

CARACTERISTICAS LIMNOLOGICAS DE PEQUEÑOS EMBALSES EPICONTINENTALES, SU USO Y MANEJO EN LA ACUICULTURA.

Arredondo-Figueroa, J.L.

Depto. de Hidrobiología, CBS, UAM-I. Apdo. Postal 55-535, México 09340 D.F., MEXICO

Flóres-Nava, A.

Depto. de Recursos del Mar, CINVESTAV-Mérida. Apdo. Postal 73 CORDEMEX, Mérida, Yucatán, MÉXICO.

RESUMEN.

Se analiza la importancia de los pequeños cuerpos de agua epicontinentales de México, principalmente del sureste y de la Meseta Central, como generadores de proteína animal para el consumo humano, su disponibilidad a nivel nacional y se describen las características limnológicas de algunos de ellos. Para cada caso se marcan las pautas de su manejo y explotación en actividades acuícolas.

Los embalses temporales y permanentes son los más numerosos y exhiben tres etapas de sucesión ecológica alternada; fase de transición, dilución y concentración con características limnológicas diferenciales. La fase de dilución es más estable y permite la introducción de ainomorfos para el cultivo. Las pozas areneras se consideran oligotróficas a mesotróficas con una moderada circulación de la masa de agua y baja productividad y pueden ser utilizadas por medio de policultivos de especies nativas o exóticas alcanzando buenos rendimientos. Las aguadas permanentes y los cenotes presentan condiciones poco favorables y no se recomiendan para propósitos de acuicultura, sólo las aguadas intermitentes pueden ser manejadas al igual que los embalses temporales. Las pozas de excavación en roca caliza, a pesar de la elevada dureza del agua, exhiben condiciones adecuadas para el cultivo de varias especies, especialmente en jaulas y en sistemas de "ranching". Finalmente los estanques para piscicultura, se han incrementado en número y constituyen un potencial elevado debido a la facilidad en el control de los parámetros de calidad del agua. Existen más de 1,500 Ha de estanquería y 22,000 m³ de agua, que producen cerca de 1,600 toneladas anuales de peces y crustáceos. Se reconocen dos tipos de acuerdo a su manejo y por las condiciones geológicas de la Meseta Central de México, es posible encontrar estanques con una elevada productividad y rendimientos acuícolas.

ABSTRACT

The importance of epicontinental small bodies of water as a resource of animal protein for human consumption and their disponibility in the southeast and Central Plateau of Mexico were analyzed. Limnological behavior of some of them are described and for each case the management and exploitation in aquaculture activities are discussed.

Permanent and temporary ponds are the most numerous and they present three alternated ecological sucesion phases: transition, dilution and concentration, with different limnological characteristics. Dilution phase is the most suitable for the introduction of fingerlings and larvae. The sand excavation are considered oligotrophic and mesotrophic systems with a low circulation of water and poor primary productivity, and can be utilized in high yields polyculture, including native and non- native species. Permanent "aguadas" and "cenotes" do not present good quality of water for aquaculture porposes and only temporary "aguadas" has a potential because limnological behavior is seemed to the temporary ponds. In spite of karstz excavations has high hardness, they present a good level of limnological parameters for several species, specially in cages and ranching. Finally, the fish ponds has been increasing in number and represent a high potential due easy management and control of water quality. There are about 1,500 Ha and 22 000 cubic meters that produce near of 1 600 tons per year of fish and crustacean. It can be recognized two kinds of them and some has high primary productivity and yields, specially in the Central Plateau of Mexico.

PALABRAS CLAVE / KEY WORDS: LIMNOLOGIA DE MICRO-EMBALSES; POTENCIAL ACUÍCOLA / LIMNOLOGY OF MICRO-PONDS; AQUACULTURE POTENTIAL.

INTRODUCCION

En México existen una gran cantidad de cuerpos de agua epicontinentales, cuya superficie ha sido estimada en 1.3 millones de hectáreas, que incluyen lagos, lagunas, presas y pequeños ecosistemas acuáticos de distinto origen (Tinoco y Atanacio, inédito).

En los últimos 50 años la construcción de presas y bordos se ha acelerado notablemente, debido a la topografía accidentada del suelo mexicano y a la necesidad creciente de retener los escurrimientos superficiales temporales durante la época de lluvias. Desde el punto de vista limnológico estos embalses artificiales presentan características particulares, razón por la cual, han sido considerados como ambientes híbridos, ya que participan de dos fases considerando un eje principal imaginario; en la cola del embalse se observa una influencia de tipo horizontal que está dada por la presencia de afluentes como arroyos, ríos, canales y manantiales; cerca de la cortina del vaso de la cuenca propiamente dicha domina la fase limnética, con una amplitud vertical bien definida (Margalef, 1976; Margalef *et al.*, 1976).

Estos ecosistemas acuáticos tienen un tiempo de vida corto, ya que evolucionan de manera rápida convirtiéndose en trampas que retienen gran cantidad de material sedimentario alóctono y autóctono, lo que propicia que la cubeta se azolve disminuyendo considerablemente su profundidad media. El impacto causado por la influencia de este material favorece el incremento de la productividad primaria y acelera el proceso de eutrofización natural que se observa en estos ambientes (Armengol, 1982).

