

Manejo de microembalses para el cultivo extensivo de carpa común (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) en la región de Zacapu, Michoacán, México

Water basins management for extensive aquaculture of common carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) in the region of Zacapu, Michoacan, Mexico

Ana Bel Huipe-Ramos¹ y Fernando Walter Bernal-Brooks²

¹Centro Acuícola Zacapu, SAGARPA. Ejido Morelos, Zacapu, Michoacán

²Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Av. San Juanito s. n., col. Nueva Esperanza. Morelia, Michoacán
e-mail: fbernal_brooks@yahoo.com

Huipe-Ramos A. B. y F. W. Bernal-Brooks. 2009. Manejo de microembalses para el cultivo extensivo de carpa común (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) en la región de Zacapu, Michoacan, México. *Hidrobiológica* 19(2): 129-139.

RESUMEN

El presente estudio apora, mediante pruebas experimentales, una estimación de la capacidad de carga de los microembalses de la región de Zacapu, Michoacán para ser utilizada en la acuicultura extensiva y semintensiva de carpa común (*Cyprinus carpio*). Un análisis factorial (3 x 3) con tres densidades ($D_B = 0.5 \text{ org.} \cdot \text{m}^{-2}$, $D_M = 1 \text{ org.} \cdot \text{m}^{-2}$ y $D_A = 2 \text{ orgs.} \cdot \text{m}^{-2}$) y tres regímenes de alimentación ($R_0 =$ sin fertilizar o con el alimento natural, $R_F =$ con fertilización y $R_+ =$ suplementada con subproductos agrícolas) incluyó nueve tratamientos combinados entre densidades y regímenes alimenticios con tres réplicas en cada caso. La combinación de baja densidad y alimentación natural, análoga a una acuicultura extensiva en microembalses, alcanzó un rendimiento máximo equivalente a $5,000 \text{ orgs.} \cdot \text{ha}^{-1}$. Pruebas empíricas realizadas a la par en siete microembalses temporales (<10 ha), bajo condiciones de densidad de $1,500$ a $6,000 \text{ orgs.} \cdot \text{ha}^{-1}$, produjeron un rendimiento similar. Así, el índice general usado en México para acuicultura extensiva de $1 \text{ org.} \cdot \text{m}^{-2}$ sobrecarga los ecosistemas acuáticos temporales y únicamente administrando alimento adicional es que se puede duplicar la cantidad de organismos en cultivo y mejorar los resultados derivados de esta actividad productiva.

Palabras clave: Acuicultura extensiva, carpas, microembalses.

ABSTRACT

This study provides an assessment of the carrying capacity of water bodies in the area of Zacapu, Michoacan for extensive and semintensive aquaculture with carp (*Cyprinus carpio*) by means of experimental trials in 27 ponds. A 3 x 3 factorial analysis with three densities ($D_B = 0.5 \text{ org.} \cdot \text{m}^{-2}$, $D_M = 1 \text{ org.} \cdot \text{m}^{-2}$ and $D_A = 2 \text{ orgs.} \cdot \text{m}^{-2}$) and three feeding regimes ($R_0 =$ without fertilization, $R_F =$ fertilization and $R_+ =$ farming by-products) included nine combined treatments between densities and feeding regimes with three replicates for each case. The combination of low density and natural food, analog to an extensive aquaculture in small water reservoirs, attained a maximum yield equivalent to $5,000 \text{ orgs.} \cdot \text{ha}^{-1}$. Empirical trials accomplished at seven temporary basins (<10 ha) under conditions of different stocking densities from $1,500$ to $6,000 \text{ orgs.} \cdot \text{ha}^{-1}$ lead to fairly similar yields to those obtained in the ponds. Thus, the general index used in Mexico for extensive aquaculture of $1 \text{ org.} \cdot \text{m}^{-2}$ overloads the regional temporary ecosystems and only the possibility of supplying additional food allows rearing of a double amount of organisms and improves the results of this productive activity.

Key words: Extensive aquaculture, carp, small reservoirs.

INTRODUCCIÓN

La producción de peces en lagos, presas y microembalses representa un papel clave en la seguridad alimentaria de países como China (Hishamunda & Subasinghe, 2003), Bangladesh (FAO, 2003), India, Camboya, Vietnam, Laos y el noreste de Tailandia (Thuok, 1997; Garaway & Lorenzen, 2001; Garaway & Arthur, 2004) al igual que en Cuba (Remedios, 1999). En casi todos los países de América Latina, la repoblación de embalses fue la actividad que dio inicio al trabajo acuícola; la disponibilidad de infraestructura útil para el establecimiento de pesquerías en embalses y el desarrollo casi simultáneo de estrategias para aprovechar y paralelamente incrementar la oferta de productos pesqueros para mejorar la nutrición de la población rural, fueron las principales justificantes (Juárez-Palacios, 1992). En México, particularmente, la acuicultura nace como una actividad complementaria de apoyo social a las comunidades rurales, con la cual se pretendía incrementar el consumo de proteína animal y mejorar así los niveles nutricionales de la población (Juárez-Palacios, 1987). Hernández-Avilés *et al.* (2007) destacan la importancia de los microembalses en las áreas rurales de México desde el punto de vista económico, al ser sistemas productivos ricos en nutrimentos, la mayoría de ellos son eutróficos y, por ende, adecuados para la acuicultura.

Los términos “pequeños embalses” (Remedios, 2001) o “microembalses” (Hernández-Avilés *et al.*, 2007) hacen referencia a los cuerpos de agua construidos con la finalidad del riego para la agricultura o como abrevaderos para el ganado (Arredondo-Figueroa & Flores-Nava, 1992), aunque la clasificación de los cuerpos de agua naturales y artificiales en México resulta un tanto vaga (Sugunan, 1997) al carecer de una terminología única y precisa. Cabe destacar que los “microembalses” menores de 10 ha constituyen el 84% del número total de cuerpos de agua en México (Rojas-Hoyo, 1986), lo que refleja en gran medida la dependencia hídrica respecto al clima. En especial, los microembalses “temporales” de la Meseta Central de México (Arredondo-Figueroa y Flores-Nava, 1992) acopian agua pluvial desde el inicio de la temporada de lluvias a partir de junio aproximadamente y retienen el agua hasta principios del ciclo siguiente, cuando experimentan un proceso de desecación por influencia climática de la época de secas (noviembre-mayo). En este sentido, constituyen un ejemplo de ecosistemas acuáticos intermitentes, al contrario de los cuerpos de agua permanentes donde existen poblaciones de peces autosuficientes a través de la reproducción natural. Sin la asistencia técnica de un centro acuícola para la siembra y cosecha de organismos año con año, el manejo de los microembalses temporales para el aprovechamiento piscícola no podría ser posible.

