Ciencia Pesquera (2012) 20(2): 43-54

Rendimiento máximo sostenido y esfuerzo óptimo de pesca de la tilapia *Oreochromis aureus* en la presa Vicente Guerrero, Tamaulipas, México

Jorge Homero Rodríguez-Castro[*]*, Arcadio Valdez-González*[**] *y Alejandro González-Cruz*[***]

Se estimaron el rendimiento máximo sostenido (RMS) y el esfuerzo óptimo (f_{RMS}) de la pesquería de la tilapia *Oreochromis aureus* en la presa Vicente Guerrero, Tamaulipas, México, mediante la aplicación de los modelos de producción excedente de Schaefer (MS) y de Fox (MF) a una serie de datos de captura y esfuerzo pesquero [número de pescadores (NP), número de embarcaciones (NE), número de redes (NR) y metros lineales de red (MLR)] correspondiente al periodo 1986-2001. Las cuatro unidades de esfuerzo registraron ajustes significativos con la captura por unidad de esfuerzo pesquero (CPUE), pero el NR y los MLR al utilizar el ln(CPUE) alcanzaron los valores más altos de r^2 y *F,* y valores menores de *p* ($r^2 = 0.878$, $F = 93.81$ y $p<0.0005$; y $r^2 = 0.829$, $F = 68.08$ y $p<0.0005$, respectivamente) y generaron los intervalos de confianza más estrechos del RMS, f_{RMS} y $CPUE_{RMS}$. Con el NR y los MLR se calculó el RMS de 514 y 583 t, respectivamente, y una $CPUE_{RMS}$ de 4.31 t/red/año y 25.41 t/año/mil-metros-lineales-de-red, respectivamente. Según el MS y el MF se obtuvo un f_{RMS} de 104 y 79 pescadores, 30 y 19 embarcaciones, 274 y 149 redes, y 38 000 y 20 000 metros lineales de red. El RMS por el NR (MF = 514 t y MS = 429 t) fue rebasado en 1994 (734 t) en 43% y 26%, respectivamente; y el f_{RMS} fue excedido en todas las unidades de esfuerzo, prácticamente todo el periodo de análisis.
Palabras clave: Producción excedente, tilapia, Presa Vicente Guerrero Tamaulipas.

Maximum sustained yield and optimum fishing effort of tilapia *Oreochromis aureus* in Vicente Guerrero Reservoir, Tamaulipas, Mexico

Maximum sustained yield (MSY) and optimum fishing effort (f_{MSY}) of tilapia *Oreochromis aureus* fishery in the reservoir Vicente Guerrero, Tamaulipas, Mexico were estimated, with the surplus production models of Schaefer (SM) and Fox (FM), to a series of catch and fishing effort data [number of fishermen (NF), number of boats (NB), number of nets (NN) and linear meters nets (LMN)], for the period 1986-2001. The four units of effort recorded significant adjustments to the catch per unit effort (CPUE) but the NN and LMN using ln(CPUE) reached the highest values of r^2 and *F*, and lower value *p* ($r^2 = 0.878$, $F = 93.81$ and $p<0.0005$; and $r^2 = 0.829$, $F = 68.08$ and $p<0.0005$, respectively), and generated the narrowest confidence intervals of the MYS, f_{MYS} and $CPUE_{MYS}$. With these units of effort a MYS of 514 and 583 t was calculate, and annual $CPUE_{MYS}$ of 4.31 t/net and 25.41 t/thousand-meter-linear-of-net, respectively. According to the SM and FM, F_{MSY} 104 and 79 fishermen, 30 and 19 boats, 274 and 149 nets and 38 000 and 20 000 linear meters net were obtained, respectively. The MYS for the NN (FM = 514 t, SM = 429 t) was exceeded in 1994 (734 t) by 43% and 26%, respectively, and the f_{RMS} was exceeded in all units of effort, almost the entire period of analysis.
Key words: Surplus production, tilapia, Vicente Guerrero Tamaulipas reservoir.

Introducción

En la Presa Vicente Guerrero, Tamaulipas (PVGT), se desarrollan pesquerías comerciales y deportivas de gran impulso para la economía regional. Las especies son tilapia *Oreochromis aureus* (Steindachner 1864), en el caso de la pesquería comercial, y la lobina negra *Micropterus salmoides* (Lacépède 1802) en lo que respecta a la pesca deportiva.

En este cuerpo de agua, la pesca comercial se inició en 1973 (Elizondo *et al.* 1996) con la lobina negra y el bagre de canal *Ictalurus punctatus* (Rafinesque 1818), siendo la primera de ellas la pesquería comercial (98%) más importante durante poco más de la primera década (1973-1985) de

[*] Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Laboratorio de Zoología, Blvd. E. Portes Gil 1301 Poniente, A.P. 175, C.P. 87010, Cd. Victoria, Tamaulipas, México. *rodriguezjh@hotmail.com*

[**] Laboratorio de Acuicultura, Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. Cd. Universitaria C.P. 66450, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.

[***] Centro Regional de Investigación Pesquera-Tampico. Instituto Nacional de Pesca. Prolongación Altamira s/n, Colonia Isleta Pérez. C.P. 89090, Tampico, México.

iniciada la pesca comercial en el embalse (Rodríguez *et al.* 2009). Pero a partir de la segunda mitad de la década de los ochenta, la pesquería de la lobina se sustituyó por la de la tilapia al ser introducida esta última a principios de la década de los ochenta (Blanco 1990). La lobina quedó restringida únicamente para la pesca deportiva.

Una vez introducida, la tilapia se posicionó como la principal pesquería comercial en cuanto al volumen de la producción pesquera con 67% y 50% durante los periodos 1986-1997 y 1996-2002, respectivamente; y en cuanto a su valor con 70% y 62% para los mismos periodos (Rodríguez *et al.* 2009). En particular, en 1994, que fue el año de mayor producción pesquera del embalse, la tilapia contribuyó con 91% en el volumen y con más de 90% de su valor (Rodríguez *et al.* 2009). El volumen de la producción pesquera de la PVGT contribuye con 0.02% a la producción nacional y con 0.7% a la producción estatal. Considerando únicamente los embalses de agua dulce del estado de Tamaulipas, la PVGT, participa con 4.3% de la producción pesquera (Rodríguez *et al.* 2009).

La unidad de esfuerzo pesquero de la pesquería de la tilapia de la PVGT es una embarcación, dos pescadores y diez redes de enmalle. La red de enmalle permitida es de 200 m de longitud máxima y de 12.5 cm de luz de malla, sin embargo es usual que se utilicen redes de 100 m longitud máxima con aberturas de malla de 4, 4½ y 5 plg (10.16, 11.43 y 12.7 cm, respectivamente). Con este arte de pesca, además de la tilapia también se capturan la carpa *Cyprinus carpio* (Linnaeus 1758) y el bagre de canal *Ictalurus punctatus* como especies objetivo, y a la lobina *M. salmoides* como pesca incidental.

Con excepción del estudio realizado por Elizondo *et al.* (1996), que obtuvo resultados limitados para estimar el rendimiento máximo sostenido, las investigaciones sobre la tilapia se han centrado en el análisis del crecimiento (García *et al.* 1989[1], Blanco 1990, Morales-Bojórquez y Zavala-Hernández 1992[2], Banda *et al.* 1993[3], Torres 1996[4]) y en la determinación del tamaño de la población y del coeficiente de capturabilidad (Morales-Bojórquez 1995).