Actualmente se tienen registradas más de 1,000 presas con una capacidad de almacenamiento que fluctúa entre menos de uno hasta cinco millones de metros cúbicos. En ellas se capturan el 90% de las principales especies que conforman las pesquerías de aguas epicontinentales, entre las que destacan la tilapia (*Oreochromis spp.*) y la carpa (*Cyprinus carpio*), que en conjunto y de acuerdo con las estadísticas oficiales representaron en 1989 cerca de 100,00 toneladas anuales (Programa de Desarrollo Integral de la Acuicultura: 1990-1994, Secretaría de Pesca, 1990).

Además de estas presas, es posible encontrar distribuidos a lo largo del territorio nacional un

gran número de cuerpos de agua con una amplia variedad de ambientes limnológicos, que reciben diferentes nombres dependiendo de su ubicación geográfica y de su origen, tales como: bordos temporales y permanentes, estanques, jagüeyes, ollas de agua, cajas de agua, remansos aislados de ríos, charcas temporales, haltunes, sartenejas, cenotes, aguadas, petenes, pozas de excavación en roca caliza y en bancos de arena.

Estos sistemas han sido utilizados de manera tradicional como almacén de agua para actividades agrícolas, abrevaderos para el ganado, uso doméstico y recreación. No obstante, en muchos casos han servido como fuente de proteína de origen animal, ya que algunos de ellos han resultado ser excelentes productores de peces o crustáceos de importancia económica, cuando son utilizados para propósitos de cultivo (Murray, 1911; Rosas, 1976; Arredondo *et al.*, 1982).

El potencial acuícola de estos pequeños embalses ha sido evaluado en términos de kg/Ha/año y se ha encontrado que bajo las condiciones más elementales de repoblamiento acuícola, sus rendimientos fluctúan entre los 150 y 450 kg/Ha/año, que representa una cantidad importante, sobre todo porque se estima una disponibilidad nacional que puede llegar a las 50,000 Ha, que significan una producción vía acuicultura, de más de 10,000 toneladas anuales de productos pesqueros (Rosas, 1976; García, 1977; Arredondo *et al.*, 1982).

El propósito de este trabajo consistió en presentar un panorama general de las características limnológicas de pequeños cuerpos de agua, sobre todo en el sureste y en la Meseta Central de México, a través de fuentes bibliográficas y experiencias personales de los autores, señalando para cada caso sus posibilidades en la acuicultura, incluyendo una visión global de la disponibilidad de estanques que tienen las unidades de producción acuícola en aguas interiores y las perspectivas que representan en la piscicultura mexicana.

En aras de presentar la información de una forma lógica y ordenada, en un principio se analiza la disponibilidad de estos cuerpos de agua, a través de los distintos inventarios que se han levantado al respecto y después se presentan los embalses en los que se han realizado estudios limnológicos, empezando por los temporales y perma-

nentes y finalizando con los estanques de piscicultura.

INVENTARIO NACIONAL DE CUERPOS DE AGUA EPICONTINENTALES

Se han hecho intentos para evaluar la disponibilidad de los cuerpos de agua epicontinentales y hasta el momento los inventarios no se ponen de acuerdo en las cifras totales. El estudio más completo y sistemático que se ha realizado hasta el momento lo representa el III Avance del Inventario Nacional de Cuerpos de Agua Lénticos Epicontinentales, que no se terminó totalmente (Cadena *et al.*, inédito). En este trabajo, hasta 1979 se tenían registrados 12,000 cuerpos de agua, con una superficie inundada de 861,000 Ha. De este total, 10,000 embalses contenían de 1 a 10 Ha de superficie inundada y representaban el 3% de la disponibilidad total.

En ese año, ocho estados de la Meseta Central de México contenían 21,000 Ha, que representaban el 84% de la superficie total de pequeños cuerpos de agua, siendo Jalisco, Guanajuato y San Luis Potosí los estados con mayor número. No obstante, estas cifras preliminares han sido superadas y algunas estimaciones consideran una disponibilidad mayor de 50,000 Ha, ya que por ejemplo, en las porciones correspondientes a los estados de Tabasco y suroeste de Campeche, existen áreas inundadas que todavía no han sido evaluadas con precisión; así, por ejemplo, Vargas (1984) indicó que en esta zona hay más de 700,000 Ha de aguas epicontinentales.

El último inventario elaborado en 1988 por la Dirección General de Acuacultura de la Secretaría de Pesca (Tinoco y Atanació, inédito), calcula la existencia de 1,280,000 Ha, siendo las presas las que representan el 50% de la disponibilidad total, seguidas de los lagos y finalmente de los pequeños cuerpos de agua. Los estados de Michoacán, Jalisco, Guerrero y Coahuila contienen la mayor disponibilidad, aunque en este caso no se consideran aún los estados de Tabasco, Campeche y Quintana Roo, por lo que esta cifra puede ser superada.

Ante este panorama, es posible señalar que a pesar de que no se cuenta con un inventario completo de la disponibilidad de cuerpos de agua epicontinentales, sí se dispone de un elevado poten-

cial que se ubica preferentemente en la Meseta Central Norte, Meseta Central de México y las planicies de Tabasco, Campeche y Quintana Roo, que requiere ser estudiado a fin de elaborar estrategias de uso y manejo de estos recursos, principalmente como generadores de proteína de origen animal para el consumo humano.

