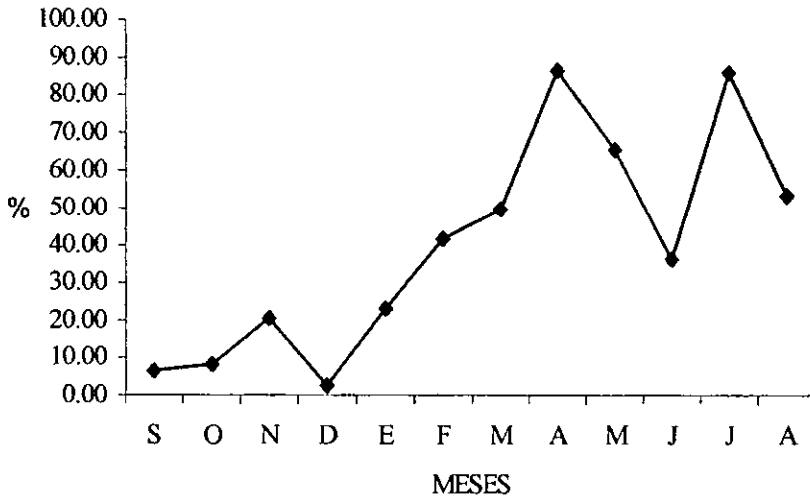


Fig.25. Eficiencia de conversión para la población de tilapia *Oreochromis niloticus* bajo condiciones de cultivo intensivo en jaulas flotante en lago de Metztlán, Edo. de Hgo.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS.

El lago de Metztlán es un sistema fluctuante, en cuanto a su volumen se asemeja más aun cuerpo de agua fluctuante, muy parecido a los llamados bordos o microembalses con la peculiaridad de encontrarse asociado con un entorno agrícola, en una cuenca endorreica, que ha ganado terreno, durante un proceso de varios siglos al espejo de agua (Ibáñez-Aguirre y García-Calderón, 2000), lo que lleva a esperar fuertes contrastes en la variación de la componente química, como sucede en la mayoría de sistemas acuáticos lacustres asociados a latitudes tropicales y subtropicales, en donde el periodo de lluvias y secas establece una diferencia importante en varios parámetros, entre ellos, el de los materiales disueltos, caracterizados por fases de dilución y concentración, que se acentúa para climas áridos y semiáridos (Hernández-Avilés *et al.* En revisión), como los que se encuentran en la región de estudio, donde las tasas de evaporación son altas y mayores que las de precipitación pluvial, con un consecuente déficit de agua a lo largo del año (Fig.2). Así, en éste lago se tuvieron siete meses de reducción del volumen, con un incremento de 385 mg/l de la dureza total entre los meses de máximo y mínimo volumen durante el periodo de muestreo (Fig.6). Sin embargo, esta diferencia se esperaría fuera aún mayor, de no ser por la existencia de un dique donde de manera permanente se evacua agua, junto con sus elementos disueltos y particulados, acentuada por el desnivel de más de 200 m entre el nivel actual del lago y los manantiales de Almolón aguas abajo, en un ambiente de caliza, que impiden que el proceso de concentración de materiales se exprese por la evaporación de la columna de agua. Esta circunstancia le da al lago de Metztlán la peculiaridad de no comportarse como un bordo típico en el que la fase de dilución y concentración de materiales disueltos en la columna de agua estén condicionadas, respectivamente, por la temporada de lluvias y secas (Ibáñez-Aguirre y García-Calderón, *opcit.*).

Las aguas del lago se tipifican en general como cálidas, al registrar un intervalo entre 23° y 29°C en primavera-verano, y de 22 a 17° C durante el otoño- invierno, dándole un cierto carácter templado durante los meses más fríos. Estas épocas del año definen dos periodos determinantes para los procesos biológicos, tales como la productividad primaria y la biomasa algal (Figs.14 y 15) y el crecimiento de las poblaciones icticas (Figs. 19, 20 y 21), donde se incrementan y reducen consecutivamente, asociados a sus tasas metabólicas tal como lo reportan Delince (1992) y Fontoura y Agostinho (1996).

El sistema es polimítico cálido continuo de acuerdo con el sistema de clasificación térmica propuesta por Lewis (1983), esto conlleva a una homogeneidad de las condiciones del agua dentro de un perfil vertical (Fig.3). Sin embargo, para la concentración de oxígeno se establecieron gradientes atenuados para febrero y abril a lo largo de la columna de agua (Fig.4), lo que refleja la influencia de los procesos productivos y respiratorios en el sistema, coincidiendo los máximos de oxígeno y de biomasa clorofílica (Fig.15), durante la primavera. Asimismo, en éste cuerpo acuático la concentración del oxígeno estuvo vinculada con las variaciones térmicas, de acuerdo con el principio de solubilidad de los gases citado en Cole (1988).