Por lo anterior, los objetivos de la presente investigación son estimar el rendimiento máximo sostenido (RMS), el esfuerzo óptimo de pesca (f_{RMS}) y la captura por unidad de esfuerzo pesquero en el RMS ($CPUE_{RMS}$) de la pesquería de la tilapia de la PVGT, durante el periodo 1986-2001, mediante dos modelos de equilibrio de producción excedente.

Los modelos de producción excedente utilizan el *stock* en su globalidad, el esfuerzo total de pesca y el rendimiento total obtenido de éste, sin considerar los parámetros de crecimiento y mortalidad o del efecto del tamaño de la malla sobre la edad de los peces capturados, etc. Su objetivo es determinar el esfuerzo que produce el máximo rendimiento que puede ser sostenido sin afectar la productividad del *stock* en el largo plazo (Sparre y Venema 1995).

Materiales y métodos

La PVGT fue construida por la Secretaría de Recursos Hidráulicos en el periodo 1968-1971 para almacenar las aguas provenientes de los ríos Soto la Marina, Purificación, Corona, Grande, Pilón y Moro, y aprovecharlas para el riego de aproximadamente 42 000 ha, en las presas Las Alazanas y La Patria es Primero. Se localiza en el centro del estado de Tamaulipas, entre 23°45' y 24°05' N y 98°40' y 98°55' O; a 131 msnm con relación a la cortina. Posee una superficie de

1. GARCÍA SS, A Banda V, H Blanco U, JA Mendoza C, M Cervantes P, F Robles G y C Cortez A. 1989. Aportación al estudio de las pesquerías ribereñas continentales en Tamaulipas (lobina, tilapia, bagre y carpa). Dirección General de Pesca, CRIP. Tampico. SEPESCA. México. 130p.

2. MORALES-BOJÓRQUEZ E y VI Zavala-Hernández. 1992 Evaluación del rendimiento pesquero de la tilapia *Oreochromis aureus* Steindachner 1864 en la presa Vicente Guerrero, Tamp. *Memorias XII Coloquio de Investigación. Escuela Nacional de Estudio Profesionales Iztacala. UNAM.* p 41.

3. BANDA VA, S García y H Blanco. 1993. Aportación al estudio de las pesquerías de las aguas continentales de Tamaulipas y propuestas para normar su aprovechamiento pesquero. Informe Técnico (Documento interno). Gobierno del Estado de Tamaulipas, Dirección General de Pesca. Tamaulipas, México. 143p.

4. TORRES M. 1996. Estudio integral de las pesquerías de la presa Vicente Guerrero, Tamaulipas, México. Informe Técnico (Documento interno). Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León. 128p.

inundación de 48 735 ha con una profundidad media de 44 m (Elizondo-Garza 1976[5]). El volumen de agua correspondiente a la superficie de inundación es de 5 398 millones de m^3; sin embargo, en 2007 el que se registró fue de 3 910 millones de m^3, habiendo pasado años con volúmenes más bajos (año 2000, 295 millones de m^3) (INEGI 2009).

Se emplearon los registros históricos anuales de la captura (C en t) de la tilapia y del esfuerzo de pesca (f), representado por el número de pescadores (NP), número de embarcaciones (NE), número de redes (NR) y metros lineales de red (MLR), para una serie de tiempo de 16 años, correspondiente al periodo 1986-2001. Dicha información fue proporcionada por la Oficina de Pesca en Ciudad Victoria, Tamaulipas, en 2003; dependiente de la Delegación de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, en el estado de Tamaulipas. Esta información es recabada por la dependencia gracias a los avisos de arribo, que son los formatos que los usuarios de los recursos pesqueros están obligados a llenar y entregar en tiempo y forma. El esfuerzo pesquero en mención incluye la totalidad de los usuarios de los recursos pesqueros del embalse (cuatro Sociedades Cooperativas y dos permisionarios).

Se realizaron correlaciones lineales simples entre la (C) y las diferentes unidades de esfuerzo pesquero (NP, NE, NR y MLR), y mediante los valores del coeficiente de correlación de Pearson (r) se evaluó el grado de correlación entre las variables.

Se estimó la captura por unidad de esfuerzo pesquero (CPUE) de la forma más simple de cada una de las unidades de esfuerzo pesquero (C/NP, C/NE, C/ NR y C/ MLR), se obtuvo el logaritmo natural de las CPUE (ln CPUE) resultantes y se usó el análisis residual para depurar las series de datos. Para ejecutar este último procedimiento se utilizó el Statistical Package for the Social Sciences (SPSS, Version 18, 2009), para identificar valores extremos. Se ajustaron modelos de regresión lineal simple entre las diferentes unidades de esfuerzo pesquero (NP, NE, NR y MLR) y sus respectivas CPUE y ln CPUE. De cada regresión se obtuvieron los coeficientes de determinación (r^2) y correlación de Pearson (r), y se efectuó un análisis de varianza de la regresión, donde los valores más altos de los coeficientes y del estadístico de prueba (F), así como los menores valores de (p), conformaron el criterio de decisión para elegir la unidad de esfuerzo pesquero (NP, NE, NR o MLR) que mejor explicara la variabilidad de la CPUE. En consecuencia, se supuso que la(s) unidad(es) de esfuerzo pesquero elegida(s) generaría(n) los valores del RMS, f_{RMS} y $CPUE_{RMS}$ más confiables.

El análisis estadístico se efectuó usando el programa SPSS (Version 18, 2009). En el ajuste de los modelos de regresión lineal se utilizó el método de remuestro bootstrap de la forma simple con 3 000 muestras, y un intervalo de confianza tipo percentil de 95 por ciento.

Con base en los modelos de Schaefer (1954) (MS) y Fox (1970) (MF) se obtuvo el RMS y f_{RMS} de acuerdo con lo establecido por Sparre y Venema (1995). Dichos modelos consisten en realizar un ajuste lineal entre la CPUE y el *f*, y entre el ln CPUE y el *f*, respectivamente. El MS expresa la CPUE como una función del esfuerzo como sigue: $Y/f = a+bf$ donde Y = captura, f = esfuerzo y *a* y *b* son constantes que son estimadas mediante el método de mínimos cuadrados. La correspondiente curva de captura está dada por la ecuación siguiente: $Y = af+bf^2$, que tiene un RMS y un f_{RMS}, de acuerdo con las siguientes fórmulas: $RMS = -0.25 \cdot a^2/b$ y $f_{RMS} = -0.5 \cdot a/b$, respectivamente.

En el caso del MF, en lugar de suponer una relación lineal entre la CPUE y el esfuerzo, supone una función de tipo exponencial: $\ln(Y/f) = a+bf$, donde las constantes *a* y *b* se obtienen de la misma forma que la usada para el MS, sólo que sustituyendo la variable dependiente CPUE por el lnCPUE. De igual forma, la curva de captura se estima de acuerdo a la función siguiente: $Y = f \cdot e^{(a+b \cdot f)}$, con un RMS y un f_{RMS} con base en las ecuaciones siguientes: $RMS = -(1/b) \cdot e^{(a-1)}$ y $f_{RMS} = -1/b$, respectivamente.