El gobierno federal de México a través de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) opera y supervisa 38 centros acuícolas distribuidos

en 24 estados del país. El trabajo desarrollado por la dependencia reafirma la importancia coyuntural de la piscicultura extensiva. A través de sus acciones, no sólo se logra un incremento en la cobertura de los servicios de extensionismo, sino que se llevan a la práctica operaciones de organización y capacitación de los productores rurales. La acuicultura de repoblación para fines de autoconsumo contempla dos modalidades: una extensiva donde los organismos introducidos dependen del alimento natural disponible en el medio acuático (i.e. Arredondo-Figueroa & Flores-Nava, 1992; Sánchez & Navarrete, 1987; Hernández-Avilés y Peña-Mendoza, 1992) o una semintensiva basada en la aplicación de fertilizantes (i.e. Sánchez, 1984; Arredondo-Figueroa & Lozano-Gracia, 1994) o subproductos agropecuarios (i.e. González-Yáñez *et al.*, 2001).

A fin de obtener el máximo rendimiento acuícola dentro de un esquema de producción múltiple e integral, la práctica de reciclar el abono orgánico en campos agrícolas o en la acuicultura provoca una aceleración de los ciclos biogeoquímicos y por consecuencia una mayor producción (Wetzel, 2001). A su vez, los sedimentos de los estanques trasladados a los campos agrícolas mejoran la productividad del suelo al actuar como fertilizantes y estimular la red alimenticia (Sinha, 1985; Little & Edwards, 2003).

No obstante, el manejo de microembalses, ya sea para acuicultura extensiva o semintensiva, requiere de un conocimiento aproximado de la capacidad de carga, concepto fundamental en ecología que considera los límites de crecimiento poblacional basado en los recursos alimenticios existentes y también como referencia para saber cuántos organismos introducir en cada caso, y por consecuencia, cuántas crías producir en un centro acuícola para cubrir las necesidades de una región. Por debajo o por arriba de las cantidades apropiadas alrededor del óptimo o capacidad de carga, el ecosistema acuático se encuentra en un estado indeseable de sobre- o sub- explotación, respectivamente. Sin un indicador de este tipo, las operaciones de repoblamiento que se realizan en los embalses del país año con año caen en la subjetividad con que se determina el número de organismos a diseminar (Moreno-Hernández *et al.*, 1993). Como referencia única, los centros acuícolas propiedad del gobierno federal han seguido la regla establecida por la Dirección General de Acuicultura que considera para la acuicultura extensiva de la carpa común (*Cyprinus carpio*) la siembra de un organismo por metro cuadrado (SEPESCA, 1988).

En Michoacán, el Centro Acuícola de Zacapu produce año con año alrededor de 2.5×10^6 de crías de una línea seleccionada de carpa para repoblar prioritariamente embalses en diez municipios circunvecinos; así también indirectamente para 47 municipios del estado de Michoacán mediante un trabajo coordinado con los gobiernos locales; e incluso para tres estados vecinos en la parte central del país.

En casos en los cuales el sistema acuático surge del acopio de agua de lluvia, como los microembalses temporales, la colonización masiva de la carpa a través de la siembra restringe

la competencia con otros organismos y el número de crías a introducir depende básicamente de dos variables: densidad de organismos y alimentación (Hasan & Middendorp; 1997; Lorenzen, 1996; Lorenzen *et al.* 1998; Lorenzen & Enberg, 2002). En consecuencia, el Centro Acuícola de Zacapu realizó una serie de pruebas experimentales en estanques con tres niveles de los dos factores mencionados, densidad y alimentación, en analogía con las modalidades de acuicultura extensiva o semintensiva existentes en la región; así como pruebas empíricas en siete microembalses a diferentes niveles de densidad para evaluar los rendimientos mediante cosecha total. Ambos experimentos intentaron determinar un índice regional de capacidad de carga específico para aquellos cuerpos de agua temporales en la región circunvecina a Zacapu, la cual abarca diez municipios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El Centro Acuícola de Zacapu pertenece al gobierno federal de México y, en particular, a la SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). Las instalaciones del centro abarcan 10 hectáreas y se ubican al norte del estado de Michoacán a 19°49'30" N, 101°46'28" W y 2,012 m. s.n.m. y a unos 372 km al oeste de la ciudad de México (Fig. 1). Las pruebas experimentales aquí descritas fueron llevadas a cabo en 27 estanques de 210 m² (Fig. 2), y las pruebas empíricas de siembra y cosecha total se realizaron en siete cuerpos de agua temporales menores a diez hectáreas ubicados a unos 20 km del centro acuícola, en el municipio de Panindícuaro (Fig. 3). Los 27 estanques experimentales del Centro Acuícola de Zacapu fueron sometidos a un proceso de secado y enclamiento con Ca(OH)₂ para eliminar la fauna preexistente lo mejor posible (Huet & Timmermans, 1994). Después de enjuagar el químico aplicado, los estanques fueron cerrados y llenados a su nivel máximo. Las pérdidas de agua subsiguientes por evaporación superficial fueron repuestas periódicamente.

Las pruebas basadas en un diseño factorial 3 × 3 (Kashigan, 1991) comenzaron el 14 de junio de 2004, con la introducción en los estanques de crías de carpa común de 5.0 cm y 2.7 g en promedio. Las tres densidades utilizadas fueron baja (D_B), media (D_M) y alta (D_A) con 0.5, 1.0 y 2.0 orgs. · m⁻² respectivamente; en combinación con el alimento disponible en los estanques sin fertilizar (R₀), con estimulación de la productividad natural de los estanques mediante fertilización (R_F) y con alimentación suplementaria con subproductos agrícolas (R_s). Las 9 combinaciones incluyeron tres réplicas distribuidas al azar (tabla 1).

El fertilizante orgánico aplicado contenía 1.68% de nitrógeno y 0.424 µg g⁻¹ de fósforo; mientras los sub-productos agrícolas incluyeron una mezcla de ingredientes disponibles en el área, tales como maíz, trigo, sorgo y soya en igual proporción, con 17.93% de proteína, 2.35% de aceite, 8.28% de fibra, 3.96% de ceniza, 403.16 µg · g⁻¹ de calcio, 0.20% de fósforo y 11.65% de



Figura 1. Ubicación geográfica de los diez municipios de Michoacán en el área circunvecina al Centro Acuícola de Zacapu.

humedad. El procesamiento del alimento consistió en triturar los granos en un molino de carne manual antes de alimentar los peces. En comparación, el alimento balanceado comercial para tilapia, que raramente se utiliza en la región para la acuicultura intensiva, contiene 30% de proteína, 6.50% de aceite, 5.5% de fibra, 10% de ceniza, 0.7% de calcio, 0.85% de fósforo y 11.5% de humedad.

El muestreo del 10% de los organismos presentes en cada estanque a 45, 90, 135 y 180 días se fue ajustando en función de la mortalidad, lo que permitió la construcción de una base de datos de longitud patrón, peso y altura a cuatro tiempos. Una prueba de F para los distintos tratamientos continuó con una serie de comparaciones múltiples de medias mediante la prueba de Duncan (Steel *et al.* 2006). Los factores de condición simple y múltiple (KM de acuerdo con Medina-García, 1979) también fueron calculados como la relación entre longitud y peso.