ESTUDIOS LIMNOACUICOLAS

Embalses temporales y permanentes

Estos cuerpos de agua son numerosos y constituyen la mayor reserva hidrológica para la acuicultura continental. Se manejan a través de programas de repoblamiento que no son constantes y que consideran generalmente la introducción en ellos de crías de diferentes especies de carpas y tilapias, entre otras. Se identifican dos tipos de embalses: los permanentes y los temporales. En los primeros, el volumen de agua se mantiene constante a lo largo del año, con variaciones que dependen de la precipitación pluvial y en los segundos, la disminución del volumen es tan drástico, que quedan completamente secos durante el estiaje y el tiempo que permanecen inundados varía de cuatro a diez meses y esto depende básicamente de la administración del recurso hídrico almacenado.

La mayoría son eutróficos y se mantienen en ese estado ya que no pueden compensar el proceso debido a que son someros y tienen una estrecha relación con el sedimento; además, reciben en forma constante el aporte de nutrientes procedentes de la cuenca de captación, donde generalmente se llevan a cabo actividades agrícolas o bien se depositan excretas de animales que ocurren a abreviar a estos sitios. En algunos casos existen aportes constantes de desagües aledaños, por lo que estos sistemas trabajan siempre a un ritmo acelerado.

Dentro del proceso de eutrofización en que se mantienen estos ecosistemas se da un gradiente que va desde la típica eutrófia hasta la hipereutrófia, que depende básicamente de la matriz geológica donde se construyó el embalse, el clima de la zona, la morfometría de la cubeta, el aporte de nutrientes, la materia orgánica autóctona y el grado de contaminación al que está sometido (Ponce y Arredondo, 1986).

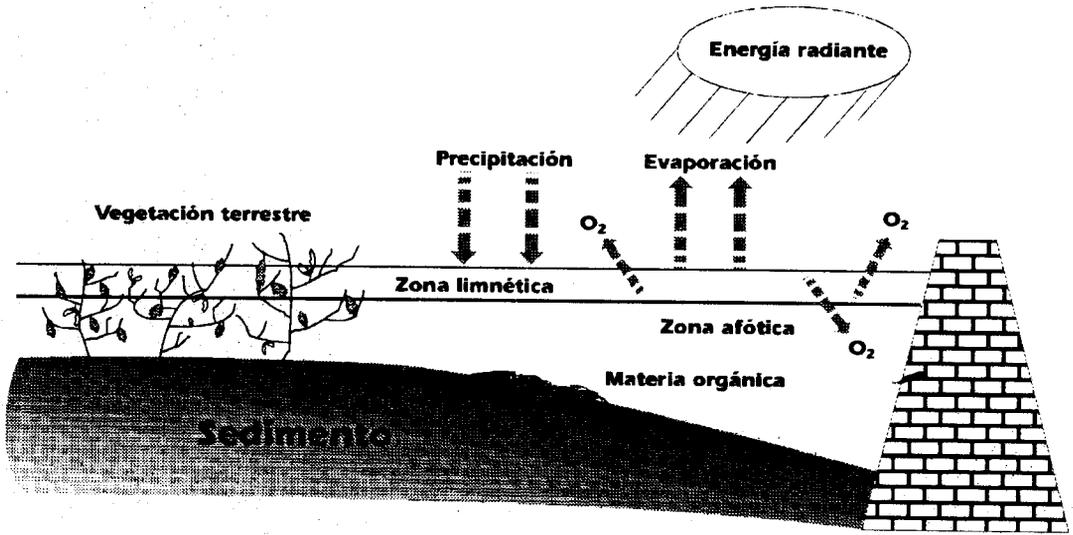


FIGURA 1. Representación gráfica de la fase de transición en un embalse temporal.

En estos ecosistemas es posible reconocer tres etapas de sucesión ecológica alternadas, que deben ser consideradas en los programas de repoblación acuícola y que pueden ser el éxito o fracaso del mismo. Estas son: fase de transición, fase de dilución y fase de concentración, las que serán descritas a continuación.

a) Fase de transición

Esta etapa se inicia al principio de las primeras lluvias y corresponde, de acuerdo con sus características limnológicas, a un período de inestabilidad de la masa de agua. La vegetación terrestre que crece en la cubeta vacía o semivacia del embalse queda atrapada por el agua, la cual llega a la cubeta en razón de las primeras precipitaciones del año y se lleva a cabo un proceso de biodegradación de esta materia, el cual demanda una gran cantidad de oxígeno disuelto sobre todo el que es generado en la zona limnética o trofógena del mismo. Esta situación se hace más drástica en la medida que llega al embalse el material alóctono proveniente de la cuenca de captación.

En este estado es posible distinguir dos zonas bien delimitadas en la columna de agua: una limnética o trofógena que está limitada por la profundidad de penetración de la luz y que varía entre los 10 y 20 cm. En esta capa, el aporte de nitró-

geno y fósforo es elevado, lo que propicia una alta productividad primaria. La segunda zona es la afótica o trofolítica, y en ella el consumo de oxígeno es elevado debido a la respiración de la flora y fauna y a la constante mineralización de la materia orgánica, que se sedimenta como producto de la descomposición y biodegradación de las plantas terrestres que quedan atrapadas en la masa de agua (Ponce y Arredondo, 1986; Ponce y Robledo, 1982).