Para ambos modelos aplica el supuesto de que la CPUE disminuye a medida de que aumenta el esfuerzo, con la diferencia de que el MS

5. ELIZONDO-GARZA R. 1976. Contribución al conocimiento biológico y pesquero de la presa Vicente Guerrero (Las Adjuntas) Tamps. *Memorias del Simposium sobre Pesquerías de Aguas Continentales*. Tuxtla Gutiérrez, Chis. 2:171-205.

implica un cierto nivel de esfuerzo para el cual CPUE es igual a cero, es decir cuando f = -a/b, mientras que en el MF la CPUE es mayor que 0 para cualquier valor de *f* (Sparre y Venema 1995). Para efecto de poder comparar la CPUE con otras investigaciones ésta se transformó en kilogramos diarios por unidad de esfuerzo pesquero, considerando los 365 días del año como temporada de pesca de la tilapia en este embalse. A la fecha no existe una veda oficial para este recurso pesquero en la PVGT.

Se calcularon los intervalos de confianza a 95% para cada uno de los estimados del RMS, del f_{RMS} y de la $CPUE_{RMS}$ generados por ambos modelos (MS y MF) y por cada unidad de esfuerzo pesquero (NP, NE, NR y MLR), a partir de los intervalos de confianza de las pendientes (b) e interceptos (a), de acuerdo con el criterio de Sparre y Venema (1995).

Resultados

En la *tabla 1* se presentan las series de datos de captura, esfuerzo pesquero en diferentes unidades y la captura por unidad de esfuerzo pesquero, que fueron utilizadas en este trabajo.

La tendencia de la captura sugiere tres periodos: el primero de 1986 a 1994, representa el mejor momento de la captura de la tilapia en este embalse al registrar una tendencia a la alza en 260%, pasando de 190.74 t en 1986 a 733.8 t en 1994; el segundo, de 1994 a 1998, significa prácticamente el colapso de la pesquería, dado que manifiesta una tendencia a la baja en 80% aproximadamente, pasando de 733.8 t en 1994 a 148.5 t en 1998, y el tercer periodo, de 1998 a 2001 representa un lapso de mantenimiento o intento de recuperación de la captura con un promedio anual de 130 t (Fig. 1). Por el contrario, la tendencia en el esfuerzo pesquero sugiere dos periodos (1986-1993 y 1994-2001) con algunas variantes en el año que los divide (1993 o 1994), de acuerdo con la unidad de esfuerzo pesquero utilizada (Fig. 1). Se detectó un solo valor extremo correspondiente al número de redes del año 1994. Dicho valor se omitió para fines de estimación de los parámetros objetivos (RMS, f_{RMS} y $CPUE_{RMS}$) de esta investigación. Las tendencias de la captura y del esfuerzo revelan

Tabla 1

Series de datos de captura (C), número de pescadores (NP), número de embarcaciones (NE), número de redes (NR), metros lineales de red (MLR), y la captura por unidad de esfuerzo pesquero (CPUE) para cada una de las unidades de esfuerzo, de la pesquería de la tilapia de la presa Vicente Guerrero, Tamaulipas, México, durante el periodo 1986-2001

Año	*C (t)*	*NP*	*CPUE*	*NE*	*CPUE*	*NR*	*CPUE*	*MLR (miles)*	*CPUE*
1986	190.74	70	2.72	30	6.36	404	0.47	72	2.65
1987	300.00	70	4.29	30	10.00	370	0.81	62	4.84
1988	260.48	90	2.89	30	8.68	317	0.82	62	4.20
1989	288.09	130	2.22	40	7.20	317	0.91	56	5.14
1990	440.87	110	4.01	40	11.02	317	1.39	51	8.64
1991	311.24	160	1.95	40	7.78	317	0.98	50	6.22
1992	420.00	105	4.00	40	10.50	317	1.32	42	10.00
1993	495.10	80	6.19	40	12.38	180	2.75	30	16.50
1994	733.80	110	6.67	30	24.46	190*	3.86*	30*	24.46
1995	565.70	90	6.29	25	22.63	260	2.18	27	20.95
1996	384.10	135	2.85	25	15.36	380	1.01	48	8.00
1997	311.40	135	2.31	40	7.79	460	0.68	48	6.49
1998	148.50	135	1.10	40	3.71	460	0.32	48	3.09
1999	132.00	177	0.75	60	2.20	565	0.23	57	2.32
2000	126.42	177	0.71	60	2.11	580	0.22	83	1.52
2001	122.00	177	0.69	50	2.44	460	0.27	83	1.47

* Valor extremo omitido en las estimaciones de RMS, f_{RMS} y $CPUE_{RMS}$

relaciones inversas [$r^2 = 0.240$ ($p = 0.054$) para C-NP; $r^2 = 0.334$ ($p = 0.019$) para C-NE; $r^2 = 0.685$ ($p<0.0005$) para C-NR; y $r^2 = 0.683$ ($p<0.0005$) para C-MLR], donde el NR y los MLR son las unidades de esfuerzo pesquero que mejor explican la variabilidad de la captura (Fig. 1).

El RMS estimado mediante las cuatro medidas del esfuerzo pesquero fluctuó entre 350 t y 600 t anuales, aproximadamente (Fig. 2). Con base en el NR como la unidad de esfuerzo que mejor explica la variabilidad de la captura, y de acuerdo con el MF (RMS-NR-MF), en 1994 cuya producción fue de 733.8 t, el RMS (514 t) fue rebasado con cerca de 220 t (43%), mientras que al utilizar la misma unidad de esfuerzo pero con la aplicación del MS (RMS-NR-MS), el RMS (429 t) fue sobrepasado con 305 t (71%) (Fig. 3).

El f_{RMS} fue sobrepasado durante todo el periodo de análisis (1986-2001) según el MF y de acuerdo con el MS también, con excepción del periodo 1992-1996 en todas las unidades de esfuerzo pesquero (Fig. 4). Tomando como base los dos periodos identificados en la tendencia del esfuerzo de pesca en sus cuatro unidades analizadas (1986-1993 y 1994-2001), y según el MF, la extralimitación del f_{RMS} para cada uno de los periodos respectivamente, fue de hasta 80 (100%) y 100 pescadores (125%), 20 (100%) y 40 embarcaciones (200%), 255 (170%) y 430 redes (290%) y 50 000 (250%) y 65 000 metros

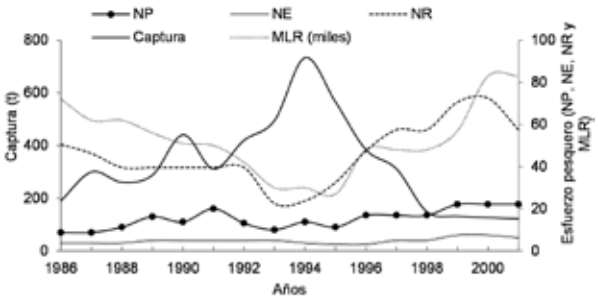

Fig. 1. Tendencia de la captura y del esfuerzo pesquero, dados en número de pescadores (NP), número de embarcaciones (NE), número de redes (MR) y en metros lineales de red (MLR), de la pesquería de la tilapia de la presa Vicente Guerrero, Tamaulipas, México, durante el periodo 1986-2001.