Al final del cultivo, 10 peces tomados al azar de los regímenes alimenticios R₀ y R_F fueron disecados para observar su contenido estomacal bajo el microscopio estereoscópico.

Para el enfoque empírico, siete cuerpos de agua temporales ("Los Puercos", "El Pajal", "Botello", "Potrero Colorado",

Tabla 1. Pruebas experimentales basadas en un diseño factorial 3 x 3 incluyendo distintos regimenes alimenticios y distinta densidad de peces en los estanques.

Tratamiento	Densidad orgs. m ⁻²	Régimen alimenticio	Número de orgs.
D _B R ₀	0.5	Alimento natural	330
D _M R ₀	1.0	Alimento natural	660
D _A R ₀	2.0	Alimento natural	1320
D _B R _F	0.5	Fertilización	330
D _M R _F	1.0	Fertilización	660
D _A R _F	2.0	Fertilización	1320
DB ₊ R ₊	0.5	Suplementada con subproductos agrícolas	330
D _M R ₊	1.0	Suplementada con subproductos agrícolas	660
D _A R ₊	2.0	Suplementada con subproductos agrícolas	1,320
		Total	6,930

Tres réplicas por tratamiento= 27 estanques

“Los Callejones”, “El Varal” y “La Yácata; fueron sembrados el 14 de agosto de 2004 con crías de carpa de los mismos tamaños y pesos que las de los estanques a diferentes densidades (0.02, 0.02, 0.15, 0.15, 0.3, 0.6 y 0.6 orgs. · m⁻² respectivamente; Tabla 2). Después de 210 días de cultivo, la cosecha total de peces tuvo lugar con la cooperación de las comunidades locales. Las estimaciones del peso total de la cosecha y del área de cada embalase se utilizaron para el cálculo del rendimiento por hectárea.

El monitoreo de variables físicas y químicas básicas se realizó diariamente durante el periodo de julio a diciembre, entre las 12:00 y 15:00 horas a fin de contar con las condiciones óptimas de luz para estimar la transparencia del disco de Secchi, como un indicador de la productividad primaria de los estanques; con registros adicionales de la temperatura del agua y del oxígeno disuelto mediante un oxímetro YSI modelo 55 y el pH del agua mediante un potenciómetro de campo Hanna Instruments.

Los datos obtenidos de cada pez en todos los tratamientos y sus réplicas correspondientes fueron manejados estadísticamente mediante el programa Statistica 6.0 Student para reducir el volumen de información, facilitar la interpretación y aplicar pruebas de significancia. Por lo mismo, los datos presentados en adelante expresan medias aritméticas.

RESULTADOS

Pruebas experimentales en estanques. La longitud y el peso de los peces en D_B superaron los resultados con D_M y D_A sin importar el régimen alimenticio, excepto para las combinaciones D_B y D_M con R₊ (Fig. 4a-f).

En lo que respecta al efecto de los regimenes alimenticios, R₀ estimuló un crecimiento acelerado en la etapa temprana de 45 días, para continuar en D_B con un crecimiento lento que terminó

en 14.4 cm y 111 g respectivamente. En los casos D_M y D_A, el impulso vigoroso inicial en el crecimiento alcanzó una asíntota a 10.1 cm y 42 g; y 10.0 cm y 39 g, respectivamente. R_F por su parte indujo un crecimiento consistente en relación inversa a los tres niveles de densidad, es decir, 9.7 cm y 34 g con D_A, 12.3 y 74 g con D_M y 14.4 cm y 108 g con D_B respectivamente; sin presentar diferencias significativas con respecto a R₀.

R₊ superó los rendimientos de las otras dos modalidades de alimentación al alcanzar 17.9 cm y 226 g con D_B; 16.6 cm y 183 g con D_M; y 14.1 cm y 118 g con D_A. A pesar de los rendimientos más altos con la combinación D_AR₊ a nivel del estanque, equivalente a 1.2 t · ha⁻¹ en 180 días, los peces a nivel

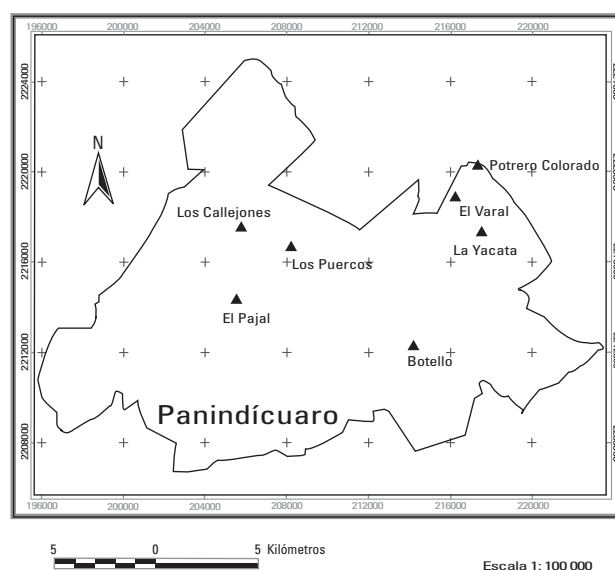


Figura 2. Ubicación de los siete microembalses temporales bajo estudio en el municipio de Panindícuaro, Michoacán.

Tabla 2. Datos de la superficie inundada y densidad de organismos de los siete microembalses temporales estudiados del Municipio de Panindícuaro, Michoacán.

Localidad	Microembalse	Superficie inundada (ha)	Densidad (orgs. m ⁻²)
Pomacuaro	Los Puercos	10.0	0.02
Panindícuaro	El Pajal	4.0	0.02
Botello	Botello	0.5	0.15
Curimeo	Potrero Colorado	0.5	0.15
Ojo de Agua	Los Callejones	1.0	0.3
Exhacienda	El Varal	0.5	0.6
Curimeo	La Yacata	0.5	0.6

individual alcanzaron menor tamaño y peso que $D_B R_1$. El análisis de varianza mostró los resultados al final del experimento (Fig. 5) así como las comparaciones múltiples de medias (Tabla 3) En correspondencia, KM disminuyó en los casos $D_M R_0$, $D_A R_0$ y $D_A R_F$ con valores por debajo de la línea de 1.65. Es decir, sin alimento suplementario, una mayor competencia entre organismos por el alimento tiene como consecuencia una menor ganancia en peso individual (Fig. 6) como lo demuestra la comparación múltiple de medias (Tabla 4).

Pruebas empíricas en siete microembalses. El aumento en densidad dio lugar a un rendimiento creciente: Los Puercos, 0.08 ton·ha⁻¹; El Pajal, 0.075 ton·ha⁻¹; Botello, 0.4 ton·ha⁻¹; Potrero Colorado, 0.4 ton·ha⁻¹; Los Callejones, 1 ton·ha⁻¹; El Varal, 2 ton·ha⁻¹ y La Yácata, 2 ton·ha⁻¹; a 0.02, 0.02, 0.15, 0.15, 0.3, 0.6 y 0.6 orgs·m⁻² respectivamente.