De forma opuesta al comportamiento del oxígeno disuelto, los parámetros relacionados con la componente edáfica: (pH, alcalinidad, durezas, conductividad y total de sólidos disueltos) no mostraron diferencias en la zona superficial como de fondo (Figs 5,6,7,8). Todos éstos parámetros siguieron una tendencia directa con las variaciones de nivel morfométrico (Fig.3). En función a las concentraciones de dureza total, mayores a 600 mg/l (Fig.6), las aguas del lago se tipifican como muy duras de acuerdo con la clasificación de Sawyer y McCarty (1967) citado por Boyd (1990), tendiendo éstas a ser poco productivas (Margalef, 1976). Además, dado que en el sistema, la dureza total fue mucho mayor que la alcalinidad entonces la dureza de carbonatos se equipara a esta última. Asimismo, el calcio y el magnesio estuvieron asociados a otros aniones, tales como sulfatos, cloruros, silicatos o nitratos más que con bicarbonatos y carbonatos de acuerdo con Boyd (op. cit). Esto resalta el hecho de que el tipo de rocas en la zona son lutitas, ricas en silicatos tal como reporta Cantú (1953). La dureza de calcio mostró concentraciones altas entre 400 y 800 mg/l, siendo las aguas de tipo cálcico, las cuales pueden tener un efecto negativo para la producción del sistema, al favorecer procesos de descalcificación epilimnética (Wetzel, 1981) o la precipitación de fósforo como fosfato tricálcico, sobre todo a pHs altos (Arredondo-Figueroa y Ponce-Palafox, 1998).

De acuerdo con el pH las aguas van de neutras a ligeramente alcalinas, lo que conlleva a las formas de tipo bicarbonatadas (Delince, 1992). La alcalinidad total registrada en el lago también fue alta, dando un indicio general de una buena producción, aunque en éste caso, la relación no es directa, sino que un incremento en la alcalinidad corresponde a aumentos en la disponibilidad de otros nutrimentos tal como lo señalan Arredondo-Figueroa y Ponce-Palafox (1998). En función de los niveles de conductividad menores de 486 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ubica a las aguas como del tipo I o muy diluidas según el sistema de clasificación de Talling y Talling (1965), empero en la cuenca del Lago de Metztlán el clima es árido o semi-árido, en donde los procesos de mineralización son elevados, favoreciendo altos rendimientos piscícolas, comparativamente con otras condiciones climáticas (Hernández-Avilés, 1999).

Análogamente los diagramas espacio-temporal de los nutrientes muestran isolíneas a lo largo de la columna de agua, su concentración en general es elevada, y no define una clara respuesta al proceso de concentración de materiales a través del tiempo (Figs. 9-13). Esto se atribuye al proceso de fertilización permanente dado por el empleo de alimentos balanceados, de los cuales una proporción importante se disuelve en el agua, además de los liberados por la excreción de los peces confinados en las jaulas flotantes, de acuerdo con lo citado por Flores (1990), dado que durante el periodo de estudio la unidad de producción estaba trabajando a su máxima capacidad, acentuado por la presencia en la cuenca de un sistema agrícola intensivo, que presenta cosechas durante todo el año, asimismo por la relación entre las dimensiones de la cuenca de drenaje y el lago que son de 639 a 1 (Ibáñez-Aguirre y García-Calderón, 2000), caracterizando las aguas de acuerdo con la concentración de estos nutrientes como eutróficas e incluso hipereutróficas en ciertos momentos del año.

El manejo intensivo del cultivo de tilapia en las jaulas flotantes implica la pérdida de una concentración importante de nutrientes, especialmente del fósforo total que se acumula hacia los sedimentos por efecto de la disolución del alimento que haya o no sido consumido, de las heces de los peces tanto del alimento no asimilado, como del utilizado que posteriormente se excreta, acumulándose en el fondo del sistema, al presentar el fósforo esta direccionalidad, sobre todo en condiciones óxicas. Así, se ha estimado que para *Oreochromis niloticus*, con un factor de conversión alimenticia (FCA) de 2.0-2.5:1, se adicionan al ambiente de 23 a 29 Kg de fósforo total por cada tonelada de peces producidos (Beveridge, 1987), que para el caso del cultivo en Metztlán pudo haberse superado drásticamente durante la época de otoño-invierno, al encontrarse FCAs atípicos entre 4.3-37.5:1. Asimismo, la fluctuación del nivel trófico del lago fue de una condición mesotrófica a eutrófica, de acuerdo con la clasificación de Auer *et. al.* (1986), al presentar concentraciones extremas de P de ortofosfatos de 3.52 a 17.6 $\mu\text{g/l}$ y P-Total de 17.06 a 99.54 $\mu\text{g/l}$, que definen los mismos niveles tróficos con una probabilidad entre 0.6 y 0.7 de acuerdo con Rast y Holland (1988).

En función de la concentración promedio de nitrógeno inorgánico total extremos entre 131.01 y 4563.47 $\mu\text{g/l}$, el lago fluctuó de una condición mesotrófica- eutrófica, e incluso rebasa el límite superior de 1500 $\mu\text{g/l}$ propuesto para esta última, según Vollenweider (1968) citado por Lind *et al.* (1993), tipificando en ciertos momentos al sistema como hipereutrófico. La marcada variabilidad en la concentración de los nutrientes puede atribuirse a las fluctuaciones de nivel, a los arrastres de terrigenos de la cuenca de drenaje principalmente en la época de precipitación pluvial, al lavado y acarreo de fertilizantes de la vega de cultivos y fundamentalmente a los procesos de dilución del alimento en mayor proporción en la forma de nitrógeno como lo reporte Folke y Kautsky (1989), así como de los desechos de la población de peces confinada a las jaulas.

