

Estimación de la capacidad de carga en el cultivo de peces en jaulas en el Lago de Pátzcuaro, México

Patricia M. Rojas-Carrillo* y Alonso Aguilar-Ibarra**

La conciliación de la producción de alimentos y el mantenimiento de la integridad física de los ecosistemas acuáticos requiere la estimación de la capacidad de carga que éstos pueden soportar en el cultivo de peces. En el presente trabajo se aplica, para el caso del Lago de Pátzcuaro, el método de Beveridge que define al fósforo como el factor limitante de la productividad para la estimación de la capacidad de carga. Se reunió la información morfométrica, hidrológica y limnológica necesaria para la estimación del índice de descarga del lago. La aplicación del método de Beveridge mostró que la capacidad de carga del lago de Pátzcuaro está excedida y es posible que presente histéresis ecológica, aun así, se realizó un ejercicio hipotético para concretar su aplicación. Los resultados muestran que el método resulta útil y factible de aplicar en los cuerpos de agua del país para normar criterio en la toma de decisiones sobre el desarrollo del cultivo de peces en jaulas. Se señala la urgencia de la restauración ecológica del Lago de Pátzcuaro por medio del saneamiento de sus aguas y del ordenamiento de las actividades pesqueras y acuícolas, entre otras medidas. Se concluye que es importante conocer la potencialidad real del cultivo de peces en jaulas en los embalses del país, lo cual es factible con el método probado. El estado de contaminación que sufre la mayoría de cuerpos de agua dulce del país limita seriamente la introducción de jaulas de cultivo y, por tanto, la generación de beneficios económicos de manera sustentable.

Palabras clave: Acuicultura, capacidad de carga, contaminación, agua dulce, fósforo, factores limitantes, Pátzcuaro.

Carrying capacity estimation of cage culture in Lake Patzcuaro, Mexico

Reconciling food production and maintaining physical integrity of aquatic ecosystems implies the estimation of the carrying capacity for fish culture. This paper uses Beveridge's method, which defines phosphorous as the limiting factor of productivity to estimate the carrying capacity, in the case of Lake Patzcuaro. Information of morphometry, hydrology and limnology was gathered to estimate the flushing rate. The application of Beveridge's method showed that the carrying capacity of the lake was already exceeded, implying a possible ecological hysteresis condition; nevertheless, a hypothetical exercise was performed to show its use. It was found that this method is useful and feasible to use in freshwater bodies of Mexico in order to regulate decisions on cage fish culture implementation. We pointed out that restoration of lake Patzcuaro is an urgent matter, by means of water impairments remediation and both aquaculture and fisheries management, among other activities that take place in the lake's basin. Knowing the real potential for the cage fish culture in the water bodies of México is imperative and could be done with this method. The pollution level of most freshwater bodies in Mexico, severely limit cage culture and therefore generation of economic benefits in a sustainable way.

Key words: Aquaculture, carrying capacity, pollution, freshwater, phosphorus, limiting factors, Patzcuaro.

Introducción

La acuicultura se ha considerado frecuentemente como un factor de desarrollo y de provisión de alimentos, así como una alternativa a la sobrepesca tanto marina como dulceacuícola. Sin embar-

go, presenta desventajas como la contaminación del entorno (e.g. Paez-Osuna 2001, David *et al.* 2009) o la sobreexplotación pesquera (Naylor *et al.* 2001, Tveteras y Tveteras 2010). En cualquier caso, la acuicultura es una actividad en expansión en el mundo, y México no es la excepción; así, la producción acuícola creció 78% durante el decenio 1998-2008 (SAGARPA 2008).

De aquí surge una pregunta importante: ¿hasta qué punto puede ser sustentable la acuicultura? Es decir, para conciliar una producción de alimentos acuícolas con la preservación de

* Instituto Nacional de Pesca. Pitágoras 1320 Col. Santa Cruz Atoyac, México, D.F., C.P. 03310. patyroja2002@yahoo.com.mx

** Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM. Circuito Mario de la Cueva s/n. Ciudad Universitaria. México, D.F. C.P. 04510. aaguilar@iiec.unam.mx

la integridad ecológica de cuerpos de agua, se debe estimar el nivel de capacidad de carga de peces (u otros organismos) que puede soportar un ecosistema acuático. La capacidad de carga es un concepto que marca límites, ya sea al tamaño de una población, dados los recursos escasos, o a la capacidad de los ecosistemas para asimilar los residuos de las actividades antropogénicas (Arrow *et al.* 1995).

Es un hecho que la mayor parte de los cuerpos de agua dulce del país está contaminada. En el ámbito nacional, alrededor de 93% de las aguas superficiales tiene algún grado de contaminación, de éstas, 17.6% está levemente contaminado, 58% está contaminado y alrededor de 10% está severamente contaminado. Las regiones administrativas con los mayores porcentajes de contaminación son el valle de México, el sistema Lerma-Santiago-Pacífico y la península de Baja California; por contaminación orgánica, entre las cuencas que generan 89% de la carga orgánica total en términos de la DBO, destacan Pánuco, Lerma, Balsas, San Juan, Coatzacoalcos, Blanco, Papaloapan, valle de México, Conchos, Coahuayana, Culiacán, Fuerte, Yaqui, Mayo y bajo Bravo (López-Hernández 2007). En lo que se refiere a cuerpos de agua se pueden mencionar Chapala, Jal.-Mich., Pátzcuaro, Cuitzeo, y laguna de Zacapu, Mich.; Catemaco, Ver.; Zempoala y Coatetelco, Mor.; lagos cráter de Los Tuxtlas (Bernal-Brooks 2002, Torres-Orozco y Pérez-Rojas 2002, Ayala *et al.* 2007, Chacón *et al.* 2007, De la Lanza *et al.* 2007a, Gómez-Márquez *et al.* 2007a, Quiroz *et al.* 2007, Vázquez *et al.* 2007), por mencionar algunos cuerpos de agua naturales, y las presas Zimapán, Hgo.-Qro.; Aguamilpa, Nay.; Infiernillo, Mich.-Gro.; Emiliano Zapata, Mor.; Requena, Hgo.; El Salto y El Varrejonal, Sin.; Oviachic, Son., entre los embalses artificiales (Orbe *et al.* 2002, Meléndez-Galicia *et al.* 2006¹, Beltrán y Sánchez 2007, De la Lanza *et al.* 2007b, Gaspar-Dillanes *et al.* 2007a, b,

Gómez-Márquez *et al.* 2007b, López-Hernández *et al.* 2007a), todos ellos considerados contaminados, eutroficados, o ambos.