Variables físicas y químicas. Durante el periodo de estudio (Tabla 5), la temperatura ambiental descendió gradualmente de un valor máximo de 25.9 a 18.1°C, mientras las temperaturas mínimas cambiaron de 13.8 a 3.1°C. Bajo el mismo patrón de mayor a menor, la temperatura del agua mantuvo un rango máximo

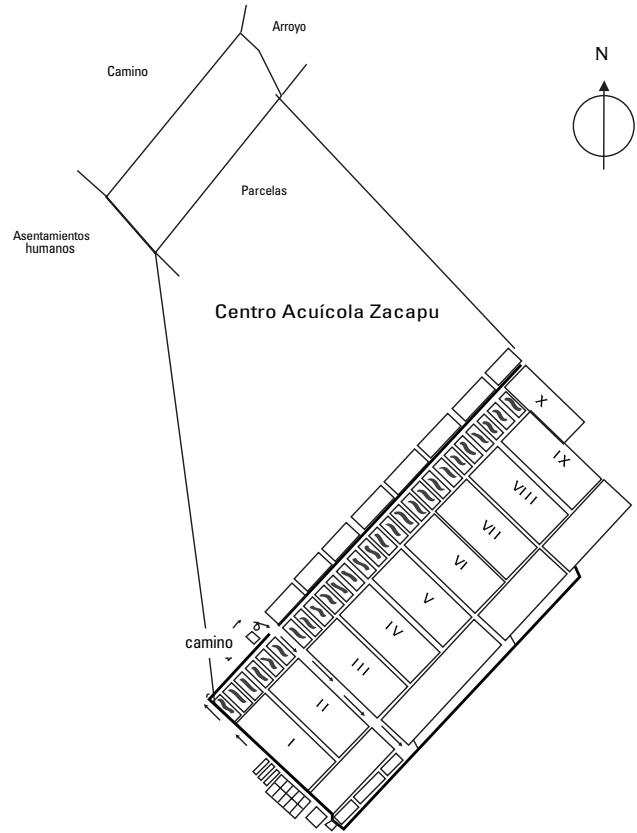


Figura 3. Instalaciones del Centro Acuícola de Zacapu, Michoacán con los 27 estanques experimentales utilizados en el presente estudio.

de 22.5 a 17°C y mínimo de 19.2 a 12.9°C. La transparencia del disco de Secchi inició con 40 cm y terminó en 28 cm al final del experimento. Por su parte, el oxígeno disuelto permaneció por arriba del 75% de saturación del gas en el agua, y el pH mantuvo características neutras.

Tabla 3. Comparación Múltiple de Duncan para la longitud patrón promedio de carpas *Cyprinus carpio* a 180 días de cultivo bajo condiciones de diferentes regimenes de alimentación y distinta densidad de organismos. (+) diferencias significativas; (-) no diferencias significativas ($\alpha=0.05$).

	$R_0 D_B$	$R_0 D_M$	$R_0 D_A$	$R_F D_B$	$R_F D_M$	$R_F D_A$	$R_i D_B$	$R_i D_M$	$R_i D_A$
$R_0 D_B$		+	+	-	+	+	-	+	+
$R_0 D_M$	+		-	+	+	-	+	+	+
$R_0 D_A$	+	-		+	+	-	+	+	+
$R_F D_B$	-	+	+		+	+	-	+	+
$R_F D_M$	+	+	+	+		+	+	+	+
$R_F D_A$	+	-	-	+	+		+	+	+
$R_i D_B$	+	+	+	+	+	+		-	+
$R_i D_M$	+	+	+	+	+	+	-		+
$R_i D_A$	-	+	+	-	+	+	+	+	

Tabla 4. Comparación múltiple de Duncan sobre el factor de condición múltiple (MK) de carpas *Cyprinus carpio*, a 180 días de cultivo bajo condiciones de regimenes de alimentación diferentes y distinta densidad de organismos, (+) diferencias significativas (-) no diferencias significativas ($\alpha=0.05$).

	R ₀ D _B	R ₀ D _M	R ₀ D _A	R _F D _B	R _F D _M	R _F D _A	R ₊ D _B	R ₊ D _M	R ₊ D _A
R ₀ D _B		+	+	-	-	+	-	-	-
R ₀ D _M	+		-	+	+	-	+	+	+
R ₀ D _A	+	-		+	+	+	+	+	+
R _F D _B	-	+	+		-	+	-	+	+
R _F D _M	-	+	+	-		+	-	+	+
R _F D _A	+	+	+	+	+		+	+	+
R ₊ D _B	-	+	+	-	-	+		-	-
R ₊ D _M	-	+	+	+	+	+	-		-
R ₊ D _A	-	+	+	+	+	+	-	-	

DISCUSION

Con los datos obtenidos de longitud y peso de carpas en las pruebas experimentales de alimentación, se puede afirmar que existe la posibilidad de confinar una mayor cantidad de organismos con la adición de sub-productos agrícolas, es decir, bajo cultivo semintensivo. Bajo esta modalidad, la introducción de 10,000 orgs. · ha⁻¹ por embalse corresponde a una producción

teórica esperada de 2.5 t · ha⁻¹ con carpas de 250 g. Más allá de la cifra señalada, el aumento en densidad afectaría la longitud y el peso individuales de los organismos en cultivo, así como su factor de condición. No obstante, en contraste con los aspectos técnicos, la rentabilidad de la actividad dependerá de factores externos como el número de pescadores/acuicultores presentes en el embalse y las condiciones de mercado.