PARAMETROS BIOLÓGICOS.

La concentración de clorofila "a" (Fig.15) también definió una caracterización de oligotrofia durante los meses fríos, que tiende a incrementarse hasta llegar a la mesotrofia y eutrofia durante el periodo cálido, de acuerdo con USEPA (1974), citado por Lind *et al*, (1993) o de mesotrófico a eutrófico para concentraciones medias según lo propuesto por Rast y Holland (1988).

La productividad primaria cuantificada en el lago, fluctuó entre 1100 y 6500 mgC/m²/día (Fig.14), ubicándolo dentro de la categoría de lagos tropicales (Rai y Hill, 1984) quedando la menor concentración cercana al límite superior de mesotrofia que es de 2000 mgC/m²/día, y superando la mayoría de los muestreos esta concentración, lo que le da un carácter de eutrófico al lago (Thorton, 1987). Noriega-Curtis (1979), reporta concentraciones que van de 1300 a 8500 mgC/m²/día, para cultivos de tilapia en estanques fertilizados, muy cercanos a los obtenidos en el presente estudio

Se infiere que la dinámica de las poblaciones fitoplanctónicas en el sistema estuvieron relacionadas con el aporte de nutrimentos y su eficiencia en el reciclaje tal como lo cita Moss (1988), las fluctuaciones de la temperatura del agua, y el efecto de la turbidez abiogénica por los aportes de terrigenos, como limitante de las tasas fotosintéticas, tal como se ha reportado para ambientes del altiplano mexicano (Lind, *et al* 1992). Así como un cierto nivel de depredación por parte del zooplancton y la población de tilapia en cultivo, la cual tiene una cierta preferencia por este tipo de alimentación, aunque sea menos efectiva dentro de las jaulas (Sylvain *et al.*, 1999).

En cuanto al zooplancton, el grupo más abundante fue el de los copépodos durante los meses de septiembre a febrero, mientras que de marzo a junio el mas abundante fue el de los cladóceros, de tal modo que los rotíferos presentaron la menor densidad durante todo el periodo de muestreo (Figs. 16-17). Los cuales mostraron una tendencia general similar al fitoplancton, como se puede apreciar a través de la curva de productividad y clorofila "a"(Figs.14-15), en donde hay un descenso de la densidad poblacional zooplanctónica durante los meses fríos y un incremento hacia la época cálida. Para el caso de los cladóceros, se encontraron picos de máxima y mínima densidad, que pudieran estar vinculados con pulsos atribuidos a la disponibilidad de alimento o al efecto de la depredación por los peces. La reducción en la densidad de los otros dos grupos zooplanctónicos durante los meses fríos pueden responder a los periodos de latencia asociados a condiciones poco favorables por efecto del descenso de la temperatura, disparando la reproducción en los meses cálidos, donde además la producción primaria se incrementa. Cabe destacar, que en ambientes donde predominan los cladóceros, sin presentar una clara asincronía de grupos, es un indicador general de condiciones eutróficas (Almazan y Boyd, 1978).

CRECIMIENTO

El intervalo de temperatura reportado para el crecimiento de la tilapia fluctúa entre 20 y 30°C, la mayor parte de las tilapias no se alimentan y por lo tanto no crecen a temperaturas inferiores a los 15°C, en tanto que su reproducción sólo se efectúa a temperaturas superiores a los 20°C, teniendo como rango óptimo 26 a 29°C (Aguilera y Noriega, 1988). Dentro del lago de Metztlán el crecimiento estuvo directamente influenciado por la variación de la temperatura del agua, así para los meses de noviembre a febrero en que no se encontraron diferencias significativas en el crecimiento en longitud y peso respondieron a un decremento de la temperatura del agua entre 20 y 17°C. Con el inicio de la primavera esta se incrementó de 24 °C hasta alcanzar un máximo de 29 °C, lo que conllevó a un incremento consecutivo y gradual en el crecimiento de la especie. De hecho, el crecimiento en longitud se ajustó al modelo oscilatorio estacional de Von Bertalanffy $L_t = 30 \text{ cm} (1 - e^{-(0.928(-0.15) + 0.01120(-0.0285)t)})$. (Fig.21), típico de aguas subtropicales, el cual es rápido durante el verano cuando las temperaturas son máximas, y disminuye drásticamente durante el invierno cuando las temperaturas son mínimas, el crecimiento oscilatorio rugoso sigue una onda curva senoide para un periodo anual, de acuerdo con Pauly (1984). Dentro de la ecuación la amplitud de la oscilación del crecimiento C fue igual a 0.77, lo que implicó una reducción de la tasa de crecimiento durante el invierno, sin que la derivada de la longitud con respecto a la derivada del tiempo nunca fuera cero.

La observación en la asimetría de la distribución de los valores mensuales en peso, puede atribuirse a una competencia intraespecífica por el alimento (Begon *et al*, 1990), resultado de un suministro inadecuado del mismo, además del proceso de maduración gonádica de los peces (Lagler, 1973).