Como resultado de estos procesos se tiene, que mientras el oxígeno es producido en exceso en la zona trofógena, éste es consumido ávidamente en la capa trofolítica; la materia orgánica se acumula en el sedimento y causa un déficit de oxígeno en el fondo, produciendo una descompensación entre el balance producción/respiración, manteniendo así condiciones permanentes de eutrofia. En la interfase sedimento-columna de agua, se genera la producción de gases tóxicos como metano y ácido sulfhídrico, por lo que esta fase resulta ser poco favorable para la introducción de crías de peces y crustáceos (Fig. 1).

b) Fase de dilución

Durante esta fase se presenta la mayor estabilidad en el sistema y es cuando el embalse alcanza su nivel de máxima inundación. Los ingresos al

sistema continúan siendo la precipitación, el aporte de material orgánico alóctono y las excretas de los animales que concurren a abreviar al cuerpo de agua. Una característica de este período, es la salida de agua del sistema para fines agrícolas, el consumo por el ganado y la evaporación, lo que implica una pérdida constante de agua que durante la temporada de lluvias mantiene un equilibrio entre el ingreso y la salida, por lo que en esta fase las condiciones son de mayor estabilidad, dando tiempo para que la masa de agua presente un comportamiento típico de un ambiente léntico en la parte cercana a la cortina del bordo.

Un aumento en el volumen del agua corresponde a un decremento en los valores de conductividad, alcalinidad, dureza total y un agotamiento de los nutrientes. La transparencia medida por el disco de Secchi, aumenta a medida que avanza esta etapa y bajo estas condiciones de estabilidad, en días de fuerte insolación y ausencia de vientos, es posible detectar microtermoclinas, con una curva heterógrada positiva de oxígeno disuelto que es característica de ambientes eutróficos y que permite la diferenciación de tres capas en la columna de agua: el epilimnion hasta los 40 cm de profundidad, el metalimnion o termoclina en-

tre los 40 o 60 cm y el hipolimnion de los 60 cm al fondo de la cubeta. Sin embargo, la formación de microtermoclinas es temporal, ya que se rompen fácilmente por la acción del viento o la utilización de agua para propósitos de irrigación (Murray, 1911; Kenk, 1949; Yaron, 1964; Barclay, 1966; Daborn y Clifford, 1974; Khalaf y MacDonald, 1975; Mortom y Bayly, 1977; Arredondo *et al.*, 1982).

En el principio de esta fase, es cuando se recomienda la introducción de crías de peces o larvas de langostino, ya que se propician las condiciones óptimas para su crecimiento y sobrevivencia (Fig. 2).

c) Fase de concentración

Esta fase es la más crítica del embalse, ya que las condiciones son desfavorables para el crecimiento y sobrevivencia de los organismos en cultivo. Se caracteriza por una rápida disminución en el volumen, que algunas veces llega hasta el 95% debido al uso del agua, ausencia de lluvias y la evaporación, dejando algunas zonas secas e iniciándose un resquebrajamiento del sedimento, la remineralización de los nutrientes y el establecimiento de plantas terrestres pioneras que utilizan los recursos atrapados en el sedimento.

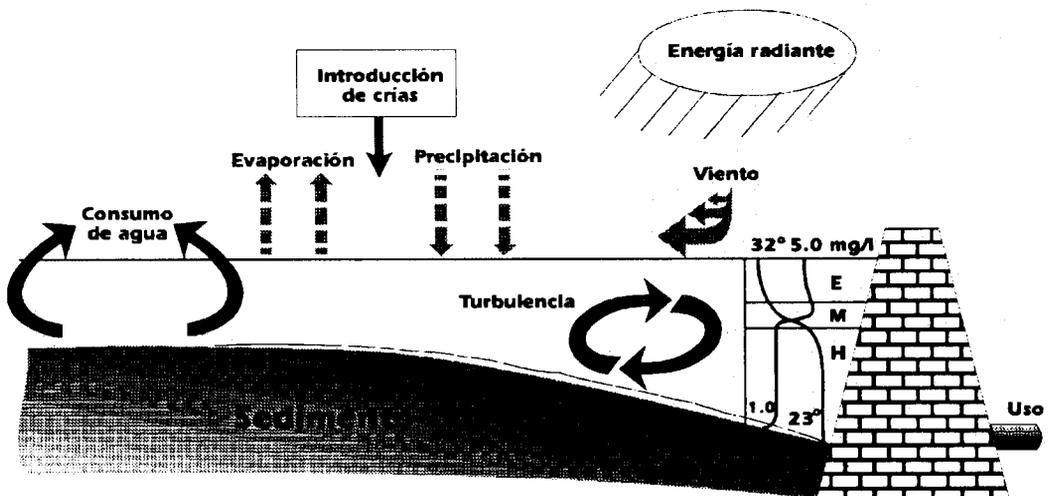


FIGURA 2. Representación gráfica de la fase de dilución en un embalse temporal.