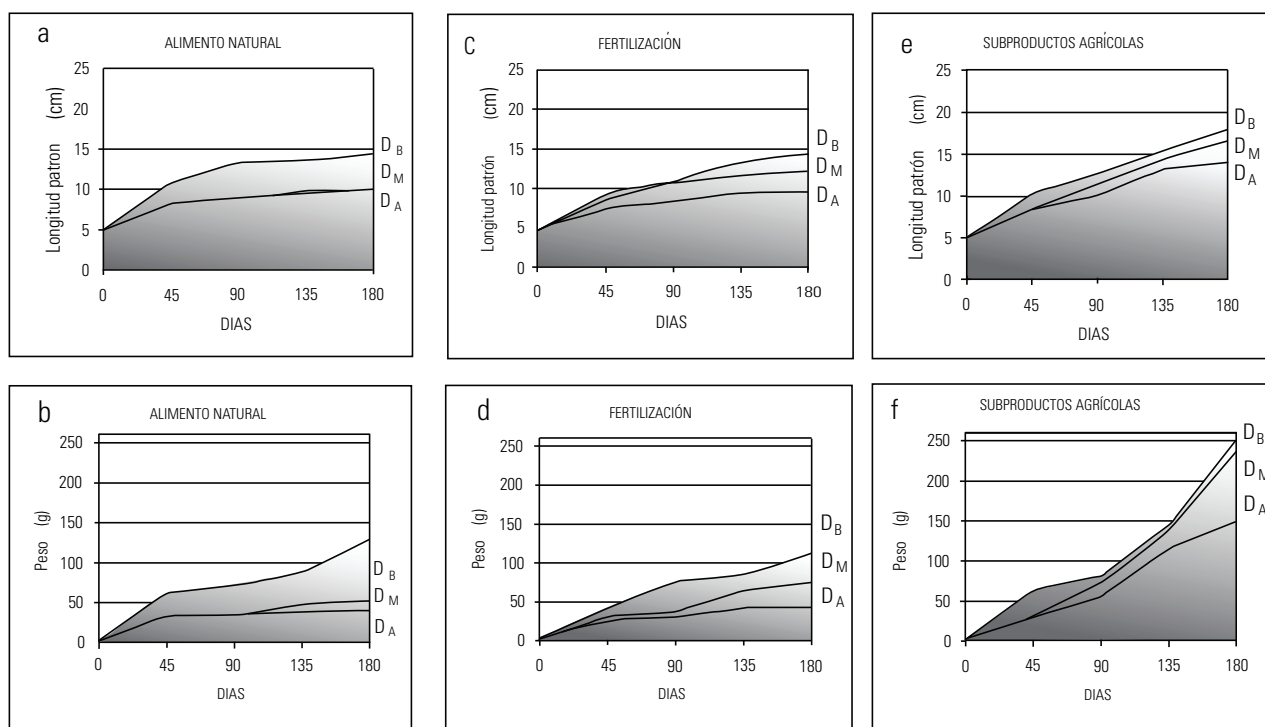


Figura. 4a-f. Evaluación del crecimiento (en longitud y peso) de la carpa común (*Cyprinus carpio*) en estanques con diferentes condiciones de alimentación y densidad de organismos. a-b) Alimentación natural (R₀). c-d) Estanques con fertilización (R_F). e-f) alimentación suplementada con subproductos agrícolas (R₊). D_B= Densidad baja de organismos (0.5 org · m⁻²); D_M = Densidad media de organismos (1.0 org · m⁻²); D_A = Densidad alta de organismos (2.0 org · m⁻²).

Tabla 5. Promedio mensual, durante el periodo junio a diciembre de 2004, de las variables físicas y químicas registradas en los estanques de experimentación de Zacapu, Michoacán

Meses	T Amb. Max. (°C)	T Amb. Min (°C)	T agua Máx. (°C)	T agua Mín. (°C)	Transp. disco de Secchi (cm)	Oxígeno disuelto (mg·l ⁻¹)	pH
junio	25.9	13.8	22.5	19.2	40	6.8	7.0
julio	25.4	12.4	22.5	19.5	37	5.8	7.2
agosto	23.6	12.2	22.0	19.0	35	5.4	7.1
Sept.	22.0	12.2	21.5	18.0	33	6.0	7.0
Oct.	22.0	10.0	21.0	17.0	33	6.2	7.0
Nov.	20.7	6.0	19.2	14.7	31	6.8	7.1
Dic.	18.1	3.1	17.0	12.9	28	7.0	7.0

En cuanto a la alimentación de las carpas, el régimen R_0 mostró una fuerte dependencia de la materia verde, específicamente de algas filamentosas (*Cladophora* spp.), presente en 90% de los artículos consumidos; mientras R_F abarcó una relación trófica más amplia sobre el plancton, microcrustáceos, moluscos e insectos. Es decir, el efecto de la adición de fertilizante dio lugar a un cambio más bien cualitativo de variedad de organismos disponibles para la alimentación de los peces, más que un efecto cuantitativo desde el nivel primario con consecuencias para la red alimenticia.

En el caso excepcional de una acuicultura intensiva de carpa realizada en la región de Zacapu, los productores utilizaron alimento para tilapia con 30% de proteína (ejido Bellas Fuentes, municipio de Coeneo). Cabe destacar que la falta de disponibilidad de alimento especializado para carpa en el mercado

local es consecuencia del bajo costo/beneficio de la acuicultura con esta especie, orientada más bien hacia el autoconsumo en las comunidades pesqueras y/o campesinas. Una comparación de precios entre los sub-productos utilizados en los experimentos (\$2.96·kg) y el alimento comercial empleado para tilapia (\$6.44·kg) revela ventajas económicas para la mezcla de ingredientes utilizada en la presente investigación.

Las variables básicas físicas y químicas registradas para los estanques del Centro Acuícola sugieren condiciones homogéneas y características de un medio acuático turbio. Un descenso en la temperatura del agua (de 19.2°C en junio a 12.9°C en diciembre) resultó muy bajo en Zacapu para el crecimiento de la especie a finales del año. En sí, los estanques permanecieron inalterados a la adición de fertilizantes (R_F) quizás porque las partículas suspendidas en el medio acuático dificultan el paso de luz más allá de la capa superficial para su aprovechamiento en la fotosíntesis por parte del fitoplancton (caso Chapala, Dávalos-Lind, 1996; Lind & Dávalos-Lind, 2002). Así, los microembalses de la región de Zacapu de aguas someras proporcionan un hábitat apropiado para las carpas tanto por la resuspensión de partículas ocasionada por el viento, como por los hábitos de los peces que al remover continuamente los sedimentos desarrollan condiciones de turbiedad en el agua (Zambrano *et al.*, 2001; Scheffer *et al.*, 2003). Así, las prácticas de fertilización de embalses no resultan de utilidad en la región de Zacapu, como sí los hacen en el estado de Morelos (Quiroz, 1990) quizás por la composición de las partículas presentes en los suelos volcánicos de Michoacán; y solamente la adición de alimento permite obtener mayores rendimientos productivos.

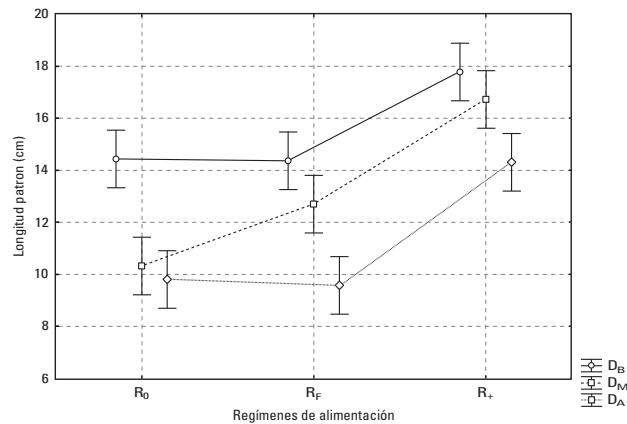


Figura. 5 Análisis factorial (3 x 3) para la longitud patrón de la carpa común (*Cyprinus carpio*) a 180 días de cultivo, bajo tres regímenes de alimentación y tres densidades de organismos. Las barras verticales indican el intervalo de confianza del 95%. R_0 = Alimentación natural; R_F = Estanques con fertilización; R_A = alimentación suplementada con subproductos agrícolas. D_B = Densidad baja de organismos (0.5 org. m⁻²); D_M = Densidad media de organismos (1.0 org. m⁻²); D_A = Densidad alta de organismos (2.0 orgs. m⁻²).