La dureza y la alcalinidad del agua afectan directamente el metabolismo de los organismos reduciendo la producción de tilapia, así una alcalinidad superior a 175 mg/l CaCO_3/l resulta perjudicial, debido a las formaciones calcáreas que se producen y que afectan tanto a la producción del sistema como a los peces al dañar sus branquias (Aguilera y Noriega, 1988). En las aguas del sistema se registraron valores superiores al rango óptimo de alcalinidad durante los meses fríos, lo que pudo atenuar aún más el crecimiento de la especie en ese periodo (Fig.6).

FACTOR DE CONDICIÓN

Los valores de condición fluctuantes durante los primeros meses se asocian a la reducción de la temperatura del agua a mediados del otoño y durante el invierno lo que implicó que los peces utilizaran los recursos alimentarios, más para el mantenimiento metabólico de la especie que para el crecimiento. De febrero a abril la condición se incrementó hasta un máximo que se extendió a mayo, lo que se debió a la conjunción del aumento de la temperatura y el crecimiento de la especie (Helver, 1972).

TASA INSTANTÁNEA DE CRECIMIENTO (TIC)

Como consecuencia lógica del crecimiento de los peces en sus fases tempranas de desarrollo (cría-juvenil), estos presentaron la mayor tasa instantánea durante los tres primeros meses, tendiendo a reducirse consecutivamente a través del periodo de estudio para la etapa de juvenil a adulto. A pesar de esto, en el mes de enero se registró el valor mínimo, debido al efecto de la reducción de la temperatura en el invierno, acentuándose en este mes (Fig. 22) con un registro mínimo de 17°C (Fig. 3). En los meses subsiguientes se encontró un comportamiento fluctuante, siguiendo una dinámica regulada principalmente por las variaciones de temperatura tal como lo reporta (Priede y Secombes, 1988), que al aumentar durante los periodos cálidos favoreció tasas de crecimiento mayores, aunado a esto, hubo una disponibilidad de recursos alimentarios adicionales suministrados por el medio, tal como se define para la productividad primaria y zooplancton (Figs. 14 y 16).

Rosas *et al* (1984) observó, en un cultivo de tilapia en jaulas flotantes, que el desarrollo de los peces no se ve afectado a diferentes densidades (50 org./m³, 100 org./m³ y 150 org./m³), donde conservan una tasa de crecimiento de aproximadamente 0.46 g/día. Si la comparamos con los resultados que se obtuvieron en el presente estudio esta tasa de crecimiento fue mayor durante los meses cálidos, (entre 1 y 1.5 g/día), a una densidad inicial de 34 org./m³, de esto se puede inferir que fácilmente se podría aumentar la densidad en el sistema sin tener repercusiones en la tasa de crecimiento.

FACTOR DE CONVERSIÓN ALIMENTICIA (FCA)

La relación general inversa encontrada entre la tasa instantánea de crecimiento (TIC) y el factor de conversión alimenticia (FCA) estuvo presente a lo largo del periodo de cultivo (Figs. 22 y 24), lo que coincide con lo establecido en la literatura (Priede y Secombes, 1988). Como ya se mencionó, las TICs más altas se registraron durante los primeros muestreos, como resultado de un mayor desarrollo de la especie en sus fases tempranas de crecimiento.

El máximo FCA registrado de 37.46, correspondió al mínimo de TIC de 0.15 g/día en enero, debido a que el alimento suministrado fue empleado principalmente para el mantenimiento metabólico de la población más que para el crecimiento, durante este mes de mínima temperatura en la columna de agua, lo que se reflejó en que los peces no aumentaron de peso, esto es acorde con lo propuesto por Pauly (1984), sin embargo pudo ser también que el alimento no haya sido utilizado totalmente por los peces y que se perdiera en el sistema sin ser consumido.

En el cultivo de tilapia, el factor de conversión alimenticia generalmente fluctúa de 2 a 2.5 de acuerdo con Beveridge (1987) y hasta 3.5 según (Shepherd y Bromage 1992). En algunos muestreos los FCA fueron mucho mayores a los reportados por estos autores, donde a pesar de existir un aparente excedente por la ración alimenticia suministrada a la población en los primeros meses de cultivo (10-24%), hubo una competencia interespecifica por la presencia de un godeido que se introducía en las jaulas a través de la abertura de malla afectando la densidad de carga original y teniendo un impacto negativo sobre todo para la etapa de cría de tilapia, al tener ambas especies tallas similares. Acentuado por desperdicio de alimento en las etapas de crías (Guerrero, 1979), así como, el efecto de la reducción del crecimiento por la disminución de la temperatura del agua durante el invierno. Mientras, para los meses cálidos los FCA se redujeron de manera importante, incluso menor a 2, lo que se atribuye al consumo de recursos alimenticios complementarios proporcionados por el lago, como resultado del incremento de la producción natural del sistema, cuantificada a través de la clorofila "a" y zooplancton (Figs. 15-16).