Éste es un asunto que ha cobrado interés en los últimos años con respecto a los problemas en la producción acuícola en el mundo (*e.g.* McKindsey *et al.* 2006, Ferreira *et al.* 2008, David *et al.* 2009, Filgueira *et al.* 2010), pero ha sido poco discutido en México, a pesar de que la legislación lo requiere. En efecto, la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables (LGPAS) (DOF 2007), específicamente en el Capítulo III, “De los instrumentos de manejo para la acuicultura”, establece como requisito de los planes de Manejo para las actividades acuaculturales que se incluya “la capacidad de carga de los cuerpos de agua de donde se pretendan alimentar las unidades de producción acuícola” (art. 86). Debido a que no hay estudios probados para la adopción de una metodología aplicable para la determinación de la capacidad de carga para las aguas dulces en el país, el objetivo del presente trabajo es estimar la capacidad de carga del Lago de Pátzcuaro, Michoacán, con el cultivo de peces en jaulas, aplicando el método desarrollado por Beveridge (1986).

El método Beveridge para capacidad de carga en acuicultura

La actividad acuícola ha sido señalada como contaminante de los sistemas acuáticos principalmente por las descargas de nutrientes originadas por los residuos metabólicos del alimento consumido y por el alimento que se pierde durante las labores de alimentación de los emplazamientos acuícolas. El principal elemento que se libera es el fósforo (P), que es un nutriente que limita la productividad fitoplanctónica en muchos cuerpos de agua templados; la concentración de este elemento en un cuerpo de agua puede definir su estado trófico.

La acuicultura en jaulas es una tecnología para aprovechar ciertas características de los ambientes acuáticos para la producción de alimentos para los humanos con la generación de beneficios monetarios. En el caso de este tipo de cultivo, la capacidad de carga se evalúa a través de los límites que representan los estados tróficos deseables del cuerpo de agua en cuestión. Así,

1. MELÉNDEZ-GALICIA C, C Zúñiga, C Romero-Acosta, E Arredondo, C Ozuna, N Hernández y L Cazares. 2006. Estudio socioeconómico y biológico-pesquero de la presa Lic. Adolfo López Mateos “El Infiernillo”. Centro Regional de la Investigación Pesquera - Pátzcuaro. Instituto Nacional de la Pesca. SAGARPA. 105p.

el aporte de nutrientes que se descargan de los cultivos puede alterar la calidad del agua hasta su eutrofización, con las consecuentes degradación y pérdida de servicios ambientales.

El fósforo, o la relación nitrógeno-fósforo (N:P), es decir, el nutriente que se encuentra menos disponible de acuerdo con la ley del mínimo de Liebig (Saito *et al.* 2008), puede ser limitante de las condiciones tróficas de los cuerpos de agua, de manera que un aporte adicional de estos nutrientes alteraría la condición trófica del cuerpo de agua. El modelo de Dillon y Rigler (1974) para estimar la concentración de P (identificada por el símbolo $[P]$), tiene amplia aplicación en aguas dulces templadas y tropicales; este modelo considera que la $[P]$ en una masa de agua depende de: la aportación de P , las dimensiones del cuerpo de agua, la tasa de descarga, la fracción de P que se pierde de forma permanente por acumulación en los sedimentos y la fracción del volumen de agua que se pierde cada año por desagüe. Esta ecuación tiene la forma (Dillon y Rigler 1974):

$$[P] = L(1-R)/Z\rho \quad \text{Ec. 1}$$

Donde: $[P]$ = P total; L = aportación de P total; R = fracción de P total retenida por los sedimentos; z = profundidad media; ρ = tasa de descarga en volúmenes por año.

Beveridge (1986) desarrolló un método basado en este modelo para estimar la capacidad de carga de cultivos de peces en jaulas que no afecte la calidad de agua requerida por sus usos. Básicamente, establece un $\Delta[P]$ entre lo existente y lo máximo permisible, asumiendo que el cuerpo de agua no está contaminado, para estimar el volumen de producción permisible equivalente (*i.e.* la capacidad de carga).

La perspectiva de Beveridge está definida operativamente alrededor de las variables de estado o factores limitantes de la productividad, muestra los casos en los que incluso es inoperante aplicarla dado el grado de contaminación del cuerpo de agua en función de los factores limitantes empleados y permite comparaciones sobre su grado de contaminación.

El enfoque de Beveridge ha sido aplicado recientemente en América Latina para diferentes embalses en Argentina, en el lago Moreno (Shalom *et al.* 2002); para la región del Comahue,

Provincias de Neuquén y Río Negro (Wicki y Luchini 2002). Para el Lago Sofía en Chile, se hace un cálculo a partir de un modelo de balance de nutrientes de la carga actual y crítica (concentración máxima de fósforo o nitrógeno que puede tener un lago para mantener el estado actual de mesoeutrofía) de la Región XII por el Fondo de Investigación Pesquera de Chile (Universidad de Magallanes 1999). Por otro lado, Pulatsü (2003) hizo una aplicación precisa del método de Beveridge para estimar la capacidad de carga del lago Kesikköprü en Turquía con el cultivo de trucha arcoiris. Además, se han propuesto estudios en el lago Erie sobre los problemas asociados a la descarga de aguas servidas, como la calidad del agua y el mantenimiento de las condiciones adecuadas para la recreación, así como para la vida acuática misma y sus interacciones con los componentes físicos, biológicos y sociales, para establecer estándares de capacidad de carga que establezcan límites reconocibles de uso y desarrollo en el cuerpo de agua (McConnon 1993).