Estudios realizados en otras partes del país consideran el potencial acuícola de los microembalses en términos del rendimiento en kg·ha⁻¹·año⁻¹ en función de la capacidad de carga de los embalses. Así, los rendimientos varían entre los 150 y los 450 kg·ha⁻¹·año⁻¹ bajo las condiciones más elementales de repoblamiento acuícola (Arredondo-Figueroa & Flores-Nava, 1992). Las cifras ascendieron a 800 y 1,500 kg·ha⁻¹·año⁻¹ en un período de seis meses en dos bordos temporales del estado de Morelos

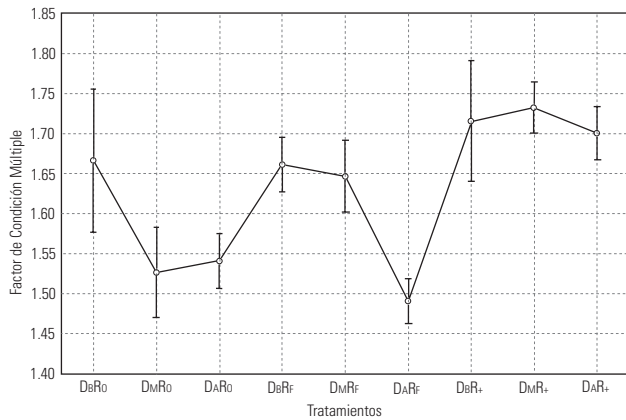


Figura 6. Análisis factorial (3 x 3) para el factor de condición de carpas (KM; Medina & García, 1979), a 180 días de cultivo bajo tres regímenes de alimentación y tres densidades de organismos. Las barras verticales indican el intervalo de confianza del 95%. R₀ = Alimentación natural; R_F = Estanques con fertilización; R₊ = alimentación suplementada con subproductos agrícolas. D_B = Densidad baja de organismos (0.5 org.·m⁻²); D_M = Densidad media de organismos (1.0 org.·m⁻²); D_A = Densidad alta de organismos (2.0 orgs.·m⁻²).

(Hernández-Avilés y Peña Mendoza, 1992); y 2,456 kg·ha⁻¹·año⁻¹ en policultivos extensivos a una densidad de siembra de un org.·m⁻² (Navarrete y Sánchez, 1989). En comparación, los embalses de Panindícuaro prácticamente alcanzan este último nivel de rendimiento a una densidad menor (0.6 orgs.·m⁻²) en función de su capacidad de carga.

En el ámbito de la acuicultura semintensiva, la aplicación de alimento suplementario permitió alcanzar rendimientos de 1,108 y 1,818 kg·ha⁻¹·año⁻¹ con carpa espejo (Sánchez, 1984) y hasta 5,506 kg·ha⁻¹·año⁻¹ (Quiroz, 1990) con la fertilización de estanques en el estado de Morelos. Por su parte, la granja integral de Tezontepec de Aldama, estado de Hidalgo, con policultivos de carpa y heterocultivos de mojarra con langostino, obtuvo rendimientos que oscilan entre 1.5 y 4.25 ton·ha⁻¹·año⁻¹ con una densidad de carga de 1.5 a 12.5 orgs·m⁻² (Hernández-Avilés *et al.*, 2007).

Rawson (1952) menciona que el entendimiento, medición y predicción de la productividad biológica puede ser considerada como el problema central de la limnología. Un enfoque basado en el empiricismo y dirigido a la predicción de las propiedades salientes del sistema se denomina "predictivo", "empírico" u "holístico" (Peters, 1986). En el manejo de pesquerías, Peters (1982) señala que el índice morfoedáfico (IME) representa una de las herramientas predictivas más sobresalientes desarrolladas desde las propuestas de Rawson (1952) y posteriormente modificadas por Ryder (1965). Este último autor postuló que la producción pesquera está afectada por tres factores principales: los morfométricos, edáficos y climáticos, no obstante excluyó los factores climáticos para reducir la complejidad de la relación con la producción de peces. Schlesinger y Regier

(1982), posteriormente retomaron la interacción del componente morfoedáfico con el clima y su relación con la producción y los rendimientos pesqueros.

En México, el enfoque del IME cuenta con escasos ejemplos (Henderson, 1974; Cortés, 1976) por la falta de bases de datos disponibles sobre la producción pesquera; sin embargo, Hernández-Avilés *et al.* (2007) destacaron la relación entre los componentes climáticos, morfométricos y edáficos que en su interacción conjunta modulan el flujo de energía y el reciclado de materiales expresado como producción y comentan una serie de casos de estudio en pequeños embalses asociados al componente climático. Basado en el mismo índice, Rojas-Hoyo (1986) calculó para Michoacán y tan solo para embalses menores de 10 ha, un potencial de producción pesquera de 42,127 ton sin tomar en cuenta los factores de mercado.

En Cuba, país más sobresaliente en manejo de embalses y parecido al caso mexicano, los cuerpos de agua son estudiados mediante una evaluación de su productividad a través del IME para calcular la carga que podrían soportar y, con base en ello, determinar los organismos por introducir y la frecuencia de dicha introducción; de igual forma se estudia la fauna establecida para determinar la talla mínima de siembra y los esfuerzos de protección que hay que dedicar a los organismos sembrados, posteriormente se efectúa un monitoreo del desarrollo de los organismos y del ambiente para sustentar decisiones futuras relativas al esfuerzo de pesca e incluso a las necesidades de cosechar prioritariamente ciertas tallas, sexos o especies para controlar o para incrementar la producción (Juárez-Palacios, 1992). Por otro lado, los modelos de producción de Schaefer (1954) y Fox (1970) han sido ampliamente utilizados en las evaluaciones pesqueras, con base en la estadística comercial obtenida en los embalses cubanos, empleando como esfuerzo el número de redes o el número de hombres, días de pesca y la captura por unidad de esfuerzo en kilogramos (Marí, 1993).

Rigler (1982) discute que, aunque los limnólogos y biólogos pesqueros tienen una meta común – la predicción del tamaño futuro de los stocks de peces – existe poca comunicación entre los dos tipos de especialistas por la falta de un paradigma en común, y propone el "empiricismo" como una posible vía de acercamiento e interacción. Desde el punto de vista de la dinámica poblacional, Lorenzen (1996) puso a consideración un modelo simple de Von Bertalanffy para un crecimiento dependiente de la densidad en acuicultura extensiva, con aplicación a la carpa común (*Cyprinus carpio*); y Ritter-Ortiz *et al.* (1992) en México, calcularon el mayor rendimiento poblacional de la pesquería de carpa en individuos de dos años, para la presa Atlangatepec en Tlaxcala.