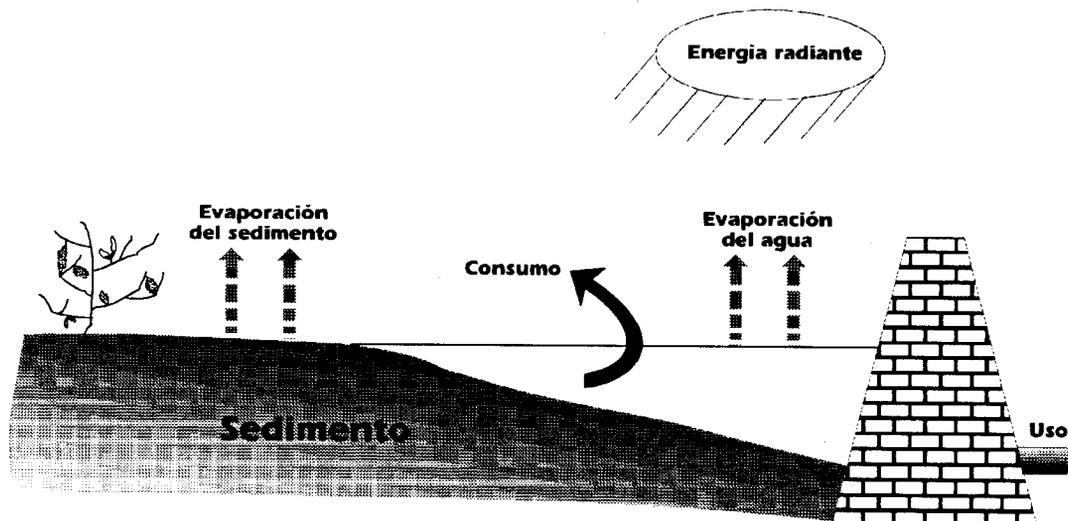


FIGURA 3. Representación gráfica de la fase de concentración.

Los cambios limnológicos están marcados por un aumento en los valores de la conductividad, alcalinidad, dureza total y los nutrimentos (Daborn y Clifford, 1974; Arredondo *et al.*, 1982).

Al inicio de esta fase se debe realizar la cosecha, dado que al disminuir el volumen se concentran los organismos y se facilita la captura. Para lograr esto, se utilizan redes tipo chinchorro de diferentes dimensiones y luz de malla dependiendo del tamaño del embalse (Fig. 3).

Para propósitos prácticos es importante considerar el tiempo de inundación del embalse y sólo se recomienda manejar aquellos que tienen un tiempo mínimo de inundación de ocho a nueve meses, suficiente para alcanzar la talla comercial. Algunas experiencias personales han mostrado que es posible cultivar en ellos langostinos nativos como *Macrobrachium tenellum* y *M. acanthurus*, junto con diferentes especies de carpas o tilapias, lo que mejora significativamente los rendimientos y aumenta el valor económico de la cosecha. Rosas (1976), cultivó trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss*, en embalses temporales en el estado de Michoacán, junto con otras especies como la carpa espejo *Cyprinus carpio specularis*,

con excelentes resultados. Otra alternativa interesante es el policultivo de carpas y tilapias que pueden incrementar los rendimientos, logrando una utilización completa de la columna de agua, sólo que en este caso tendrá que considerarse el empleo de fertilizantes y alimentos suplementarios.

Pozas areneras

En la región central de Tabasco, se presentan numerosos bancos naturales de arena, que son explotados comercialmente por la industria de la construcción. Las excavaciones son realizadas en suelos que eventualmente alcanzan el manto freático, de tal manera que cuando el banco se agota, quedan los estanques en forma rectangular de dimensiones variables y llegan a tener una profundidad de hasta 13 metros.

Las características limnológicas que presentan estos ambientes artificiales son peculiares. La temperatura del agua varía entre 26° y 32° C, dependiendo de la época del año y en ellos es posible detectar discontinuidades térmicas entre los 2° y 6° C de la superficie al fondo, lo que demuestra que estos sistemas llegan a estratificarse.

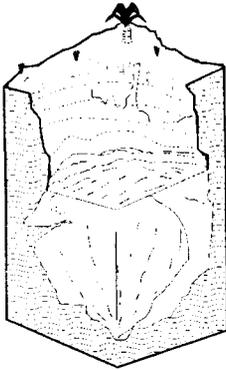


FIGURA 4. Corte de una aguada permanente de acuerdo con Gaona- Vizcaino *et al.*, 1980.

En general, los niveles de oxígeno disuelto son elevados y como sistemas incipientes y aislados son considerados como oligotróficos o mesotróficos, con una productividad primaria baja, ya que la captación de nutrimentos es limitada al igual que los materiales alóctonos. Algunas tienen comunicación con arroyos y canales, por lo tanto presentan una mayor productividad primaria, así como una moderada circulación de la masa de agua. En realidad existe poca información limnológica en este tipo de embalses.

Debido a sus características, estas pozas ofrecen condiciones favorables para la acuicultura, sobre todo con el manejo combinado de jaulas flotantes, junto con organismos liberados que hagan uso del alimento desperdiciado, con objeto de evitar la eutrofización acelerada del cuerpo de agua. Existen antecedentes que demuestran que es posible obtener rendimientos elevados (Flores, en prensa; Pérez, 1986 *com. pers.*).

Otra alternativa de manejo, es la implementación de un policultivo de cíclidos nativos de la región, considerando la diversidad que presentan en cuanto a sus hábitos alimenticios, como es el caso de la mojarra castarrica (*Cichlasoma urophthalmus*), que tiene una tendencia marcada a ser carnívora; la mojarra paleta (*C. synspillum*), como organismo filtrador y la zacatera (*C. pearsei*), que es una especie aparentemente herbívora, o bien alternando con otras especies de tilapia del género *Oreochromis* spp. y aún del langostino *Macrobrachium* spp., que permita brindarle un

valor económico agregado al sistema de cultivo y obtener mayores beneficios.