El método de Beveridge es especialmente adecuado para los embalses de agua dulce, pero en el caso de los ambientes marinos se han desarrollado métodos basados en diferentes factores limitantes. Por ejemplo, García-Esquivel *et al.* (2004) determinaron la capacidad de carga del cultivo de ostión en la Bahía de San Quintín, fundamentados en las tasas de filtración e ingestión relacionadas con la productividad primaria y con la presencia de otras poblaciones de filtradores en la zona. Magallón-Barajas (2006) distinguió entre la capacidad de carga del ecosistema, nombrándola “capacidad ambiental”, y la capacidad de carga del cultivo, que se refiere a las capacidades de la infraestructura de éste. Investigó la capacidad de carga del cultivo de camarón y su variabilidad dependiente de la capacidad ambiental en diferentes sitios del Golfo de California para evitar la eutrofización por cultivos. Determinó la variabilidad de la capacidad de carga del cultivo de camarón cuando hay riesgos de hipoxia intermitente.

Materiales y métodos

Para la aplicación del método de Beveridge (1986) en el Lago de Pátzcuaro, Michoacán,

México, se recabó o, en su caso, se estimó la siguiente información:

1. Morfometría del lago –superficie, profundidad, volumen– y superficie de la cuenca, tomados de Bernal-Brooks (2002).
2. Datos de precipitación y evaporación promedio de la cuenca del lago, tomados de la estación meteorológica de Pátzcuaro del periodo 1991 a 2000.
3. El coeficiente de descarga ρ :

$$\rho = Q_o / V \quad \text{Ec. 2}$$

Donde: Q_o = volumen de agua total promedio que sale del lago anualmente; V = volumen del cuerpo de agua.

Ya que el Lago de Pátzcuaro es el nivel base de una cuenca endorréica, Q_o se estimó a partir de los datos de entrada media total de largo plazo de la escorrentía superficial de la cuenca, las precipitaciones y la evaporación (Beveridge 1986, Dillon y Rigler 1975):

$$Q_o = Ad.r + A(P-E) \quad \text{Ec. 3}$$

Donde: $Ad.r$ = escorrentía superficial de la cuenca; A = área del cuerpo de agua; P = precipitación media anual y E = evaporación media anual.

La escorrentía superficial de la cuenca se estimó a través del volumen de escorrentía anual (DOF 2002):

$$V_e = PACE \quad \text{Ec. 4}$$

Donde: V_e = volumen de la escorrentía anual; P = precipitación media anual; A = área de la cuenca; C_e = coeficiente de escurrimiento anual.

Para calcular el coeficiente de escurrimiento anual se procedió a calcular el parámetro K , que depende del tipo y el uso del suelo en la cuenca, aplicando el siguiente criterio:

Cuando $K < 0.15$, $C_e = K (P-250)/2000$

Cuando $K > 0.15$, $C_e = K (P-250)/2000 (K-0.15)/1.5$

Donde: P = precipitación.

De acuerdo con el tipo de suelo en la cuenca del Lago de Pátzcuaro y el porcentaje de deforestación, se asumió un valor de $K = 0.25$.

Adicionalmente se obtuvo la información sobre el $[P]$ total del Lago de Pátzcuaro (Bernal-Brooks 2002); el contenido de fósforo que se vierte al medio por tonelada de producción de acuerdo con un factor de conversión alimenticia (FCA) de 1.5:1 para trucha arcoiris; el contenido de P en el alimento y el porcentaje que asimila el pez se tomaron de Beveridge (1986); la $[P]$ total máximo permisible aplicable para el lago de acuerdo con los criterios de calidad de agua para la protección de la vida acuática (DOF 1989), así como el máximo permisible para trucha, de Beveridge (1986).

Se utilizó el modelo de Larsen y Mercier (1976 en Beveridge 1986) para la estimación del coeficiente de retención del fósforo en los sedimentos.

Se estimó la capacidad de carga sólo en la zona norte del lago, para una extensión de 300 km², por ser la zona menos contaminada del lago y de condiciones más estables (Bernal-Brooks 2002).

Como referencias adicionales sobre el estado trófico de los cuerpos de agua se utilizó la clasificación de Vollenweider (2008) que tipifica los embalses de aguas templadas de acuerdo con la distribución probabilística de $[P]$ total, $[N]$ total, $[Chl-a]$ y transparencia; la de Reckhow y Simpson (1980) refiriéndose a la $[P]$ total de Dillon y Rigler (1975) con relación a la $[Chl-a]$ promedio máxima permisible en verano y del Canadian Water Quality Guidelines (2005) sobre el nivel productivo de acuerdo con la $[P]$ total. Si bien es cierto que para lagos tropicales, las referencias de lagos templados del norte podrían no ser aplicables, Bernal-Brooks (2002) comenta que el Lago de Pátzcuaro es efectivamente tropical por su latitud y la temperatura del agua; sin embargo, su altitud permite su reubicación en el área subtropical además de que presenta similitud biótica con los lagos templados de Norteamérica. Por otro lado, no existen referencias validadas para lagos de áreas tropicales de México.

Finalmente, con la información recabada se aplicaron las cuatro fases del método de Beveridge (1986):

Fase 1: Conocer la $[P]$ total antes de la introducción de las jaulas.

Fase 2: Establecer la $[P]$ total aceptable después de la introducción de las jaulas.