Yang *et al*, (1996), obtuvieron un promedio de 1.45 de factor de conversión alimenticio en cultivos de *Oreochromis niloticus* en jaulas flotantes con densidades de 30-50 org./m³ a base de alimento con 30% de proteína, en raciones entre 2-3.5% de peso del cuerpo por día. De lo que se infiere que la ración en porcentaje por día es determinante para conseguir una buena conversión alimenticia.

EFICIENCIA DE LA CONVERSIÓN

La eficiencia de los organismos del cultivo presentó una amplia fluctuación de 2.67 a 86.5%, que sale del intervalo reportado para la especie de 28.5 a 40% por Beveridge (1987) y Shepherd y Bromage (1992), lo cual se puede explicar de acuerdo a un excedente en la ración establecida por los piscicultores de la zona, mayor al 10% durante los primeros tres meses del cultivo. Asimismo, aunque en la etapa juvenil y adulta de los peces se suministró la misma cantidad de alimento (8 Kgs diarios, con un contenido de 36.5% de proteína), la ración disminuyó consecutivamente con su crecimiento, lo que redundó en una mejor eficiencia, favorecida a su vez por el incremento de recursos alimenticios complementarios disponibles en el medio durante la fase adulta de los organismos, que coincide con los meses cálidos.

Así, se observó que cuando la ración fue mayor en las primeras etapas de crecimiento, la eficiencia fue muy pequeña, sin embargo a medida que la ración disminuyó ésta se incrementó, de donde se concluye que hubo un excedente de alimento en las primeras fases de desarrollo de los peces y que los óptimos se encontraron durante los últimos meses de muestreo, que corresponden con raciones inferiores al 2%; Godínez (1981), recomienda aplicar en el cultivo de tilapia en jaulas flotantes el 4% en el primer mes y 3% a partir del segundo, con alimentos que incluyen proteína entre el 12 y el 50%. Siddiqui *et al.* (1988) indican que la mejor dieta para *Oreochromis niloticus* en la etapa de crías es 40% de proteína y de 5-6 % de porcentaje del peso por día, mientras que en la fase adulta 30% de proteína en tasas de 3% de porcentaje del peso por día; en tanto que McGinty (1991) sugiere alimento pelletizado con 32% de proteína, con decrementos graduales de 3.5% a 1.3% a lo largo del cultivo. Por lo tanto, se infiere, que la fuente nutrimental principal para esta especie deriva de los recursos autóctonos del lago, tanto de productores primarios y secundarios para la época cálida. Así durante la fase juvenil y adulta de los organismos se podrían aprovechar los florecimientos de zooplancton y fitoplancton para establecer un manejo en cuanto a la ración proporcionada en diferentes épocas del año como se sugiere en Beveridge (1987), para especies zooplanctófagas.

RENDIMIENTO PISCÍCOLA

El rendimiento piscícola de *Oreochromis niloticus* fue de 6.48 Kg/m³/año, se puede considerar en general alto, si se compara con lo reportado por Beveridge (1987), para lagos tropicales, donde la producción de tilapia fluctúa de 0.6 a 8.76 Kg/m³/año, para cultivos con diferente intensidad, densidad y talla de siembra (Cuadro 1). Destaca el hecho, de que en el lago Metztitlán el peso de introducción de los peces fue de 5.36 g, con una densidad de carga en la jaula flotante de 34 org/m³, mayor a la citada para los sistemas Filipinos. Asimismo, el peso promedio de la especie al momento de la cosecha fue cercano a 285 g, a diferencia de los otros cuerpos de agua donde ésta se obtiene a intervalos de tiempo menor, a excepción de Los Banos (LDB), donde se registraron pesos mayores a 2 Kg, en un periodo de 10 meses, pero con una densidad muy baja y un peso de introducción mayor, encontrándose como consecuencia una baja producción (Cuadro 1). Cabe señalar que se tienen registros de los rendimientos de tilapia por captura en el lago de Metztitlán durante el periodo comprendido entre 1990 y 1998 que oscilan entre 0.080 y 0.940 toneladas por hectárea a causa de un manejo inadecuado principalmente por sobrepesca (Cuadro 2). En estudios realizados en la pesquería del lago de Metztitlán se encontró que las poblaciones de peces no experimentan crecimiento durante los meses fríos, correspondientes a los meses de noviembre a marzo, mientras que a partir del mes de abril el crecimiento se incrementa (Ibañez-Aguirre y García-Calderón, 2000), lo que implica que las bajas temperaturas afectan la producción de peces de todo el lago durante la época fría incluyendo tanto las pesquerías como el cultivo intensivo llevado a cabo en las jaulas flotantes.

De estas comparaciones y de la dinámica limnológica propia del sistema, se deduce que tanto el crecimiento como los rendimientos en la unidad de producción piscícola en el lago de Metztitlán, pueden incrementarse si se siembran los peces en primavera, para evitar la época fría durante las primeras fases de desarrollo, se aumenta la talla de introducción y se realiza una selección consecutiva por tallas en el caso de ser necesaria, cuando se presente una asimetría en el crecimiento.

Cuadro 1. Resumen de la producción de tilapia *Oreochromis niloticus* en lagos de Filipinas, (Beveridge, 1987).