Aguadas y cenotes

En el sur de la Península de Yucatán, donde los suelos son más profundos, se forman las llamadas aguadas que de acuerdo con la definición propuesta por Stringfield y Legrand (1974), son depresiones de terrenos poco profundos y cenotes azolvados que retienen agua de manera permanente (Fig.4).

Las aguadas permanentes presentan condiciones poco favorables para los programas de repoblamiento acuícola. Su profundidad es variable, llegando a alcanzar hasta 15 metros y su comunicación con el manto freático es limitada, lo que restringe marcadamente su circulación (Gaona-Vizcaino *et al.*, 1980). El material orgánico alóctono llega al sistema a través de los escurrimientos superficiales, se sedimenta y es biodegradado con el consecuente abatimiento del oxígeno disuelto y la formación de metano y ácido sulfhídrico (Stirling, 1985).

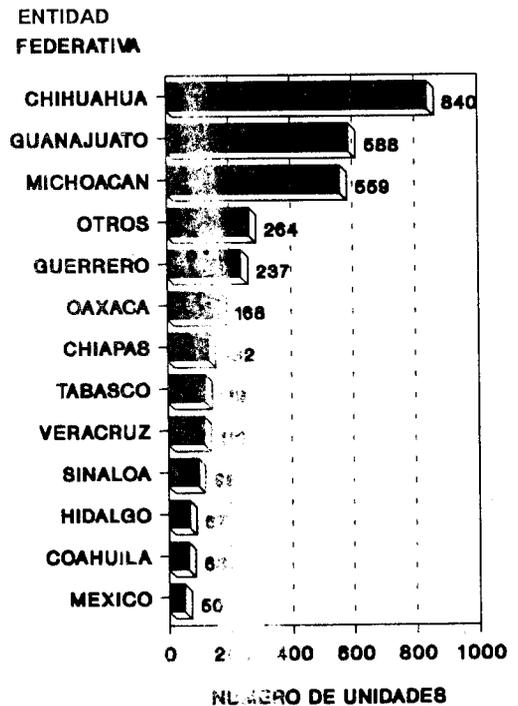


FIGURA 5. Número de unidades de producción que operaron en 1990 por entidad federativa (tomado de Pulido y Olmos, inédito).

Las aguadas más profundas presentan estratificación térmica, con una termoclina bien definida y la transparencia medida por el disco de Secchi se limita a 20 cm. La capa con oxígeno disuelto llega hasta los dos metros de profundidad y por debajo de ésta se reduce de manera notable hasta niveles de 0.3 mg/l, combinándose con elevadas concentraciones de ácido sulfhídrico, que limita por obvias razones el desarrollo acuícola.

Las aguadas intermitentes o temporales, sí pueden ser utilizadas para el cultivo de organismos acuáticos de valor económico y desde el punto de vista limnológico se comportan como los embalses temporales descritos en la primera parte.

Por lo que respecta a los cenotes, estas manifestaciones cársticas de la Península de Yucatán, presentan estratificación térmica definida, debido a su profundidad que puede llegar hasta los 75 m y su reducido diámetro. La capa eufótica o trofógena se ve limitada a los primeros cinco metros de profundidad, con niveles mínimos de oxígeno disuelto. Algunos cenotes presentan valores altos de salinidad en sus capas más profundas, debido a la intrusión de agua marina por debajo del manto freático.

Estas condiciones restringen la vida a una cuantas especies endémicas, cuya importancia es propiamente ecológica y por lo tanto estos sistemas no son recomendados para realizar actividades de acuicultura, ya que se corre el riesgo en principio, de que los organismos introducidos no puedan prosperar o bien de que afecten severamente la fauna endémica de los cenotes.

Pozas de excavación

La zona norte de la Península de Yucatán merced al suelo calcáreo predominante, ha servido de asiento a varias empresas que se dedican a la explotación comercial de roca caliza, que satisface a la industria regional de la construcción. Como resultado de las excavaciones, se forman estanques de forma regular que se alimentan del acuífero de dimensiones variables. Las características principales de este tipo de ecosistemas acuáticos, es que presentan aguas extremadamente duras debido a su origen, con buenos niveles de oxígeno disuelto, temperatura constante a lo largo del año y algunas de ellas, sobre todo las cercanas a la costa, con una buena circulación de la masa de agua.

Los estanques pequeños y someros (menores de dos metros de profundidad), con franjas calcáreas, pueden soportar un cultivo extensivo de cíclidos nativos o exóticos, ya que estas especies se adaptan sin ningún problema a la elevada dureza del agua, con un incremento de peso considerable (Martínez, 1987). El cultivo podría soportarse fertilizando estos sistemas con materiales disponibles en la región, como es el caso del estiercol de cerdo y algunas gramíneas (NACA, 1989).

Por otra parte, los estanques profundos y grandes ofrecen un potencial para el cultivo intensivo, utilizando para ello jaulas flotantes y alimento suplementario. Además de liberar organismos para que aprovechen los desperdicios de las jaulas, en un sistema que es conocido como "ranching", con lo que es posible obtener una cosecha adicional. En síntesis, estos sistemas ofrecen un buen potencial que todavía no es explotado.

Estanques

En los últimos años, la construcción de estanques para propósitos de cultivo ha aumentado significativamente. De acuerdo con Pulido y Olmos (inédito), hasta septiembre de 1990 se tenían registradas 3,363 unidades de producción acuícola a nivel nacional, de las cuales 3,299 operaron. En ellas se cultivaban 14 especies; ocho dulceacuícolas y cinco salobres o marinas. El 79% de estas granjas manejaban peces, siendo la carpa la especie mas importante con el 32.8% (Fig. 5).