Fase 3: Determinar ΔP :		Resultados
$\Delta P = [P]_{\text{final}} - [P]_{\text{inicial}}$	Ec. 5	La información obtenida para la aplicación del método de Beveridge se concentra en la <i>tabla 1</i> . A continuación se presentan los resultados de acuerdo con las cuatro fases del método de Beveridge (1986): <i>Fase 1.</i> En el lago se presenta un mosaico de condiciones limnológicas; en la zona limnética de aguas abiertas se registran las menores $[P]_{\text{total}}$ (69-113 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ en agosto y septiembre; de 74-91 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ en mayo y junio) seguida de la zona limnética del sur del lago (44-109 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ en agosto y septiembre; 110-138 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ en mayo y junio) y la zona litoral del sur que presenta las más altas concentraciones (254-851 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ en agosto y septiembre; 214-860 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ en mayo y junio). La $[P]$ total está entre 60 y 65 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ como valor mínimo registrado entre 1992 y 2002 para la zona limnética (Bernal-Brooks 2002). <i>Fase 2.</i> Establecer el máximo aceptable de $[P]$ total después de la introducción de las jaulas. De acuerdo con la información referente a los usos de los cuerpos de agua, la $[P]$ que diferentes autores establecen como máximo para salmónidos en ambientes templados similares a los del Lago
Como $\Delta P = L_{\text{pez}}(1 - R_{\text{pez}})/Z\rho$	Ec. 6	
Donde: L_{pez} = aportación de P por el recinto de peces; R_{pez} = la fracción de L_{pez} retenida en los sedimentos		
$L_{\text{pez}} = \Delta P Z \rho / (1 - R_{\text{pez}})$	Ec. 7	
(concentración total aceptable de P que aportan los peces, $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$), Donde:		
$R = 1 / (1 + 0.747\rho^{0.507})$	Ec. 8	
(Larsen y Mercier 1976 en Belveridge 1986)		
Fase 4: $L_{\text{pez}} \times \text{superficie del lago} = \text{concentración total aceptable} (\text{g} \cdot \text{año}^{-1})$.		
La concentración total aceptable /aporte de P que se produce por tonelada de producción, dado un FCA = capacidad de carga (toneladas de pescado $\cdot \text{año}^{-1}$).		

Tabla 1
Características morfométricas e hidrológicas del Lago de Pátzcuaro, Michoacán

Características	(Bernal-Brooks 2002)
Área total del lago excluyendo islas (A)	116.5 km^2
Volumen (V)	500 $\cdot 10^6 \text{ m}^3$
Profundidad máxima (D _{máx})	9.4 m
Profundidad media (z)	3 m
Área de la cuenca de drenaje	934 km^2
Tipo de cuenca	Endorréica
Precipitación media anual	918.8 mm (Estación metereológica de Pátzcuaro)
Evaporación media anual	1 495.5 mm (Estación metereológica de Pátzcuaro)
Ce ($K > 0.15$)	0.1 503 (Este trabajo)
Ve	128.95 Hm^3 (Este trabajo)
Tasa de descarga ρ (volúmenes)	0.1 235 (Este trabajo)
La $[P]$ total antes de la introducción de las jaulas	De 60 a 81 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ en la zona limnética; 85-118 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ en aguas abiertas del sur y de 153-324 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ en zona litoral del sur
[Chl-a]	23-103 $\text{mg/l} = 23\text{-}103 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ promedio en la zona litoral del sur en la estación cálida/seca; en la zona limnética y aguas abiertas del sur 20 $\text{mg/l} = 20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$; en la zona sur en lluvias 46 $\text{mg/l} = 46 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$
Transparencia	Secas: enero a marzo = 0.13 m y abril a julio = 0.43 m Lluvias agosto, octubre a enero = 0.35 m a 0.43 m y en septiembre = 0.37 m a 0.52 m

de Pátzcuaro es de $60 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (Beveridge 1986). Por su parte, los “Criterios ecológicos de calidad de agua” de aplicación en México señalan una máxima concentración de fósforo de $25 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ en agua dulce para la protección de la vida acuática. De acuerdo con los criterios arriba señalados, las concentraciones de (P) en el lago de Pátzcuaro exceden lo establecido tanto para salmonidos como para el criterio de protección de la vida acuática, es decir, no hay posibilidades de cultivo en el Lago de Pátzcuaro, dada su carga de nutrientes.

Con el objeto de concretar la aplicación del método de Beveridge, se asumió que la concentración de (P) en el lago fuera de $45 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ para poder continuar con el ejercicio y de $60 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ la concentración máxima permisible.

$$\text{Así, } P_{\text{final}} = 60 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Fase 3. Determinar $\Delta [P]$:

$$\Delta P = [P_{\text{final}}] - [P_{\text{inicial}}] = 15 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Puesto que

$$L_{\text{pez}} = \Delta P Z \rho / 1 - R_{\text{pez}}$$

$$\text{y } R = 1 / 1 + 0.747 \rho^{0.507}$$

$$\therefore R = 1 / 1 + 0.747 ([0.1235]^{0.507}) = 0.7428$$

$$\text{Y } L_{\text{pez}} = \frac{15 \times 8 \times 0.1235}{0.2572 \text{ año}} =$$

$$21 \text{ mg } m^{-2} \text{ año} = 0.021 \text{ g } m^{-2} \text{ año}^{-1}$$

Fase 4. Como la superficie del lago es de $500 \text{ km}^2 = 500 \cdot 10^6 \text{ m}^2$, la concentración total aceptable $= 500 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \cdot 0.021 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{año}^{-1} = 10.5 \cdot 10^6 \text{ g} \cdot \text{año}^{-1}$.

Las condiciones en el lago presentan [P] muy altas en la zona litoral del sur por lo que las hipotéticas jaulas deberían situarse en la zona norte del lago. Corrigiendo la estimación anterior, se asume una superficie de $300 \text{ km}^2 = 300 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ y la concentración total de aporte de P aceptable pasa de ser $10.5 \cdot 10^6 \text{ g} \cdot \text{año}^{-1}$ a $6.3 \cdot 10^6 \text{ g} \cdot \text{año}^{-1}$ para esa área. Asumiendo que se aportan 17 700 g de P por tonelada de alimento a una tasa de

conversión de alimento de 1:1.5 para trucha, la producción aceptable sería de $355 \text{ t} \cdot \text{año}^{-1}$ y ésta sería la capacidad de carga del Lago de Pátzcuaro. Es muy importante señalar que los cálculos realizados se efectúan asumiendo que la acuicultura sería la única actividad en el lugar. Por lo anterior, las cifras resultantes serían sólo indicativas como referencia para, en todo caso, proponer producciones menores dado que la cuenca recibe aportes de fósforo por todas sus riberas.

Finalmente, la condición trófica que priva en el Lago de Pátzcuaro, de acuerdo con diversas referencias, se presenta en la *tabla 2*.