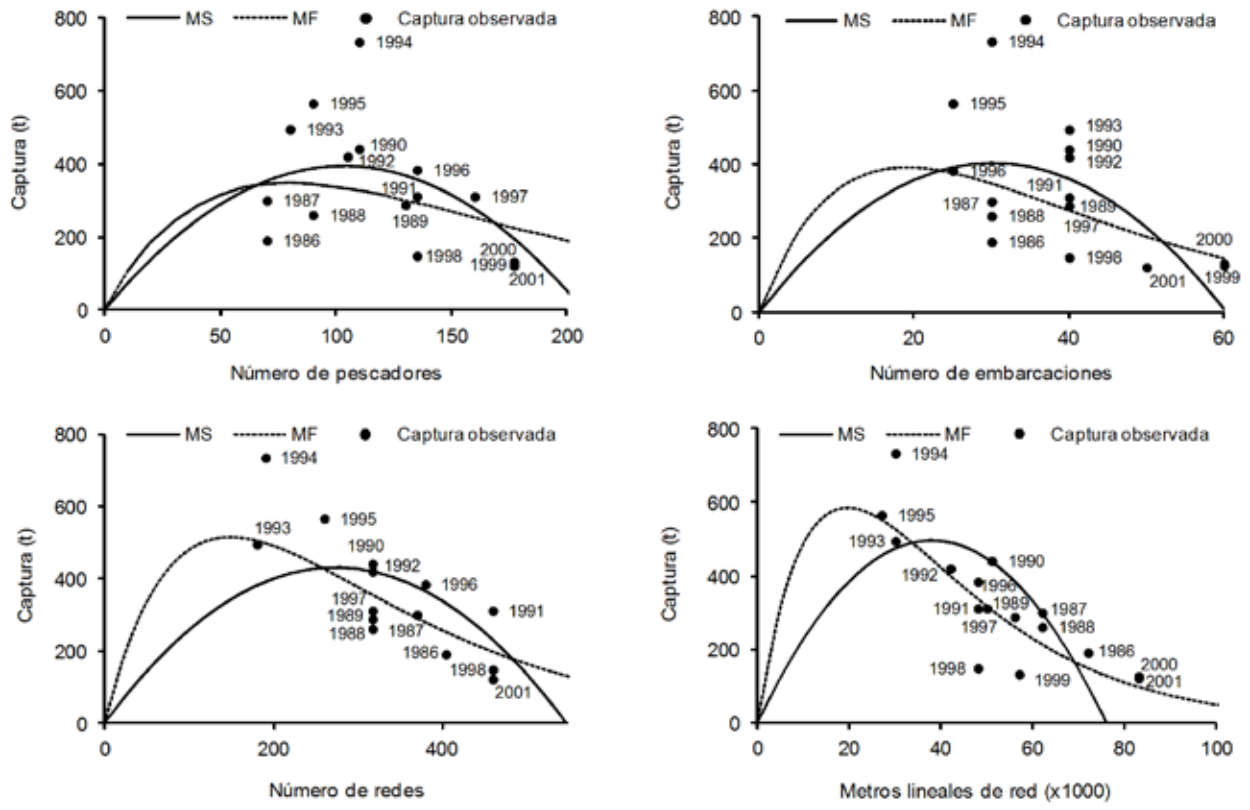

Fig. 2. Rendimiento máximo sostenido (RMS) y esfuerzo óptimo de pesca (f_{RMS}) estimados por los modelos de Schaefer (MS) y Fox (MF), usando diferentes unidades de esfuerzo, para la pesquería de la tilapia en la presa Vicente Guerrero, Tamaulipas, México, durante el periodo 1986-2001.

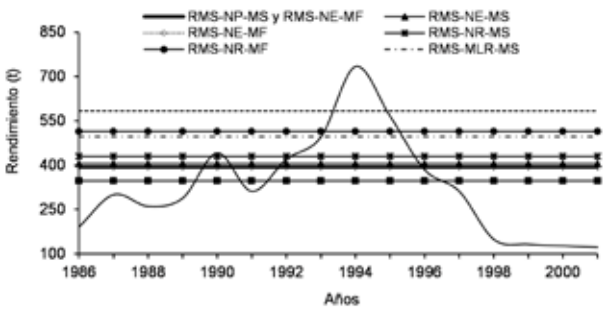

Fig. 3. Captura y rendimiento máximo sostenido (RMS) estimado por los modelos de Schaefer (MS) y Fox (MF) usando el número de pescadores (NP), el número de embarcaciones (NE), el número de redes (NR) y los metros lineales de red (MLR), de la pesquería de la tilapia de la presa Vicente Guerrero, Tamaulipas, México, durante el periodo1986-2001.

lineales de red (325%) (Fig. 4). De acuerdo con el MS, el f_{RMS} fue sobrepasado en cada uno de los periodos respectivamente, hasta con 55 (35%) y 175 (42%) pescadores, diez (25%) y 30 (50%) embarcaciones, 130 (47%) y 306 (112%) redes, y 30 000 (46%) y 40 000 (55%) metros lineales de red. Entre modelos (MS y MF) se registró una diferencia del f_{RMS} de 25 pescadores, 11 embarcaciones, 125 redes y 18 000 metros lineales de red. El modelo MF estimó los intervalos de confianza más estrechos del f_{RMS} (Tabla 2).

La CPUE anual varió entre 0.69 y 6.67 t/pescador; 2.11 y 24.46 t/embarcación; 0.22 y 2.75 t/red; y 1.47 y 24.46 t/mil de red (Tabla 1) (Fig. 5). Entre modelos (MS y MF) y de acuerdo con el NP, NE, NR y MLR, respectivamente, la $CPUE_{RMS}$ varió en 0.59 t (13%), 7.09 t (35%), 1.88 t (53%) y 16.65 t (56%). Los intervalos de confianza más estrechos de la $CPUE_{RMS}$ fueron obtenidos por el MS (Tabla 2).

Con base en el número de días de pesca al año (365), la CPUE diaria osciló entre 1.92 y 18.36 kg/pescador; 5.75 y 67.12 kg/embarcación; 0.60 y 7.54 kg/red; y 0.004 y 0.067 kg/metro de red; con un promedio diario de 8.50 (±5.46) kg/pescador, 26.48 (±18.10) kg/embarcación y 2.62 (±1.98) kg/red. La $CPUE_{RMS}$ estimada por el MS y el MF,