LAGO	DENSIDAD m ³	ALIMENTACIÓN N	TAMAÑO DE COSECHA g	PRODUCCIÓN Kg/m ³ mes	REFERENCIA
Bunot	4	S/ alimentación	250	0.24	Alvarez, 1981
Laguna de Bay	4-8	S/ alimentación	100	0.07-.018	Mane, 1979
Laguna de Bay	10-16	Varios alimentos	100	0.18-0.36	Mane, 1979
Pillila,LD B	20	1:1 wheatmeal broiler feed	100-125	0.73	Lampa, 1981
Los Banos LDB	4.3	Rice bran y otros alimentos	2,112	0.05	Aragon et al, 1985
Binangonan, LDB	6.8	Alimento limitado	118	0.12	Lazaga y Roa, 1985
Cardona LDB	7.4	Alimento limitado	119	0.14	Lazaga y Roa, 1985
Sampaloc	1.6-2.6	S/ alimentación	225-300	0.05-0.08	Guerrero, 1985
Buluan	10	S/ alimentación	200	0.40	Oliva, 1985

Cuadro 2. Rendimientos anuales por captura de tilapia en el lago de Metztlán Edo. De Hidalgo, en el periodo de 1990-1998, (Ibañez-Aguirre y García-Calderón, 2000).

Año	Captura (toneladas)	Rendimiento (Tons./Ha)
1990	228.744	0.432
1991	498.27	0.940
1992	434.262	0.812
1993	214.27	0.404
1994	74.986	0.141
1995	42.471	0.080
1996	243.295	0.459
1997	279.625	0.528
1998	85.101	0.161

CONCLUSIONES

- El lago de Metztlán es un cuerpo de agua fluctuante con respecto al volumen, cuya componente química no se rige por los procesos de dilución y concentración acentuados para climas áridos.
- El sistema se tipifica como polimíctico cálido continuo.
- En función de las concentraciones de la dureza total, las aguas se caracterizan por ser muy duras, y dado que esta es mucho mayor a la alcalinidad, la dureza de carbonatos es igual a la alcalinidad, además de que el calcio y el magnesio están asociados a otros aniones, tales como sulfatos, cloruros, silicatos o nitratos mas que con bicarbonatos y carbonatos.
- Según la concentración de la dureza al calcio se define a las aguas de tipo cálcico, que favorecen la descalcificación epilimnética y la precipitación de fósforo como fósforo tricálcico.
- Las aguas van de neutras a ligeramente alcalinas de acuerdo al pH, en donde predominan las aguas bicarbonatadas.
- En términos de la concentración de nutrimentos, las aguas se caracterizan como eutróficas e hipereutróficas.
- La biomasa fitoplanctónica expresada como clorofila "a", la productividad primaria y los grupos predominantes de zooplancton definen en general condiciones eutróficas de las aguas.
- El crecimiento de los peces en las jaulas flotantes fue de tipo isométrico $b = 3.0604$.
- El crecimiento para la longitud patrón se ajustó al modelo oscilatorio estacional de Von Bertalanffy $L_t = 30 \text{ cm} (1 - e^{-(0.928(t+0.15)+0.0112(t-0.0285)})$.
- La población mostró una tasa instantánea decreciente, un factor de condición y conversión alimenticia fluctuantes a través del tiempo, lo que se asoció con el manejo de la población en cuanto a la densidad y ración alimenticia, la variación estacional, la temperatura y la producción natural del sistema.
- En la cosecha los peces presentaron una longitud de 21.43 cm con máximos de 25 cm y un peso promedio de 284.35 g con un máximo de 460 g en un periodo de un año.
- El rendimiento piscícola fue de 6.48 kg/m³/año que correspondió a 467 kg en 72 m³.

RECOMENDACIONES

- Sembrar los organismos al inicio de la primavera con la finalidad de evitar los meses de mínima temperatura en el sistema.
- Dar la ración de alimento en función de las tasas de crecimiento y de la dinámica trófica del sistema lacustre, tendiente a la optimización de la conversión alimenticia.
- Hacer un manejo de la población por selección y distribución de tallas a través del tiempo.

LITERATURA CITADA

- Almazan, G. y C.E. Boyd., 1978. Plankton production and Tilapia yield in ponds. *Aquaculture*, 15: 75-77.
- Aguilera, H.P. y C.P. Noriega., 1988. La Tilapia y su Cultivo. FONDEPESCA, México. 59 pp.
- Alvarez, P. A.M., Cassiano G. y K. A. Villa., 1998. La Explotación del maguey pulquero en la zona de Metztlán: datos etnográficos y arqueológicos. Escuela Nacional de Antropología e Historia. *Dimensión Antropológica*, 5(13): 7-30.
- 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 animales acuáticas de importancia nutricional en México. *Biótica*. 8 (2): 175-199.
- Arredondo-Figueroa, J.L. y M. Guzman-Arroyo. 1985. Actual situación taxonómica de las especies de la tribu Tilapiini (Pisces: Cichlidae) introducidas en México. *An. Inst. Biol. UNAM. Ser. Zool.* 56(2): 555-572.
- Arredondo-Figueroa, J.L. y M. Tejeda-Salinas. 1989. El hueso faringeo, una estructura útil para la identificación de la tribu tilapiini (Pisces: Cichlidae) introducidas en México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM. 16(1): 59-68.
- Arredondo-Figueroa, J.L. y S.D. Lozano-Gracia. 1996. Primer curso Internacional de Producción de Tilapia. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UAM, SEMARNAP.
- Arredondo-Figueroa, J.L. y J. Ponce-Palafox. 1998. Calidad del agua en acuicultura. Conceptos y aplicaciones. AGT. Editor, S.A. 222 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.
- Begon, M. J.L. Harper, C.R. Rownsend. 1990. Ecología. Ediciones Omega, Barcelona. 941 pp.
- Beveridge, M. C. M. 1987. Cage aquaculture. Fishing News Books. Blackwell Scientific Publication Ltd. Oxford. 351 pp.