Discusión y conclusiones

La concentración de (P) en el lago de Pátzcuaro excede los límites permisibles para la protección de la vida acuática establecidos en los criterios ecológicos de calidad de agua (DOF 1989) de $25 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, e incluso los permisibles para trucha.

De acuerdo con la clasificación de Vollenweider (2008) sobre el estado trófico de los cuerpos de agua basado en las concentraciones de (P) y Clorofila-a, el Lago de Pátzcuaro está eutroficado e hipereutroficado, lo mismo de acuerdo con la Canadian Water Quality Guidelines (2005).

En términos generales, la eutroficación por N y P causa una serie de problemas en los cuerpos de agua que incluye florecimientos algales, pérdida de oxígeno y pérdida de biodiversidad. La contaminación por nutrientes degrada tanto los recursos marinos como los de agua dulce y los inutiliza en gran medida tanto para su uso doméstico como para la industria, la agricultura y la recreación. Por otro lado, para la acuicultura también representa un riesgo, ya que el agua de baja calidad con altas densidades de peces es propicia para el surgimiento de enfermedades y la consecuente pérdida económica en los cultivos (Naylor *et al.* 2001).

No todos los efectos característicos de la eutroficación se presentan en el Lago de Pátzcuaro (*i.e.* anoxia); además, las altas [P] no han provocado la proliferación generalizada de fitoplancton, posiblemente debido a que, de acuerdo con Hernández-Avilés *et al.* (2001), un importante número de embalses en México —entre ellos el Lago de Pátzcuaro—, tiene al nitrógeno como

Tabla 2
Estado trófico del Lago de Pátzcuaro, Michoacán

	<i>[P]</i> ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	<i>Chl-a</i> ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	<i>Transparencia</i> (m)
Lago de Pátzcuaro, Mich. (Bernal-Brooks 2002)	[P] De 60 a 81 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ en la zona limnética; 85-118 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ en aguas abiertas del sur, y de 153-324 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ en zona litoral del sur	[Chl-a] 23-103 mg/l = 23-103 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ promedio en la zona limnética del sur	Secas: enero a marzo = 0.13 y abril a julio = 0.43. Lluvias: agosto, octubre a enero = 0.35 a 0.43 y en septiembre = 0.37 a 0.52
Criterios ecológicos de calidad de agua. Protección de la vida acuática. (DOF 1989)	[P] Excede el criterio de 0.025 mg/l = 25 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ como máximo de fósforo dentro del lago o embalse		
Reckhow y Simpson (1980)	[P] Nivel D (50 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) "Típico lago <i>viejo</i> en sucesión avanzada. Puede haber algunas pesquerías pero la presencia de altos niveles de sedimentación y de crecimiento algal o de macrófitas puede disminuir la superficie de agua"		
Dillon y Rigler (1975)		[Chl-a]- Nivel 4 (25 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) "Adecuado sólo para pesquerías de aguas cálidas, la transparencia del disco de Secchi menor a 1.5 m, con caída del oxígeno hipolimnético al principio del verano y con considerable riesgo de muerte de peces en invierno excepto en lagos profundos"	
Canadian waterqualityguidelines (2005)	[P] eutrófico (35-100 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) -hipertrófico (>100 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)		
Vollenweider (2008)	[P] -eutrófico (84.4 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ promedio)	[Chl-a] eutrófico (14.3 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ promedio) -hipertrófico (100-150 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	Transparencia hipertrófico (0.4-0.5 m) (en el Lago de Pátzcuaro la principal causa de turbidez es por sólidos suspendidos)

factor limitante de la productividad. Las descargas tanto de nitrógeno como de fósforo constituyen un problema de gran magnitud para la sustentabilidad de los cuerpos de agua en todo el mundo, debido sobre todo a las zonas urbanas aledañas y, específicamente, a las actividades agrícolas (Harding *et al.* 1998). La introducción de jaulas para el cultivo de peces en este lago agudizaría las condiciones de degradación, si se considera además que la cuenca es endorreica, en la que no hay más que entrada de agua pluvial

y salida por evaporación, lo que le confiere una dinámica de dilución y concentración a lo largo del ciclo anual (Bernal-Brooks 2002).

De acuerdo con Niemi *et al.* (1990), los ecosistemas acuáticos pueden adaptarse a perturbaciones, ya sean naturales o antropogénicas, pero si la frecuencia o la magnitud son grandes, la recuperación del ecosistema puede ser difícil de lograr. Cuando un ecosistema cambia del sistema A (natural) hacia el B (perturbado) debido a una perturbación (*e.g.* incremento en los

niveles de nutrientes o contaminantes), puede aparecer el fenómeno de la histéresis ecológica, si el ecosistema no tiene la capacidad de restauración para regresar al sistema A una vez que la perturbación desapareció, y en su lugar se transforma en otro tipo de ecosistema (un sistema C) (O'Neill 1999). Así, la restauración ecológica hacia el estado original o natural será imposible de lograr, tal y como lo ilustran Strange *et al.* (1999) para la cuenca sur del río Platte en las grandes planicies de Estados Unidos. En términos de su resiliencia, el Lago de Pátzcuaro ha sufrido introducciones de especies exóticas, disminución de su nivel, azolvamiento por la deforestación de su cuenca, contaminación orgánica e inorgánica, que llevan a considerar que su estado original hace mucho que se alteró por razones principalmente antropogénicas, lo que supondría entonces que el lago presenta histéresis ecológica, es decir, que su restauración total será prácticamente imposible. Sin embargo, esto no significa que la restauración ecológica no se deba llevar a cabo. Al contrario, realizar esfuerzos para la recuperación del embalse es urgente, ya que si el Lago de Pátzcuaro presenta cambios irreversibles en su dinámica –y en la actualidad las condiciones lo sitúan en estados desconocidos (*i.e.* histéresis ecológica)–, podría haber repercusiones en las actividades económicas que dependen del lago, como es el caso de la acuicultura, la pesca o el turismo, y representaría un costo de oportunidad alto por la pérdida de servicios ambientales y la imposibilidad de obtener beneficios monetarios de manera sustentable.