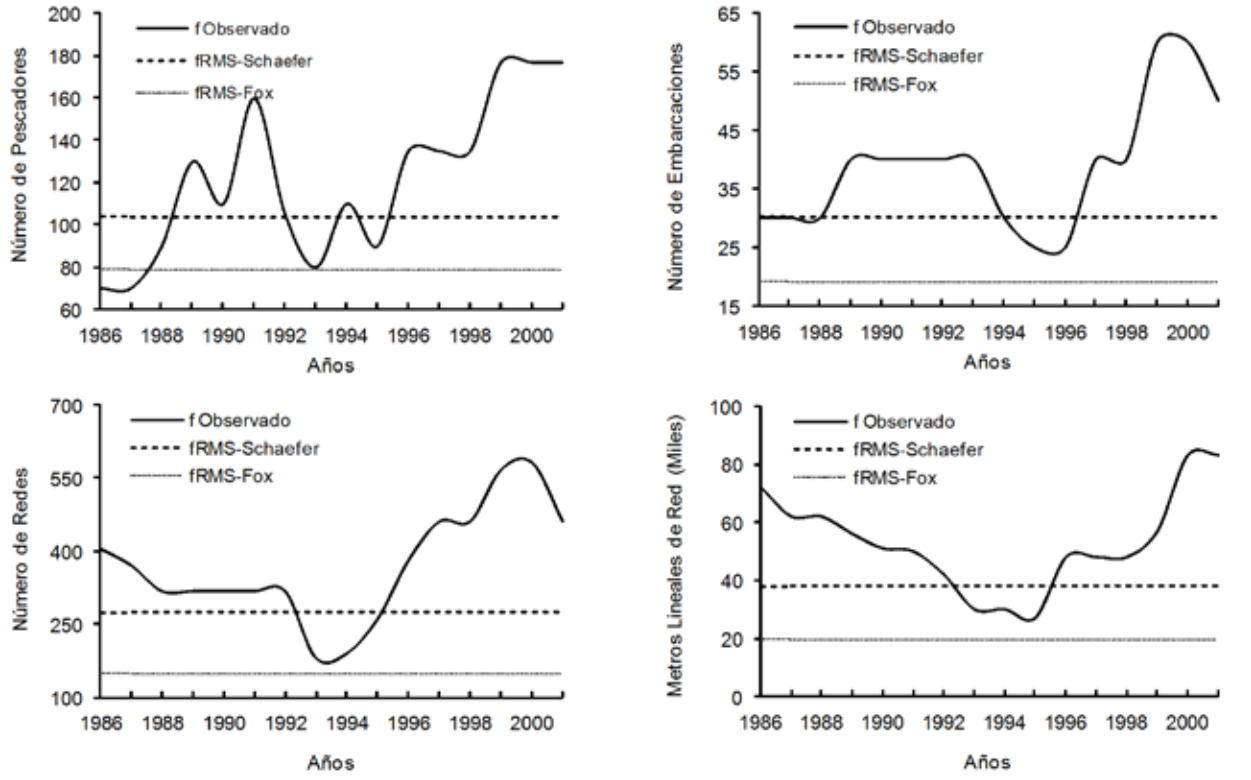

Fig. 4. Tendencia del número de pescadores (NP), del número de embarcaciones (NE), del número de redes (NR) y de los metros lineales de red (MLR), y estimados del esfuerzo óptimo de pesca (f_{RMS}) obtenidos mediante el uso de los modelos de Schaefer (MS) y Fox (MF), de la pesquería de la tilapia de la presa Vicente Guerrero, Tamaulipas, México, durante el periodo 1986-2001.

Tabla 2

Análisis de regresión lineal simple, análisis de varianza de la regresión, y estimado de intervalos de confianza (IC) del rendimiento máximo sostenido (RMS), esfuerzo óptimo de pesca (f_{RMS}) y captura por unidad de esfuerzo pesquero en el RMS ($CPUE_{RMS}$), obtenidos por los modelos de Schaefer (MS) y Fox (MF) usando el número de pescadores (NP), el número de embarcaciones (NE), número de redes (NR) y metros lineales de red (MLR), de la pesquería de la tilapia de la presa Vicente Guerrero, Tamaulipas, México, durante el periodo 1986-2001

Concepto	*NP*		*NE*		*NR*		*MLR*	
	MS	*MF*	*MS*	*MF*	*MS*	*MF*	*MS*	*MF*
r^2	0.504	0.481	0.521	0.587	0.755	0.878	0.702	0.829
r	0.710	0.694	0.722	0.766	0.869	0.937	0.838	0.911
$F_{(1,14)}$	14.21	12.99	15.21	19.89	39.97	93.81	33.03	68.08
F crítica (1,14) (nivel 0.01)	8.86	8.86	8.86	8.86	9.07*	9.07*	8.86	8.86
p	0.002	0.003	0.002	0.001	2.65×10^{-7}	2.60×10^{-7}	5.0×10^{-5}	9.5×10^{-7}
RMS	393	347	406	393	429	514	496	583
IC (95%)	134 –1 217	98-2 125	99-1 551	135-1 257	182-1 013	233-1 194	107-1 871	286-1 055
f_{RMS}	104	79	30	19	274	149	38	20
IC (95%)	49-233	50-166	12-81	14-29	154-518	122-192	14-105	18-25
$CPUE_{RMS}$	3.80	4.39	13.43	20.53	1.57	3.45	13.07	29.72
IC (95%)	2.73-5.23	1.96-12.80	8.42-19.13	9.55-42.73	1.18-1.96	2.91-6.22	7.55-17.75	16.26-41.66