En el epicontinente se reportaron 1,728 unidades acuícolas, de las cuales operaron en ese año 1,697, cubriendo una superficie estimada de 1,538 Ha, además, de 22,016 metros cúbicos de agua, con una capacidad nominal para producir 1,600 toneladas anuales de trucha arco iris, carpa, bagre, tilapia y langostino.

Dentro de estos sistemas se reconocen dos tipos: los estanques rústicos o semi-rústicos y los canales de corriente rápida, sin incluir las jaulas. En los primeros, se realiza el cultivo de la mayoría de las especies mencionadas y en los segundos sólo se cultiva la trucha arco iris y en algunos casos el bagre de canal.

Los estudios limnológicos en estos estanques, se realizan a través del análisis de la calidad del agua, es decir los parámetros fisicoquímicos y biológicos críticos y más relevantes que aseguren

el crecimiento y desarrollo de los organismos bajo cultivo (Shang, 1981; Hepher y Pruginin, 1981). Todas las variables limnológicas mantienen una interrelación compleja, pero en forma práctica las más importantes son: temperatura, oxígeno disuelto, alcalinidad total, dureza total, pH, bióxido de carbono y abundancia del plancton (Boyd y Lichtkoppler, 1979).

El estanque a su vez mantiene relaciones con las interfaces atmósfera-columna de agua y sedimento-columna de agua, las que se hacen más complejas a medida que se incrementa la intensidad de cultivo. Los problemas de calidad del agua, pueden surgir debido principalmente a dos factores: la ocurrencia repentina de fenómenos ambientales o gradualmente a través de un manejo deficiente, que puede ocasionar una producción excesiva de fitoplancton y la acumulación de metabolitos tóxicos (Ray, 1978; Boyd, 1982; Kleinholtz, 1983).

En los estanques rústicos, cuando se aplican fertilizantes orgánicos o químicos, hay que tener cuidado con la calidad del agua, ya que un exceso en su aplicación puede significar una caída brusca en los niveles de oxígeno disuelto en la masa de agua, ocasionando con ello una elevada mortalidad de los organismos. En este caso particular las variables a controlar son el oxígeno disuelto, pH, alcalinidad y dureza total, bióxido de carbono, productividad primaria, amonio y nitritos.

En los canales de corriente rápida el parámetro crítico es el contenido de amonio en el agua, ya que es tóxico y su interacción con otras variables como el bióxido de carbono, pH, dureza y la temperatura del agua, determinan su concentración. Por lo tanto, en forma práctica las principales variables a regular son: el contenido de oxígeno disuelto y el amonio, ya que estos factores condicionan la densidad de organismos que puede soportar el sistema (Ray, 1978).

En la Meseta Central de México, es común encontrar aguas con altos contenidos iónicos, con una dominancia de sodio y cloro que brindan características particulares a los estanques como son aguas con una elevada mineralización, pH alcalino, dureza y productividad primaria elevada. En estos sistemas, se ha logrado el cultivo de peces y crustáceos obteniendo rendimientos que

pueden rebasar las cuatro toneladas por hectárea en un ciclo de cultivo anual (Arredondo, 1987).

De acuerdo con la información proporcionada por Pulido y Olmos (inédito), los rendimientos acuícolas registrados en las unidades de producción en los estados sin litoral son bajos, lo que refleja la falta de experiencia y la tradición tecnológica de los productores. Esto significa que el conocimiento es limitado y para aumentar la producción es necesario aplicar un mayor esfuerzo de investigación para conocer la dinámica de las variables y su interacción con las dos interfaces del estanque, lo que permitiría precisar las condiciones óptimas de manejo y las densidades adecuadas que puede soportar el sistema.

LITERATURA CITADA

- ARMENGOL, J. 1982. Ecología del zooplancton de los embalses. *Mundo Científico* (La Recherche). 2(11):168-178.
- ARREDONDO, F.J.L. 1987. *Policultivo experimental de ciprínidos asiáticos en México*. Tesis doctoral de la Unidad Académica de los Ciclos Profesionales y de Posgrado, Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM. 129 p.
- ARREDONDO, F.J.L., GARCIA, C.J.L. y MARTINEZ, P.C. 1982. La conducta fisico-química y el rendimiento pesquero de un estanque temporal tropical, utilizado para la piscicultura extensiva en el estado de Morelos. *Rev. Lat. Acuic.* 12:1-12.
- BARCLAY, M.H. 1966. An ecological study of a temporary pond near Auckland, New Zealand. *Austr. J. Mar. Freshwater Res.* 17:239-258.
- BOYD, C.E. 1982. Managing water quality in channel catfish ponds. *Soil and Water Conservation* 37(4):207-209.
- BOYD, C. E. y LICHTKOPPLER, F. 1979. *Water quality management in ponds fish culture*. Research and Development Series No. 22. Project: AID/DSAN-G 0039. 30 p.
- CADENA, R.I, MARTINEZ, J. y PEÑA, E. (inédito). *III Avance del Inventario Nacional de Cuerpos de Agua Epicontinentales. Rendimiento Potencial e importancia para la Acuicultura*. Departamento de Pesca, México, D.F. (1979).
- DABORN, G.R. y CLIFFORD, H.F. 1974. Physical and chemical features of an aestival pond in Western Canada. *Hydrobiologia* 44(1):43-59.
- FLORES, N.A., VALDEZ, D., SANCHEZ, M. (en prensa). Comportamiento fisicoquímico de una manifestación cársica de Yucatán. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol. UNAM*. 16.
- GARCIA, E.M. 1977. Condiciones fisico-químicas y su relación con el crecimiento de carpas en dos embalses temporales de Guanajuato. En: *Primer Simposio de la Asociación Latinoamericana de Acuicultura*. Maracay, Venezuela. 11 p.
- GAONA-VIZCAYNO, S., GORDILLO, T. y VILLASUSO, M. 1980. Cenotes, kartz característico: mecanismos de formación. *Geología Revista* 4(1):32-36.
- HEPHER, B. y PRUGININ, Y. 1981. *Commercial fish farming with special reference to fish culture in Israel*. Wiley-Interscience, USA. 261 p.