Además, la biodiversidad del Lago de Pátzcuaro se ha visto afectada por el desplazamiento de especies endémicas y por la alteración de las relaciones tróficas originales. En efecto, las especies endémicas del género *Chirostoma* del lago (pescado blanco y charales), especies zooplanctófagas en gran parte de su ciclo de vida, han sido fuertemente desplazadas por la lobina negra *Micropterus salmoides*, especie voraz introducida de hábitos carnívoros. Igualmente, la carpa común *Cyprinus carpio*, también introducida, es removedora de fondos, omnívora, fuerte consumidora de huevos de charal y pescado blanco (Vásquez 2003), así como causante adicional del enturbiamiento del agua.

De una u otra manera, el Lago de Pátzcuaro ha sufrido los cinco tipos de estresores que des-

criben Karr (1990) y NRC (1992 en CGER 2001): alteraciones físicas del hábitat, modificaciones en el flujo estacional del agua, cambios en la base alimenticia del sistema, cambios en las interacciones de la biota dominante y vertimiento de contaminantes. La presencia de uno o más de estos estresores puede ocasionar cambios en el cuerpo de agua, que resultan en la imposibilidad de alcanzar el uso requerido. Actualmente no sólo afecta directamente a la introducción de jaulas de peces como actividad productiva alternativa y a la pesca tradicional de las comunidades ribereñas e isleñas del lago, sino también a la utilización del agua para diversos usos, a la belleza escénica de su paisaje, así como a otros servicios ambientales.

La aplicación del método de Beveridge (1986) es factible aunque se dificulta por la falta de información sobre las condiciones hidrológicas y limnológicas de los cuerpos de agua. Es necesario validar el modelo de retención de (P) para las condiciones de los cuerpos de agua de nuestro país. Es importante tener en cuenta que la estimación de una producción permisible de peces por acuicultura en un cuerpo de agua obtenida por estos cálculos es sólo indicativa, ya que no considera otra fuente de aportación de (P) al medio. Además, la capacidad de carga es un indicador que varía en su estimación conforme las condiciones ecológicas del cuerpo de agua cambian estacionalmente, dependiendo también del carácter abierto o cerrado de la cuenca y, en consecuencia, de su tasa de descarga. Sin embargo, puede constituir una importante referencia para la toma de decisiones y, desde luego, para la regulación del estado de salud de los cuerpos de agua en los que se pretendan introducir jaulas de cultivo (Islam 2005).

El ordenamiento acuícola y pesquero es indispensable en los cuerpos de aguas interiores del país. Los planes de manejo acuícola deben incluir el análisis de la capacidad de carga, como la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables (DOF 2007) lo señala, basado en los factores limitantes.

En el presente documento no se recomienda la introducción de jaulas en embalses eutrofizados e hipereutrofizados; empero, en tales lugares, la siembra de peces y el desarrollo sostenido de actividades acuaculturales han constituido otras

opciones, condicionada a que no exista contaminación por metales pesados y coliformes en concentraciones que excedan la norma, pero con la prioridad del saneamiento de la cuenca correspondiente. El tratamiento de aguas servidas se vuelve una prioridad para los embalses nacionales, considerando además que la norma dicta una concentración límite de nutrientes antes de ser introducidas en los embalses y cuencas (DOF 1997).

Finalmente, un manejo integral de la cuenca es necesario, así como su saneamiento y el ordenamiento de las actividades productivas antes de decidir la introducción de jaulas de cultivo en el Lago de Pátzcuaro. Se requiere un cambio orientado a la concienciación de la actual situación del lago en todos los sectores involucrados en actividades en la cuenca, que mitigue los posibles conflictos entre usuarios de los recursos, además de la aplicación de la legislación vigente para evitar el vertimiento de nutrientes en ella. Todo esto finalmente posibilitará que los actores principales del manejo y el aprovechamiento de estos recursos intervengan en la planificación de su futuro y en la restauración del lago. Por todo ello, las políticas deberían dirigirse a promover la resiliencia y que, ante la dinámica del cuerpo de agua y de los efectos de la actividad humana, el enfoque precautorio prevalezca (Naylor *et al.* 2001). No obstante, para el Lago de Pátzcuaro esta posibilidad ya se rebasó, por lo que la restauración ecológica apremia tanto para detener la degradación del cuerpo de agua como de la cuenca.

Por otro lado, es importante determinar la potencialidad real del cultivo de peces en jaulas en los embalses del país mediante el análisis de la capacidad de carga por factores limitantes de la productividad, ya que en los casos mencionados, está seriamente limitada, así como los beneficios económicos que esta actividad podría generar.

Recomendaciones

Establecer referencias prácticas sobre productividad y niveles tróficos validadas para los cuerpos de agua templados y tropicales del país. Así como tener en cuenta que la definición de los factores limitantes de la productividad en los

cuerpos de agua nacionales es un punto importante y necesario para su correcto manejo.

Agradecimientos

Se agradece a Elaine Espino-Barr y a los revisores anónimos por sus valiosas observaciones que mejoraron sustancialmente este trabajo; asimismo, a Fernando Bernal-Brooks por la información proporcionada. Una versión anterior de este manuscrito fue presentada en el V Foro Científico de Pesca Ribereña, llevado a cabo en Boca del Río, Veracruz, México, en septiembre de 2010, en donde se benefició de valiosos comentarios.