- Boyd, C. E. 1990. Water quality in ponds for aquaculture. Auburn University. Alabama. 482 pp.
- Cabrera, J.J. y J.L. García C. 1984. El estado de la acuicultura en México al término de 1982. En. M. Pardini Fernando-Criado (editor): Informes Nacionales sobre el Desarrollo de la Acuicultura en América Latina. FAO Informe de Pesca No. 294, Suplemento, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia.
- Cantú T.S. 1953. La Vega de Metztlán en el estado de Hidalgo. Tesis maestría en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Departamento de Geografía UNAM, México. 279pp.
- 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.
- Cole, G. A. 1988. Manual de Limnología. Hemisferio Sur S.A. Montevideo. 389 pp.
- Contreras E. F. 1994. Manual de Técnicas Hidrobiológicas. Editorial Trillas. México. 141 pp.
- Coche, A.G. 1982. Cage Culture of Tilapias. In Biology and Culture of tilapias, edited by R.S.W. Pullin and R.H. Lowe-McConnell-ICLARM. *Conf. Proc.* (7): 205-246.
- Delince, G. 1992. The ecology of the fish pond ecosystem. With special reference to Africa. Kluwer Academic publishers. Dordrecht. 230 pp.
- Díaz, M.E. 1991. Piscicultura. *Anales-Sociedad Rural Argentina*. Buenos Aires 124(1-3): 68-71.
- Everhart, W. H. y W. D. Youngs, 1989. Principles of fishery science. Comstock Publishing Associates, New York. 349 pp.
- FAO, 1997. Fisheries management of small water bodies in seven countries in Africa, Asia and Latin America, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, FAO Fisheries Circular No. 933, Rome. 149 pp.
- Flores, N.A. 1990. Breves consideraciones sobre el impacto ambiental de la piscicultura en jaulas flotantes. *Universidad y Ciencia*. 7(14): 31-37.
- Folke, C. y N. Kautsky. 1989. The role of ecosystems for a sustainable development of aquaculture. *Ambio* 18(4): 234-243.

Fontoura. y N. F., A.A. Agostinho. 1996. Growth with seasonally varying temperatures an expansion of the Von Bertalanffy Growth model. *Journal of Biology*. 48: 569-584.

Gayanilo Jr, F.C., P. Sparre y D. Pauly. 1993. The FiSAT User's Guide. FAO. Rome. 71pp.

Godínez G.J.F. 1981. Manual para el cultivo de peces en jaulas flotantes en reservorios naturales y artificiales. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Recursos Pesqueros División de Fomento. San Salvador. 24 pp.

Guerrero R.D., 1979. Studies on the feeding of *tilapia nilotica* in floating cages. *Aquaculture*:20: 169-175.

Hernández-Avilés, J.S. y J.L. García-Calderón. 1990. La acuicultura, hacia el manejo integrado de los recursos. 15-37. En: De la Lanza, G y J. Arredondo-Figueroa (Comps.). La acuicultura en México, de los conceptos a la producción, UNAM. México. 316 pp

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

Hernández-Avilés, J.S.1999. Limnología de pequeños embalses en el Estado de Tlaxcala. Tesis Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. México.102pp.

Hernández-Avilés, J.S., J.L. García-Calderón y G. De la Lanza-Espino. Climate based organization of small water bodies into limnological regions in México. En revisión.

Ibañez-Aguirre. A.L. y J.L. García-Calderón. 2000. Metztlán: Limnología y análisis de una pesquería derivada de la acuicultura.57-66. En: Memorias, IV Reunión Nacional de Redes de Investigación en Acuacultura. Instituto Nacional de Pesca. Cuernavaca, 308 pp.

INEGI, 1988. Cartas topográficas, edafológicas, de clima y uso de suelo (F14D61).Escala 1: 50, 000. Secretaría de Programación y Presupuesto. México.

Kuri-Nivón, E., 1980. Instructivo para la determinación del factor de conversión alimenticia (F.C.A). Manuales técnicos de acuicultura. Dpto. de Pesca, México. (1):22-34.

Lagler K.F. 1973. Freshwater fishery biology. Second edition. W.M. C. Brown Company Publisher. Iowa. Pp. 421.

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

Laird y Needham, 1988. Salmon trout farming. Departament of Zoology, University of Aberdeen, 271 pp.