**F* crítica (1,13) (nivel 0.01)

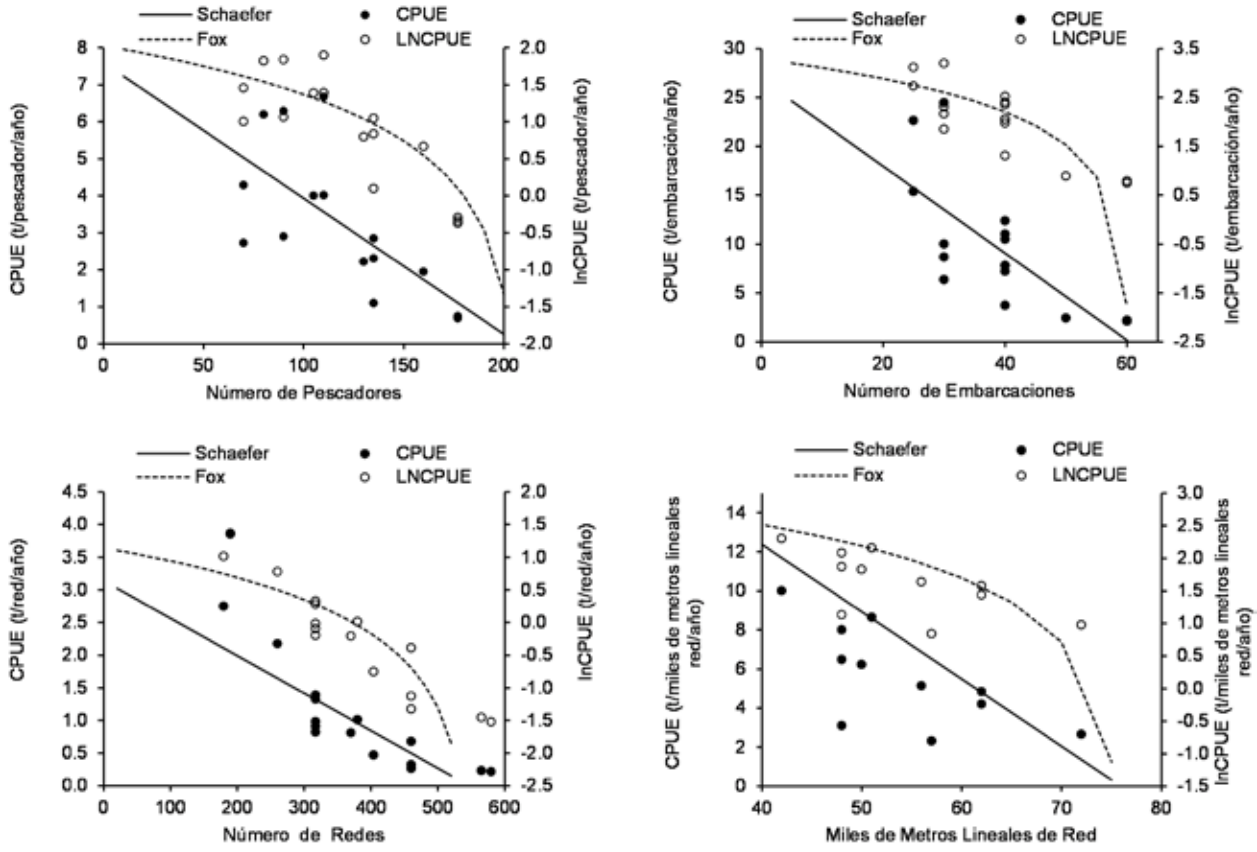

Fig. 5. Captura por unidad de esfuerzo pesquero observada (CPUE y lnCPUE) y estimada por los modelos de Schaefer (MS) y Fox (MF) con diferentes unidades de esfuerzo, de la pesquería de la tilapia de la presa Vicente Guerrero, Tamaulipas, México, durante el periodo 1986-2001.

respectivamente, y transformada en captura diaria, resultó entre 10.41 y 12.02 kg/pescador; 36.80 y 56.24 kg/embarcación; 4.30 y 9.44 kg/red; 0.036 y 0.081 kg/metro lineal de red.

Conforme el criterio de decisión preestablecido para elegir a la unidad de esfuerzo pesquero, todas las relaciones entre el NP, NE, NR y MLR y sus respectivas CPUE y ln CPUE, resultaron significativas (Tabla 2). Esto significa que todos los estimados del RMS, f_{RMS} y $CPUE_{RMS}$ obtenidos utilizando las cuatro unidades de esfuerzo pesquero (NP, NE, NR y MLR) y aplicando los dos modelos (MS y MF) son aceptables estadísticamente. Sin embargo, según el criterio de decisión preestablecido (r^2 y p), los mejores ajustes se obtuvieron al utilizar el NR y los MLR, lo que permite reconocer a estas unidades de esfuerzo pesquero como las que mejor explican la variabilidad de la captura, y recomendar los valores del RMS, f_{RMS} y $CPUE_{RMS}$ estimados por éstas.

Discusión

En este trabajo se aplicaron los modelos de producción excedente (MS y MF), que han sido duramente criticados. A menudo se menciona que para usar el modelo de Schaefer, en cualquier versión, es necesario que se cumpla el supuesto de que la pesquería está en equilibrio (Schnute 1977, Hilborn y Walters 1992, Terrence y Deriso 1999). Algunos autores señalan que es poco probable que la condición de equilibrio se presente en las poblaciones naturales (Hilborn y Walters 1992, Punt y Hilborn 1996), debido a la influencia de múltiples factores denso-dependientes y denso-independientes (Villasmil y Mendoza 2001).

Sin embargo, Williams y Prager (2002) indican que las diferentes versiones del modelo de Schaefer llevan implícitas los supuestos de los estados de equilibrio y no equilibrio, por lo que una corroboración *a priori* en su aplicación resulta innecesaria. A pesar de lo anterior, Maunder (2003) supone la existencia de una aparente falta al supuesto de equilibrio en mención, por lo que considera que el modelo de Schaefer debería de descartarse como herramienta en la evaluación pesquera. Pero Chien-Hsiung (2004), mediante la confirmación de la inclusión de los supuestos de equilibrio y no equilibrio en las diferentes versiones del modelo de Schaefer, indica que dicho modelo es una de las herramientas más poderosas en el análisis y el manejo de las pesquerías, pero que es sensible a la unidad de esfuerzo pesquero que se utilice, ya sea estandarizada o no.

Sin embargo, a pesar de estas réplicas sobre el cumplimiento o el incumplimiento de los supuestos del MS, éste, al igual que el MF, se continúan usando (El-Gammal y Mehanna 2002, Jiménez-Badillo 2004, Mehanna 2004, Cervantes *et al*. 2006, Halls *et al.* 2006, Tabash 2007, Ramos *et al*. 2008, Caballero-Chávez 2009) con el objetivo de encontrar medidas de manejo de las pesquerías.

Varios autores han estimado el RMS de la tilapia de la PVGT. Sin embargo resulta ilógico realizar una comparación con los estimados en este trabajo, dada la diferencia de los periodos analizados donde la captura y el esfuerzo han variado. Dichos autores analizan las capturas en el periodo 1985-1990 (Morales-Bojórquez y Zavala-Hernández 1992[2] [345 t], Morales-Bojórquez *et al.* 1993[6] [326 t], Morales-Bojórquez 1995 [339 t]) y este estudio es de 1986 a 2001. Con excepción de Elizondo *et al.* (1996), que incluyeron en su análisis hasta el año 1993, que es donde empieza a repuntar la captura, y luego en 1994 alcanza el año de mayor captura histórica de la tilapia en este embalse. Este último autor reporta un RMS de 515 t, que se ubica entre los intervalos de los valores del RMS estimados en este trabajo, por los dos modelos (MS y MF) para el NR (MS = 429 t y MF = 514 t) y los MLR (MS = 496 y MF = 583 t).

De acuerdo con el criterio de decisión preestablecido (r^2 y p), los valores de RMS más confiables, obtenidos en esta investigación, corresponden a los estimados con las unidades de esfuerzo NR (514 t) y MLR (583 t) aplicando el MF. Morales-Bojórquez (1995) señala que el RMS (339 t) fue rebasado en los años 1988 y 1990, mientras que Elizondo *et al.* (1996) reportaron que éste (RMS = 515 t) nunca fue alcanzado en los años

6. MORALES-BOJÓRQUEZ E, VO Zavala-Hernández y G Jiménez-Bastida. 1993. Análisis del rendimiento pesquero *Oreochromis aureus* Steindachner 1864, mediante distintos métodos de producción global (Pisces: Cichlidae). *Memorias V Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, BCS, México.

1987, 1990, 1992 y 1993. Sin embargo, esta investigación arroja que el RMS fue rebasado durante el periodo 1989-1996, con algunas diferencias entre modelos y entre unidades de esfuerzo pesquero utilizadas en este trabajo. Es importante mencionar que la mayoría de las investigaciones realizadas en este embalse reportan que el RMS fue excedido, independientemente de los periodos analizados.

Cabe señalar que existe una diferencia significativa en la amplitud de las series de datos analizadas por los diferentes autores en mención y esta investigación, que repercute en el ajuste de los modelos utilizados para obtener las estimaciones del RMS. Morales-Bojórquez y Zavala-Hernández (1992[2]), Morales-Bojórquez *et al*. (1993[6]) y Morales-Bojórquez (1995), incluyen una serie de datos (1985-1990) con una amplitud de cinco años; Elizondo *et al.* (1996) consideraron cuatro años no consecutivos (1987, 1990, 1992 y 1993), y esta investigación utiliza datos de captura y esfuerzo pesquero de 16 años. La amplitud de la serie de tiempo, considerada como la razón de la diferencia en los ajustes del MS y del MF, es reconocida también por Bernal (1984) y Orbe *et al.* (1999) para la tilapia de la presa Lic. Adolfo López Mateos (El Infiernillo), Michoacán-Guerrero.