- KENK, R. 1949. The animal life of temporary and permanent ponds in Southern Michigan. *Misc. Publs. Mus. Zool. Univ. Mich.* (71): 1- 66.
- KHALAF, N.A. y MACDONALD, L.J. 1975. Physicochemical conditions in temporary ponds in the new forest. *Hydrobiologia* 47(2):301- 318.
- KLELNHOLZ, C. 1983. *Water quality management for fish farmers*. USDA/Cooperative States Research Service, Langston University Research Program, Oklahoma. 8 p.
- MARGALEF, R. 1976. Biología de los embalses. *Invest. Cient.* (1):51-62.
- MARGALEF, R., PLANAS, D., ARMENGOL, J., VIDAL, A., PRAT, N., GUISET, A., TOJA, J. y ESTRADA, M. 1976. *Limnología de los embalses españoles. Vol 1 y 2*. Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona, Ministerio de Obras Públicas, Madrid, España. 422 p.
- MARTINEZ-PALACIOS, C.A. 1987. *Aspects of the biology of Cichlasoma urophthalmus (Gunther) with particular reference to its culture*. PhD Thesis, University of Stirling, Scotland. 321 p.
- MORTOM, D.W. y BAYLY, I.A.E. 1977. Studies on the ecology of some temporary freshwater pools in Victoria, with special reference to microcrustaceans. *Austr. J. Mar. Freshwater Res.* 28:439-454.
- MURRAY, J. 1911. The annual history of a periodic pond. *Int. Revue. ges Hydrobiol. Hydrogr.* 4:300-310.
- NACA. 1989. Integrated fish farming in China. *NACA Technical Manual 7. A world Day Publication of the Network of Aquaculture Centres in Asia and the Pacific*, Bangkok, Thailand. 278 p.
- PONCE, P.J. y ARREDONDO, F.J.L. 1986. Aporte al conocimiento limnológico de un embalse temporal tropical, por medio de la aplicación de modelos multivariados. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nac. Autón. México.* 13(2):47-66.
- PONCE, Z.J.J. y ROBLEDO, P. 1982. *Variación estacional y abundancia fitoplanctónica de los bordos: Santa Cruz, Los Lavaderos, Chacaltzingo y El Movil en el estado de Morelos, México*. Tesis profesional de la ENEP-Iztacala, UNAM. 100 p.
- PULIDO, G.L.A. y OLMOS, T.E. (inédito). *Situación actual de las unidades de producción en México (avance a septiembre de 1990)*. Secretaría de Pesca, Dirección General de Acuicultura. 6 p. 7 tablas + 6 figs.
- RAY, L. 1978. Water quality: the single most important factor in fish production. *The Commercial Fish Farmer and Aquaculture News.* 4(4):8-9.
- ROSAS, M.M. 1976. Explotación piscícola de charcos temporales y permanentes en Michoacán. *Instituto Nacional de Pesca. INP/Si* 266; México. 38 p.
- SHANG, Y.C. 1981. *Aquaculture economics: basic concepts and methods of analysis*. Wrestriew Press Boulder, Colorado, USA. 153 p.
- STIRLING, H.P. 1985. *Chemical and biological methods of water analysis for aquaculturists*. Institute of Aquaculture, University of Stirling Press, Stirling, U.K. 119 p.
- STRINGFIELD, V.T. y LEGRAND, H.F. 1974. Karst hydrology of the northern Yucatan Peninsula, Mexico. En: Weidie, A. (Ed.). *Field Seminar on water and carbonate rocks of the Yucatan Peninsula, Mexico*. New Orleans Geol. Soc. p. 25-44.
- TINOCO, J.R. y ATANACIO, D.L. (inédito). *Inventario Nacional de Cuerpos de Agua*. Dirección General de Acuicultura, Secretaría de Pesca, Pachuca, Hidalgo, México (1988). 70 p.
- VARGAS, M.P. 1984. *Descripción de la unidad pesquera de la mojarra (Cichlasoma urophthalmus Gunther, 1862, Cichlasoma fenestratum Gunther, 1860 y Petenole splendida Gunther, 1862), en aguas continentales del estado de Tabasco, México*. Tesis profesional de la Facultad de Ciencias, UNAM. 112 p.
- YARON, Z. 1964. Notes on the ecology and autozostraca fauna of temporary rainpools in Israel. *Hydrobiologia* (24):489-513.

Recibido: Octubre, 1991

Aceptado: Mayo, 1992