Literatura citada

- ARROW K, B Bolin, R Costanza, P Dasgupta, C Folke, CS Holling, B Jansson, S Levin, K Mäler, C Perrings y D. Pimentel. 1995. Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Ecological Economics* 15: 91-95.
- AYALA RGL, G Ruiz S y A Chacón T. 2007. La Laguna de Zacapu, Michoacán. En: De la Lanza EG (compiladora). *Las aguas interiores de México. Conceptos y casos*. AGT Editor, S.A. pp: 267-284.
- BELTRÁN AR y J Sánchez P. 2007. Presa Adolfo López Mateos "El Varejonal". En: De la Lanza EG (compiladora). *Las aguas interiores de México. Conceptos y casos*. AGT Editor, S.A. pp: 561-578.
- BERNAL-BROOKS FW. 2002. La limnología del Lago de Pátzcuaro: una visión alternativa a conceptos fundamentales. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias. UNAM. 180p.
- BEVERIDGE MCM. 1986. Piscicultura en jaulas y corrales. Modelos para calcular la capacidad de carga y las repercusiones en el ambiente. *FAO Documento Técnico de Pesca* 255: 1-100.
- CANADIAN WATER QUALITY GUIDELINES. 2005. Phosphorus. Guidelines at a glance. National Guidelines and Standards Office. Environment Canada. [En línea: <www.ec.gc.ca/ceqg-rcqe/>].

- CGER. 2001. Assessing the TMDL approach to water quality management. Committee to Assess the Scientific Basis of the Total Maximum Daily Load Approach to Water Pollution Reduction. Water Science and Technology Board Division on Earth and Life Studies. National Research Council. National Academy Press, Washington, D.C.
- CHACÓN TA, C Rosas M y J Alvarado D. 2007. El lago de Cuitzeo. *En: De la Lanza EG (compiladora). Las aguas interiores de México. Conceptos y casos*. AGT Editor, S.A., pp: 305-338.
- DAVID CPC, YY Sta Maria, FP Siringan, JM Reotita, PB Zamora, CL Villanoy, EZ Sombrito y RV Azanza. 2009. Coastal pollution due to increasing nutrient flux in aquaculture sites. *Environmental Geology* 58: 447-454.
- DE LA LANZA EG, J García C, A Corona M y S Hernández P. 2007a. Tendencia de los problemas ambientales y evaluación del Lago de Chapala, Jalisco, México. *En: De la Lanza EG (compiladora). Las aguas interiores de México. Conceptos y casos*. AGT Editor, S.A., pp: 339-360.
- DE LA LANZA EG, J García C, J Soto C, MaE Zamudio R, ID González M y S Hernández P. 2007b. La presa Requena y su calidad del agua a través de indicadores fitoplanctónicos. *En: De la Lanza EG (compiladora). Las aguas interiores de México. Conceptos y casos*. AGT Editor, S.A., pp: 481-494.
- DILLON PJ y FH Rigler. 1974. A test of a simple nutrient budget model predicting the phosphorus concentrations in lake water. *Journal of the Fisheries Research Board of Canadian*. 31(14): 1771-8.
- DILLON PJ y FH Rigler. 1975. A simple method for predicting the capacity of a lake for development based on lake trophic status. *Journal of the Fisheries Research Board of Canadian*. 32: 1519-1531.
- DOF. 1989. Criterios ecológicos de calidad de agua (CE-CCA-001/89). Diario Oficial de la Federación, 13 diciembre 1989.
- DOF. 1997. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación, México, 6 de enero de 1997. (aclaración el 20 de abril de 1997) [En línea: <<http://www.semarnat.gob.mx/tramites/informaciondetramites/sirrep/Normas%20Vigentes/NOM-001-ECOL.pdf>>]
- DOF. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000. Conservación del recurso agua que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Diario Oficial de la Federación, México, 17 abril 2002.
- DOF. 2007. Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables. 2007. Diario Oficial de la Federación, México, 27 julio 2007.
- FERREIRA JG, AJS Hawkins, P Monteiro, H Moore, M Service, PL Pascoe, L Ramos y A Sequeira. 2008. Integrated assessment of ecosystem-scale carrying capacity in shellfish growing areas. *Aquaculture* 275: 138-151.
- FILGUEIRA R, J Grant, O Strand, L Asplin y J Aure. 2010. A simulation model of carrying capacity for mussel culture in a Norwegian fjord: Role of induced upwelling. *Aquaculture* 308: 20-27.
- GARCÍA-ESQUIVEL Z, MA González-Gómez, F Ley-Lou y A Mejía-Trejo. 2004. Potencial ostrícola del brazo oeste de Bahía San Quintín: Biomasa actual y estimación preliminar de la capacidad de carga. *Ciencias Marinas* 30(1A): 61-74.
- GASPAR-DILLANES MT, P Toledo D, E Romero B, A Liedo G y ME Arenas A. 2007a. Presa Ing. Aurelio Benassini Vizcaíno "El Salto", municipio de Elota, Sinaloa, México. *En: De la Lanza EG (compiladora). Las aguas interiores de México. Conceptos y casos*. AGT Editor, S.A., pp: 547-559.
- GASPAR-DILLANES MT, P Toledo D, E Romero B y A Liedo G. 2007b. Presa Gral. Álvaro Obregón (Oviachic), Sonora. *En: De la Lanza EG (compiladora). Las aguas interiores de México. Conceptos y casos*. AGT Editor, S.A., pp: 579-596.
- GÓMEZ-MÁRQUEZ JL, B Peña-Mendoza, JL Arredondo-Figueroa, IH Salgado-Ugarte y EA Guerra-Hernández. 2007a. Lago Coatetelco, Morelos. *En: De la Lanza EG (compiladora). Las aguas interiores de*