El enfoque denominado "Aprendizaje Adaptivo" (Garaway & Arthur, 2004) practicado en el sureste asiático, concibe un proceso estructurado e iterativo de "aprender sobre la práctica" en

el cual el conocimiento y las habilidades de una serie de interesados, incluyendo a los usuarios de los recursos, organizaciones no gubernamentales, gobierno e investigadores, proporcionan elementos sólidos para aprender y desarrollar. Para la siembra de embalses en Laos (Garaway & Arthur, 2002), la recomendación básica radica en la siembra de 3,000 a 6,000 orgs. · ha⁻¹; y 9,800 peces · ha⁻¹ · año⁻¹ bajo condiciones óptimas de fertilización para el noreste de Tailandia (Lorenzen *et al.*, 1998). Ambos casos coinciden aproximadamente con el presente trabajo en cuanto a las proporciones de siembra. El estado eutrófico de los embalses tailandeses resulta comparable al efecto de la adición de subproductos agrícolas en Zacapu. La adición de fertilizantes en los estanques del Centro Acuícola no trajo consigo ventajas para el crecimiento de los peces, de tal forma que su aplicación carece de fundamento por las condiciones turbias del medio acuático que impiden el desarrollo del fitoplancton a través de la asimilación de los nutrientes elementales como nitrógeno o fósforo.

Moreno-Hernández *et al.* (1993) señalaron para México la carencia de modelos que permitan estimar la capacidad de carga de cada embalse, a efecto de sustentar la programación de siembras y repoblaciones. La presente investigación aporta datos en ese sentido para la región de Zacapu.

AGRADECIMIENTOS

A Claudia de Jesús Avendaño por su apoyo en el trabajo con sistemas de información geográfica; al Dr. Viktor Golod de la estación piscícola de Ropcha en la región Lomonosov de San Petersburgo, Rusia, por sus consejos para emprender el trabajo de selección genética en Zacapu; a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, a través de la Coordinación de la Investigación Científica, por el apoyo recibido a través del proyecto Carta Acuícola de Michoacán y la Maestría en Limnología y Acuicultura. Al Dr. José Luis Arredondo Figueroa y a la Dra. María Esther Meave del Castillo por sus sugerencias para mejorar el manuscrito.

REFERENCIAS

- ARREDONDO-FIGUEROA, J. L. & A. FLORES-NAVA. 1992. Características limnológicas de pequeños embalses epicontinentales, su uso y manejo en la acuicultura. *Hidrobiológica* 3/4: 1-10.
- ARREDONDO-FIGUEROA, J. L. & S. D. LOZANO-GRACIA. 1994. Water quality and yields in a polyculture of non-native cyprinids in Mexico. *Hidrobiológica* 4: 1-8
- CORTÉS, R. 1976. *Estimación del Rendimiento Potencial Piscícola del Estado de Aguascalientes (México) según Índice Morfoedáfico y Consideraciones para el Fomento de la Piscicultura*. Fideicomiso para el Desarrollo de la Fauna Acuática. 12 p.
- DÁVALOS-LIND, L. 1996. Phytoplankton and bacterioplankton stress by sediment-borne pollutants. *Journal of Aquatic Ecosystem Health* 5: 99-105
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, INLAND WATER RESOURCES AND AQUACULTURE SERVICE, FISHERY RESOURCE DIVISION). 2003. *Review of the State of World Fisheries Resources: Inland Fisheries*. Circular de Pesquerías FAO 942, Roma, 53 p.
- FOX, W. JR. 1970. An exponential surplus yield model for optimizing exploitation of fish populations. *Transactions of the American Fisheries Society* 170: 80.
- GARAWAY, C. J. & R. I. ARTHUR. 2002. *Community Fisheries: Lessons from Southern Lao PDR*. London. 28 p.
- GARAWAY, C. J. & R. I. ARTHUR. 2004. *Adaptive learning: a practical framework for the implementation of adaptive co-management – lessons from selected experiences in South and Southeast Asia*. MRAG Ltd. London. 44 p.
- GARAWAY, C. J. & K. LORENZEN. 2001. Developing fisheries enhancements in small water bodies: lessons from Lao PDR and Northeast Thailand. In: De Silva, S.S. (Ed.). *Reservoir and Culture based Fisheries: Biology and Management*. ACIAR Proceedings 98. Canberra, pp. 227-234.
- GONZÁLEZ-YAÑEZ, J., A. AURÓ DE OCAMPO & V. ANÍS LAO TOLENTINO. 2001. Evaluación del crecimiento de carpa común (*Cyprinus carpio*, var. *communis*) alimentada con cerdaza ensilada. *Veterinaria México* 33: 109-118.
- HASAN M. R. & H. A. J. MIDDENDORP. 1997. Optimising stocking density of carp fingerlings through modeling of the carp yield in relation to average water transparency in enhanced fisheries in semi-closed waters bodies in western Bangladesh. In: FAO (Ed.) *Inland Fishery Enhancements*. Publicación técnica 374. Roma. pp. 159-181.
- HENDERSON, F. 1974. *Programa de Evaluación de Recursos para apoyar el Desarrollo Pesquero en Aguas Mexicanas*. Programa de Investigación para el Fomento Pesquero México PNUD/FAO/CPERM 8: 62 p.
- HERNÁNDEZ-AVILÉS, J. S. & B. PEÑA-MENDOZA. 1992. Rendimientos piscícolas en dos bordos semi-permanentes en el Estado de Morelos, México. *Hidrobiológica* 13: 11-23
- HERNÁNDEZ-AVILÉS, J. S., J. L. GARCÍA-CALDERÓN, M. C. GALINDO DE SANTIAGO & J. LOERA LÓPEZ. 2007. Microembalses: una alternativa de la limnicultura. En: De la Lanza Espino, G. (compiladora). *Las Aguas Interiores de México: Conceptos y Casos*. AGT Editor, S.A. México, D.F., pp. 597-620.
- HISHAMUNDA N. & R. P. SUBASINGHE. 2003. *Acuicultura Development in China*. Documento Técnico de Pesquerías FAO 427, Roma, 56 p.
- HUET, M. & J. A. TIMMERMANS. 1994. *Textbook of Fish Culture: Breeding and Cultivation of Fish*. Blackwell Science. 2a Edición. Cambridge, 456 p.