Actualmente está vigente la Norma Oficial Mexicana NOM-024-PESC-1999 (DOF 2000) que regula el aprovechamiento de los recursos pesqueros de la PVGT. En ella se establece un total de 528 redes como límite para usar en dicho cuerpo de agua, con una longitud acumulada de 62 950 m lineales. El f_{RMS} de esta investigación, relativo al NR [274 (MS) y 149 (MF)] y a los MLR [38 000 (MS) y 20 000 (MF)], no es comparable con las medidas establecidas por la NOM en mención, dado que dichas medidas (de la NOM) van dirigidas a tres especies objeto de ésta (tilapia, carpa y bagre), y el f_{RMS} de este trabajo concierne únicamente a la tilapia. Por otro lado, y para efecto de regulación pesquera, al igual que el RMS, se recomiendan los valores del f_{RMS} obtenidos por el NR (149) y los MLR (20 000) aplicando el MF dado que incluyen mayores valores de r^2 y *f*, y más significativos, así como los intervalos de confianza más estrechos.

En la evaluación de las pesquerías marinas mediante la aplicación del MS y de MF persiste la discusión acerca de cuál es la unidad del esfuerzo pesquero más recomendable para desarrollar dichos modelos, bien sea en la modalidad del supuesto de equilibrio, o en las versiones dinámicas (Cervantes *et al.* 2006). Particularmente en las pesquerías de camarón las unidades de esfuerzo pesquero más utilizadas son el número de barcos, el número de viajes y el número de días de viaje (Morales-Bojórquez *et al.* 2001). Si bien las dos últimas presentan la desventaja de su alta variabilidad en la duración de los viajes, pues suele fluctuar entre tres y 20 días en función del rendimiento de la temporada de pesca (Cervantes *et al.* 2006) y el número de días del viaje, ello no significa necesariamente el número de días de pesca (Altran y Loesch 1995). En el caso de las pesquerías de peces marinos, la unidad de esfuerzo pesquero más utilizada para aplicar los modelos en mención, es el número de viajes, tal es el caso del huachinango *Lutjanus peru* en la costa de Nayarit (Del Monte-Luna *et al.* 2001) y del robalo blanco *Centropomus undecimalis* en Campeche (Caballero-Chávez 2009). En la evaluación de las pesquerías de agua dulce no se ha registrado tal discusión, dada la baja frecuencia de aplicación de tales modelos, y no por la falta de elementos para discutir. En este mismo embalse (PVGT), para obtener el RMS de la tilapia, Elizondo *et al.* (1996) utilizaron el número de metros cuadrados de red como medida del esfuerzo pesquero. Orbe *et al.* (1999) estiman que la unidad de esfuerzo que mejor se ajusta a los modelos de Schaefer y Fox es el número de redes en el caso de las pesquerías de la presa Lic. Adolfo López Mateos, Michoacán-Guerrero, México, donde ambos modelos resultaron con alta asociación entre variables ($r^2 = 0.7575$ y $r^2 = 0.8235$, respectivamente), mientras que Jiménez-Badillo (2004) en el mismo embalse en cuestión utiliza el número de pescadores y el número de redes como las unidades de esfuerzo pesquero de la tilapia. En esta investigación se obtuvieron mejores ajustes de los modelos de Schaefer y Fox al utilizar el número de redes y los metros lineales de red; sin embargo, el número de pescadores y el número de embarcaciones, con menores valores de los coeficientes de determinación y de correlación (r^2 y r) para los ajustes en los modelos (MS y MF), también fueron significativos estadísticamente. De esta forma, se observa que el

número de redes es la medida que entrega mejores ajustes a los modelos de Schaefer y Fox en los cuerpos de agua dulce; y el MF es el modelo que registra mayores valores de r^2 y f en todas las unidades de esfuerzo pesquero, con excepción del NP. Considerando que ambos modelos (MS y MF) concuerdan con el supuesto de que la CPUE disminuye a medida que aumenta el esfuerzo, pero difieren en el sentido de que el MS implica cierto nivel de esfuerzo para el cual CPUE es igual a cero, mientras que en el MF la CPUE es mayor que cero para cualquier valor de f (Sparre y Venema 1995), es recomendable usar los resultados estimados por el MF.

La captura diaria promedio por pescador encontrada en esta investigación (8.5 kg/pescador) cae dentro del intervalo estimado (entre cinco y 20 kg/pescador/día) para la pesca artesanal de Mazatlán, Sinaloa, obtenida por Ruiz y Madrid (1997), y la captura diaria promedio por embarcación (26.5 kg) registrada también en esta investigación coincide en forma relativa con los 24.42 kg/embarcación/día encontrados por Morales-Bojórquez (1995) para esta misma especie y el mismo cuerpo de agua. Ambos valores (de la captura diaria por embarcación) están muy cerca del promedio nacional de 25.3 kg (Fuentes 1991).

Conclusiones

- El número de redes (NR) y los metros linearles de red (MLR) fueron las unidades de esfuerzo pesquero que mejor explicaron la variabilidad de la captura ($r = -0.685$, $p<0.0005$; y $r = -0.683$, $p<0.0005$, respectivamente).
- Todas las relaciones lineales entre las diferentes unidades de esfuerzo pesquero con sus respectivas CPUE y lnCPUE resultaron estadísticamente significativas; sin embargo, las que cumplieron mejor el criterio de selección (mayores valores r^2 y F, y menores valor p) fueron las correspondientes al NR y a los MLR.
- Los valores del RMS obtenidos por los modelos de Schaefer (MS) y Fox (MF), respectivamente, y utilizando el NR, fueron 429 y 514 t, y los estimados por los MLR fueron de 496 y 583 t. Estos valores del RMS registraron los intervalos de confianza más estrechos que los obtenidos con el resto de las unidades de esfuerzo pesquero.
- Los valores del RMS obtenidos por el NR con el MS (429 t) y el MF (514 t) fueron sobrepasados en 71% y 43%, respectivamente, respecto al año 1994 (733.8 t).
- El f_{RMS}, de acuerdo con el MS y el MF, respectivamente, fue de 104 y 79 pescadores; 30 y 19 embarcaciones; 274 y 149 redes, y 38 000 y 20 000 metros lineales de red. El modelo que estimó los intervalos de confianza más estrechos fue el MF.
- El f_{RMS} fue sobrepasado durante todo el periodo de análisis (1986-2001) según el MF, y de acuerdo con el MS también, con excepción del periodo 1992-1996.
- La $CPUE_{RMS}$ anual, según el MS y el MF, respectivamente, fue de 3.80 y 4.39 t/pescador, 13.43 y 20.53 t/embarcación, 1.57 y 3.45 t/red, y 13.07 y 29.72 t/mil metros lineales de red.
- La $CPUE_{RMS}$ diaria estimada por ambos modelos, MS y MF, respectivamente, resultó entre 10.41 y 12.02 kg/pescador; 36.80 y 56.24 kg/embarcación; 4.30 y 9.44 kg/red; 0.036 y 0.081 kg/metro lineal de red, respectivamente. El MS fue el que arrojó los intervalos de confianza más estrechos.
- Con base en los resultados obtenidos en esta investigación y buscando un desarrollo sustentable de la actividad pesquera de la tilapia en la PVGT, se recomienda usar un RMS de 514 t y un f_{RMS} de 149 redes sin rebasar los 20 000 metros lineales de red.