- Lind O.T, 1992. Lago de Chapala: factores que controlan la producción de fitoplancton. Escuela de Biología, Universidad Autónoma de Guadalajara, pag.17-29.
- Lind, O.T., T.T. Terrell, y B.L.Kimmel. 1993. Problems in reservoir trophic-state classification and implications for reservoir management. Department of Biology, Baylor University, Waco, Texas,pag. 57-67.
- Marques de C.M.J. 1990. Probabilidad y Estadística para Ciencias Químico-Biológicas. McGraw-Hill. México. 657pp.
- McGinty A.S., 1991. Tilapia Production in Cages: Effects of cages size and number of noncaged fish. *The Progressive Fish- Culturist* 53: 246-249.
- Morales, D. A. 1974. El cultivo de la Tilapia en México. Datos biológicos. Instituto Nacional de Pesca. INP, México, D.F. 25 pp
- Morales D. A.1991. La tilapia en México, biología cultivo y pesquería, AGT Editor, México, 190pp.
- Moss, B. 1988. Ecology of freshwater: man and medium. Blackwell Scientific. Oxford. 417 pp.
- Noriega-Curtis P. 1979. Primary productivity and related fish yield in intensely manured fishponds, *Aquaculture*, 17: 335-344.
- Pauly, D. 1983. Fish population dynamics in tropical waters. A manual for use with programmable calculators. International Center for Living Aquaculture Resources Management ICLARM. Studies and reviews. Manila: 29-41
- Priede, I.G. y C.D. Secombes. 1988. The biology of fish production. En Laird y Needham,(editors). Salmon trout farming. Department of Zoology, University of Aberdeen, 271 pp.
- Pullin. R .S.V., y Z. Yaron. 1983. Choice of tilapia species for aquaculture in fisheries. Proceeding of the first international Symposium on tilapia in aquaculture. Tel Aviv, University, Tel Aviv. Israel.
- Ramirez R., y L. Sevilla. 1996. Primer curso Internacional de Producción de Tilapia. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UAM, SEMARNAP. México.
- Ramirez. M. C. y R. V.,Sanchez. 2000. Acuacultura Rural. 11-18. Memorias. IV Reunión Nacional de Redes de Investigación en Acuacultura. Instituto Nacional de Pesca. Cuernavaca. 308 pp.

- Rast, W. y M. Holland. 1988. Eutrofication of lakes and reservoirs: A framework for making management Decisions. *Ambio* 17:2-12.
- Rosas C., M. Serrano y F. Moedano. 1984. Crecimiento de híbridos de tilapia en jaulas flotantes en una unidad de producción. *Revista Latinoamericana de Acuicultura*. Lima-Perú. 21:29-37.
- Rai, H., y G. Hill. 1984. Primary production in the Amazonian aquatic ecosystem. Junk Publishers. Boston. 311-335.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. 432 pp.
- Salgado-Ugarte, I.H. 1992. El análisis exploratorio de datos biológicos, Fundamentos y aplicacione, ENEP. Zaragoza, UNAM, Ediciones Marc. México. 243 pp.
- Shaferd J. y N. Bromage. 1992. Intensive Fish Farming, Blackwell Science Ltd. Osney Mead, Oxford. 404 pp.
- Schwoerbel, J. 1975. Métodos de hidrobiología. Ed. Blume, Madrid, 262 pp.
- Secretaria de Pesca 1994a. Cultivo de la tilapia. Dirección de Publicaciones, Unidad de Comunicación Social de la Secretaría de Pesca. México. 48 pp.
- Secretaria de Pesca, 1994b. Piscicultura Rural. Colección Nacional de Manuales de Capacitación Pesquera. México. 50pp.
- Siddiqui A.Q., M.S. Howlader y A.A. Adam. 1988. Effects of dietary protein levels on growth, feed conversion and protein utilization in fry and young Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* 70: 63-73.
- Silva, M., 1992. Preliminary study of the zooplankton of Mexico. Institute of Animal Ecology University of Belgium. Universidad Autónoma de Aguascalientes Centro basico. Depto de Biología. México.
- Sosa L.F. Vásquez G.A. y Tórres R.L.M. 2000. Tilapia. Cap.X 1-37. En: Estado de la Salud de la Acuicultura. México.
- Sylvain M.H. 1999. The impact of grazing by tilapias (*Oreochromis niloticus*) on periphyton communities growing on artificial substrate in cages. Scotland. 186, 45-60
- 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. Aspect of eutrophication management in tropical/ssub-tropical regions. *J. Limno. Soc.Sth. Afr.* 13(1), 25-43.

Wetzel, R. G. 1981. *Limnologia*. Omega Barcelona. 679 pp.

Wetzel, R. G. y E. G. Likens. 1991. *Limnological analyses*, Springer-Verlag. New York 391 pp.

Yang Y., L.C. Kwei. y S.D. James. 1996. Influence of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) stocking density in cages on their growth and yield in cages and in ponds containing the cages. *Aquaculture*. 146: 205-215.

Zendejas J. 1996. *Primer curso Internacional de Producción de Tilapia*. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UAM, SEMARNAP. México.