- México. *Conceptos y casos*. AGT Editor, S.A., pp: 169-183.
- GÓMEZ-MÁRQUEZ JL, B Peña-Mendoza, IH Salgado-Ugarte, O Flores M y JL Guzmán S. 2007b. Presa Emiliano Zapata, Morelos. *En: De la Lanza EG (compiladora). Las aguas interiores de México. Conceptos y casos*. AGT Editor, S.A., pp: 447-464.
- HARDING JS, EF Benfield, PV Bolstad, GS Helfman y EBD Jones III. 1998. Stream biodiversity: the ghost of land use past. *PNAS* 95: 14843-14847.
- HERNÁNDEZ-AVILÉS JS, F Bernal-Brooks, G Velarde, D Ortiz, OT Lind y L Dávalos-Lind. 2001. The algal growth potential and algal-limiting nutrients for 30 of México's lakes and reservoirs. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 27: 3583-3588.
- ISLAM MS. 2005. Nitrogen and phosphorus budget in coastal and marine cage aquaculture and impacts of effluent loading on ecosystem: review and analysis towards model development. *Marine Pollution Bulletin* 50: 48-61.
- KARR JR. 1990. Bioassessment and Non-Point Source Pollution: An Overview. Second National Symposium on Water Quality Assessment. Washington, DC, EPA Office of Water.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ M. 2007. Los ríos de México, sistemas altamente vulnerables. *En: De la Lanza EG (compiladora). Las aguas interiores de México. Conceptos y casos*. AGT Editor, S.A., pp: 621-645.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ M, MG Ramos E, MG Figueroa T y J Carranza F. 2007a. Presa Zimapán: implicaciones ambientales, pesqueras y sociales. *En: De la Lanza EG (compiladora). Las aguas interiores de México. Conceptos y casos*. AGT Editor, S.A., pp: 495-516.
- MAGALLÓN-BARAJAS FJ. 2006. Desarrollo y aplicación de una metodología, para evaluar la variabilidad de la capacidad de carga de la acuicultura de camarón, en la región del Golfo de California. Tesis de Grado. Universidad de la Habana, Cuba. CIBNOR, México. 224p.
- MCCONNON GET. 1993. Evaluation of recreational boating congestion and dispersion as a step in the formation of carrying capacity guidelines for the western end of Lake Erie. Thesis Master of Sciences. The Ohio State University. 138p.
- MCKINDSEY C, H Thetmeyer, T Landry y W Silvert. 2006. Review of recent carrying capacity models for bivalve culture and recommendations for research and management. *Aquaculture* 261: 451-462.
- NAYLOR RL, RJ Goldburg, J Primavera, N Kautsky, MCM Beveridge, J Clay, C Folke, J Lubchenco, H Mooney y M Troell. 2001. Effects of aquaculture on world fish supplies. Ecological Society of America. Washington D.C. *Issues in Ecology* 8:1-14.
- NIEMI GJ, P DeVore, N Detenbeck, D Taylor, A Lima y J. Pastor. 1990. Overview of case studies on recovery of aquatic systems from disturbance. *Environmental Management* 14: 571-587.
- O'NEILL RV. 1999. Recovery in complex ecosystems. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery* 6: 181-187.
- ORBE MA, D Hernández M, J Acevedo G, M Guzmán A. 2002. Presa Aguamilpa. Nayarit, México. *En: De la Lanza EG y JL García C (compiladores). Lagos y presas de México*. AGT Editor, S.A., pp: 402-420.
- PAEZ-OSUNA F. 2001. The environmental impact of shrimp aquaculture: a global perspective. *Environmental Pollution* 112: 229-231.
- PULATSÜ S. 2003. The application of phosphorus budget model estimating the carrying capacity of Kesikköprü Dam Lake. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 27(5): 1127-1130.
- QUIROZ CH, I Molina A, J García R y M Díaz V. 2007. Los lagos Zempoala y Tonatiahua del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, Morelos. *En: De la Lanza EG (compiladora). Las aguas interiores de México. Conceptos y casos*. AGT Editor, S.A., pp: 141-167.
- RECKHOW KH y JT Simpson. 1980. Soil and water conservation society of Metro Halifax. 1993. Compendium of Synopsis and Briefs, being extracts from credible literature in Theoretical/Applied Limnology with emphasis on Lake Restoration/Management. 13 p. [En línea: <<http://www.chebucto.ns.ca/ccn/info/.../SWCS/studies.html>>]

- SAGARPA. 2008. *Anuario estadístico de pesca* 2008. CONAPESCA. México.
- SAITO MA, TJ Goepfert y JT Ritt. 2008. Some thoughts on the concept of colimitation: Three definitions and the importance of bioavailability. *Limnology & Oceanography*. 53(1): 276-290.
- SHALOM F, F Muñoz y S Sepúlveda. 2002. Piscicultura en ambientes naturales y estanques [En línea: <http://www.monografias.com/trabajos911/calculo-capacidad-carga/calculo-capacidad-carga.shtml#Relacionados>].
- STRANGE EM, KD Fausch y AP Covich. 1999. Sustaining ecosystem services in human-dominated watersheds: biohydrology and ecosystem processes in the South Platte River basin. *Environmental Management* 24: 39-54.
- TORRES-OROZCO RE y A Pérez-Rojas. 2002. Lago de Catemaco. En: De la Lanza EG y J L. García C (compiladores). *Lagos y Presas de México*. AGT Editor, S.A., pp: 211-251.
- TVETERAS S y R Tveteras. 2010. The global competition for wild fish resources between livestock and aquaculture. *Journal of Agricultural Economics* 61: 381-397.
- UNIVERSIDAD DE MAGALLANES. 1999. PROYECTO FIP 99-26: Determinación de la capacidad de carga del lago Sofía en la XII Región. Fondo de Investigación Pesquera. Chile [En línea: http://www.fip.cl/prog_subprog/1999/99-26.htm].
- VÁSQUEZ GA. 2003. Testimonios de los habitantes de la ribera e islas del lago de Pátzcuaro, en cuanto a sus vivencias sobre el pescado blanco. En: Rojas CPM y D Fuentes C (eds.). *Historia y avances del cultivo de pescado blanco*. Instituto Nacional de la Pesca, pp: 257-287.
- VÁZQUEZ G, M Caballero, S Lozano y A Rodríguez. 2007. Lagos cráter de la región de los Tuxtlas: limnología, flora algal y estudio paleolimnológico de la deforestación reciente. En: De la Lanza EG (compiladora). *Las aguas interiores de México. Conceptos y casos*. AGT Editor, S.A., pp: 213-232.
- VOLLENWEIDER RA. 2008. Trophic terminology and prediction. Research of the Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD). Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax (SWCSMH). February 24.
- WICKI GA y L Luchini. 2002. Evaluación del potencial para acuicultura en la región del Comahue. (Provincias de Neuquén y Río Negro). Información Básica. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPYA). República de Argentina. 52p.

Recibido: 14 de noviembre de 2011.

Aceptado: 11 de septiembre de 2012.