Agradecimientos

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del Gobierno Federal Mexicano, por el apoyo financiero otorgado mediante el proyecto SAGARPA-2004-C01-74 y mediante la Beca CONACYT con Registro 195112; y a la Oficina de Pesca de la SAGARPA en Tamaulipas, por las series de datos de captura y esfuerzo pesquero proporcionadas.

Literatura citada

ALTRAN SM y JG Loesch. 1995. An analysis of weekly fluctuations in catchability coefficients. *Fishery Bulletin* 93: 562-567.

BERNAL WF. 1984. Análisis de los factores relacionados con la producción pesquera de la *Tilapia nilotica* de la presa Adolfo López Mateos (Infiernillo), Mich.-Gro. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 44p.

BLANCO UH. 1990. Algunos parámetros biológico y pesqueros de tilapia (*Oreochromis aureus* Steindachner, 1864) en la presa Vicente Guerrero, Tamaulipas, México. Tesis de licenciatura. Universidad del Noreste. Escuela de Ciencias Biológicas, Tampico, Tamp. 43p.

CABALLERO-CHÁVEZ V. 2009. Pesquería del robalo blanco *Centropomus undecimalis* en Campeche. *Ciencia Pesquera* 17(2): 77-86.

CERVANTES HP, S Ramos C y A Gracia G. 2006. Evaluación del estado de la pesquería de camarón en el Golfo de Tehuantepec. *Hidrobiológica* 16(3): 223-239.

CHIEN-HSIUNG W. 2004. Improvement of the Schaefer model and its applications. *17th Meeting of the starding committee on tuna and billfish*. Institute of Oceanography National Taiwan University, Taipei, Taiwan, pp: 1-11.

DEL MONTE-LUNA P, G Guzmán-Jiménez, R Moncayo-Estrada, S Sánchez-González y A Ayala-Cortés. 2001. Máximo rendimiento sostenido y esfuerzo óptimo de pesca del huachinango (*Lutjanus peru*) en la Cruz de Huanacaxtle, Nayarit, México. *Ciencia Pesquera* 14: 159-164.

DOF. 2000. Norma Oficial Mexicana NOM-024-PESC-1999, que establece regulaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros en los embalses de la presa Vicente Guerrero, su derivadora y el canal principal, ubicados en el Estado de Tamaulipas. Diario Oficial de la Federación. México. 9 de Febrero del 2000.

ELIZONDO GR, MA Martínez Z, I Roque V, JI Fernández M. 1996. Caracterización biológico-pesquera de la presa Vicente Guerrero (Las Adjuntas), Tamps., México, con análisis de capturas de tilapia y lobina negra. *Ciencia Pesquera* 13: 37-54.

EL-GAMMAL FI y SF Mehhana. 2002. Purse seine fishery in the Gulf of Suez with special reference to sardine fishery. *Asian Fisheries Science* 15: 83-89.

FOX WW. 1970. An exponential surplus-yield model for optimizing exploited fish populations. *Transaction of the American Fisheries Society* 99: 80-88.

FUENTES CD. 1991. La pesca ribereña en México. SEPESCA/INP (México). 22p.

HALLS AS, RL Welcomme y RW Burn. 2006. The relationship between multi-species catch and effort: Among fishery comparisons. *Fishery Research* 77(1): 78-83.

HILBORN R y CJ Walters. 1992. *Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty*. Chapman and Hall, New York. 570p.

INEGI. 2009. Estadísticas históricas de México. 8 Agropecuario, aprovechamiento forestal y pesca.132p. *http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/historicas10/Tema8_%20Agropecuario,aprovechamiento_forestal_y_pesca.pdf*

JIMÉNEZ-BADILLO ML. 2004. Application of holistic and analytical models for the management of tilapia fisheries in reservoirs. *Hidrobiológica* 14(1): 61-68.

MAUNDER MN. 2003. Is it time to discard the Schaefer model from the stock assessment scientist´s toolbox? *Fisheries Research* 61: 145-149.

MEHANNA SF. 2004. Population dynamics of two cichlids, *Oreochromis aureus* and *Tilapia zilli* from Wadi El- Raiyan lakes. *Agriculture and Marine Sciences Journal*. 9 (1): 9-16.

MORALES-BOJÓRQUEZ E. 1995. Estimación del tamaño poblacional y el coeficiente de capturabilidad de la tilapia (*Oreochromis aureus*) por varios métodos de extracción sucesiva. *Ciencia Pesquera* 11: 40-44.

MORALES-BOJÓRQUEZ E, J López-Martínez, S Hernández-Vázquez. 2001. Dynamic catch-effort model for brown shrimp *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes) from the Gulf of California, México. *Ciencias Marinas* 27(1): 105-124.

ORBE MA, AC Romero A y J Acevedo G. 1999. Producción y rendimiento pesquera en la presa Lic. Adolfo López Mateos (El Infiernillo), Michoacán-Guerrero, México. *Hidrobiológica* 9(1): 1-8.

PUNT AE y R Hilborn. 1996. *Biomass dynamic models. User´s Manual.* FAO Computarized Information Series (Fisheries). No. 10 Roma. 62p.

RAMOS ML, D Flores H, LM España P, F Gómez C y A Sosa L. 2008. Evaluación del camarón siete barbas utilizando métodos de producción excedente y variables ambientales. *Jaina* 18(2): 11-24.

RODRÍGUEZ JH, GA Valdez y S Olmeda de la F. 2009. Volumen y valor de la producción pesquera de la presa Vicente Guerrero, Tamaulipas, México. *TecnoINTELECTO* 6(1): 23-30.

RUIZ LA y J Madrid V. 1997. Análisis comparativo de tres sistemas de pesca artesanal. *Región y Sociedad* 13-14: 77-98.

SCHAEFER MB. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. *Bulletin I-ATTC/Boletín CIAT* 1(2): 27-56.

SCHNUTE J. 1977. Improved estimates from the Schaefer production model: theoretical considerations. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 34: 583-603.

SPARRE P y SC Venema. 1995. Introducción a la evaluación de los recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. *FAO Documento Técnico de Pesca* 306(1):1-495.

TABASH BFA. 2007. Explotación de la pesquería de arrastre de camarón durante el periodo 1991-1999 en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 55(1): 207-218.

TERRENCE JQ II y RB Deriso.1999. *Quantitative fish dynamics*. Oxford University Press. 542p.

VILLASMIL L y J Mendoza. 2001. La pesquería del cangrejo *Callinectes sapidus* (Decapoda: Brachyura) en el Lago de Maracaibo, Venezuela. *Interciencia* 26(7): 301-306.

WILLIAMS EH y H Prager. 2002. Comparison of equilibrium and non-equilibrium estimators for the generalized production model. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59: 1533-1552.

Recibido: 8 de noviembre de 2011.
Aceptado: 16 de julio de 2012.