- JUÁREZ-PALACIOS, R. 1987. La acuicultura en México, importancia social y económica. In: *Desarrollo Pesquero Mexicano 1986-1987*. Secretaría de Pesca. México, pp. 219-232.
- JUÁREZ-PALACIOS, R. 1992. El aprovechamiento de los embalses en América Latina a través de la práctica de la acuicultura de repoblación. In: Juárez-Palacios, R (Ed.). *Manejo y Explotación Acuícola de Embalses de Agua Dulce en América Latina*. Documento preparado para el proyecto GCP/RLA/075/ITA Apoyo a las Actividades Regionales de Acuicultura para América Latina y El Caribe (Aquila I). Documento de Campo de FAO No.1. México, D.F. 196 p.
- KASHIGAN, S. 1991. *Multivariate Statistical Analysis: a Conceptual Introduction*. Radius Press. USA. 303 p.
- LIND, O. & L. DÁVALOS-LIND. 2002. Interaction of water quantity with water quality: the Lake Chapala example. *Hydrobiologia* 467: 159-167.
- LITTLE, D. C. & P. EDWARDS. 2003. *Integrated Livestock-Fish Farming Systems*. Servicio de Recursos en Aguas Interiores y Acuicultura de FAO. Roma. 177 p.
- LORENZEN, K. 1996. A simple von Bertalanffy model for density-dependent growth in extensive aquaculture, with an application to common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture* 142: 191-205.
- LORENZEN, K. & K. ENBERG. 2002. Density-dependent growth as a key mechanism in the regulation of fish populations: evidence from among-populations comparisons. *Proceedings of the Royal Society of London* 269: 49-54.
- LORENZEN, K., J. JUNTANA, J. BUNIT & D. TOURONGRUANG. 1998. Assessing culture fisheries practices in small water bodies: a study of village fisheries in Northeast Thailand. *Aquaculture Research* 29: 211-224.
- MARÍ, A. 1993. Pesquerías derivadas de la acuicultura en aguas interiores de Cuba. In: Juárez-Palacios, R. & E. Varsi (Eds). *Avances en el Manejo y Aprovechamiento Acuícola de Embalses en América Latina y El Caribe*. II Taller regional sobre manejo y explotación acuícola de embalses (México, D.F. 19-21 Agosto 1992).
- MEDINA-GARCÍA, M. 1979. *El Factor de Condición Múltiple (KM) y su Importancia en el Manejo de al Carpa Israel (Cyprinus carpio specularis) I. Hembras en el estado de madurez V (Nikolsky, 1963)*. Manuales Técnicos de Acuicultura. Departamento de Pesca. México. 6 p.
- MORENO-HERNÁNDEZ, A., M. A. VELÁSQUEZ-ESCOBAR & G. DÍAZ-ZAVALA. 1993. Actualización del estudio de manejo y explotación acuícola de los embalses en México. En: Juárez-Palacios, R. y E. Varsi (Eds). *Avances en el Manejo y Aprovechamiento Acuícola de Embalses en América Latina y El Caribe*. II Taller regional sobre manejo y explotación acuícola de embalses (México, D.F. 19-21 Agosto 1992).
- NAVARRETE, S. N. A. & R. SÁNCHEZ. 1989. El sistema de policultivo de peces en el medio rural mexicano. *Revista Latinoamericana de Acuicultura, Perú* 39: 45-53.
- PETERS, R.H. 1982. The relation between fisheries management and limnology. *Transactions of the American Fisheries Society* 111: 121-132.
- PETERS, R.H. 1986. The role of prediction in limnology. *Limnology and Oceanography* 31: 1143-1159.
- QUIROZ, C.H. 1990. *Fertilización Intensiva en Estanques Rústicos de Producción Ejidal con Policultivos Piscícolas, como Estrategia de Integración de Procesos Agropecuarios en la Acuicultura, en el Estado de Morelos, México*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 85 p.
- RAWSON, D.S. 1952. Mean depth and the fish production of large lakes. *Ecology* 33: 513-521.
- REMEDIOS, L. 1999. *Acuicultura, Sociedad y Medio Ambiente*. Ministerio de la Industria Pesquera. Cuba. 8 p.
- REMEDIOS, L. 2001. *La Acuicultura en Pequeños Embalses en América Latina y El Caribe*. FAO. Roma, 25 p.
- RIGLER, F. H. 1982. The relation between fisheries management and limnology. *Transactions of the American Fisheries Society* 111: 121-132.
- ITTER-ORTIZ, W., J. SUÁREZ-SÁNCHEZ & R. RODRÍGUEZ-MALDONADO. 2001. Crecimiento, sobrevivencia y optimización de la carpa (*Cyprinus carpio*) en la presa de Atlangatepec, Tlaxcala. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* 19: 43-56.
- ROJAS-HOYO, J. 1986. Avance del inventario nacional de cuerpos de agua epicontinentales, rendimiento potencial e importancia para la acuicultura. En: Vila, I. & E. Faggeti. (Eds.). *Trabajos presentados al Taller Internacional sobre Ecología y Manejo de Peces en Lagos y Embalses*. COPESCAL Documento Técnico 4. Santiago, Chile. 244 p.
- RYDER, R. A. 1965. A method for estimating the potential fish production of north-temperate lakes. *Transactions of the American Fisheries Society* 94: 214-218.
- SÁNCHEZ, M. R. 1984. *Análisis de los Aspectos Biológicos y Económico en dos Casos de Piscicultura Rural con Carpa (Cyprinus carpio specularis)*. Tesis de licenciatura. ENEP Iztacala. México. 122 p.
- SÁNCHEZ, M. R. & N. A. NAVARRETE. 1987. Rendimiento de carpa espejo (*Cyprinus carpio specularis*) en bordos del Estado de México. *Revista Latinoamericana de Acuicultura (Lima, Perú)*: 33-35.
- SCHAEFER, M. B. 1954. Some aspects of the dynamics of population important to the management of commercial massive fisheries. *Bulletin of the Inter- American Tropical Tuna Commission* 1: 25-26.
- SCHEFFER, M., R. PORTIELJE & L. ZAMBRANO. 2003. Fish facilitate wave resuspension of sediment. *Limnology & Oceanography* 48: 1920-1926.
- SCHLESINGER, D. A. & H. A. REGIER. 1982. Climatic and morpho-daphic indices of fish yields from natural lakes. *Transactions of the American Fisheries Society* 111: 141-150.

- SEPECSA (SECRETARÍA DE PESCA). 1988. *Manual Biotecnológico para el Cultivo y Reproducción de Ciprinidos en México*. Secretaría de Pesca. México, D. F. 218 p.
- SINHA, V. R. P. 1985. *Integrated Carp Farming in Asian Country*. Departamento de Pesquerías y Acuicultura de FAO. Bangkok. 19 p.
- STEEL, R. G. D., J. H. TORRIE & D.A. DICKEY. 2006. *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach*. McGraw-Hill Co. 3a. edición. Kogakusha, 672 p.
- SUGUNAN, V. V. 1997. Fisheries Management of Small Water Bodies in Seven Countries in Africa, Asia and Latin America. Circular de Pesquerías FAO 933.
- THUOK, N. 1997. Inland Fishery Management and Enhancement in Cambodia. En: FAO (Ed.). *Inland Fishery Enhancements*. Publicación Técnica 374. Roma, pp. 79-89.
- WETZEL, R. 2001. *Limnology: Lakes and Rivers Ecosystems*. Academic Press. 3a. edición. 850 p.
- ZAMBRANO, L., M. SCHEFFER & M. MARTÍNEZ-RAMOS. 2001. Catastrophic response of lakes to benthivorous fish introduction. *OIKOS* 94: 344-350.

Recibido: 13 de septiembre de 2008.

Aceptado: 2 de abril de 2009.

