

Evaluación del potencial pesquero de cenotes de Quintana

Una aproximación metodológica



RESUMEN

Adrián Cervantes-Martínez*
Lourdes Coronado Álvarez

En la Península de Yucatán los cenotes y las aguadas constituyen fuentes de agua dulce para los pobladores de la región; entre los organismos que albergan se halla el cíclido *Cichlasoma urophthalmus*, de importante uso pesquero por lo que es necesaria su evaluación. En este trabajo se describen algunos métodos para la estimación de la producción en cenotes. Modelos como el de la Productividad Morfométrica Condicionada (PMC), el Índice Morfoedáfico (Ime) y de Depleción, son algunos ejemplos de los métodos que se recomiendan para el cálculo de la producción en un sistema acuático determinado; son instrumentos útiles para conocer el estado del recurso, que deben ser empleados de acuerdo con las particularidades de cada sistema y de su dinámica poblacional para inferir la factibilidad y aprovechamiento del recurso.

PALABRAS CLAVE | cenotes, modelos, pesquerías, productividad, morfometría.

* Universidad de Quintana Roo / adcervantes@correo.uqroo.mx



Introducción

México cuenta con aproximadamente 0.3×10^6 km² de aguas continentales e internas en forma de lagunas, ríos, entre otros, que se consideran como una opción para obtener nutrimentos para la población (Tello-Cetina *et al.*, 1994:10). En este sentido, la región sureste del país es de particular importancia porque capta más de 50 % del volumen de agua a nivel nacional (Alcocer y Escobar, 1996: 58) y en ella se encuentran sistemas conocidos como cenotes, aguadas y cavernas inundadas, formados por la disolución de las rocas carbonatadas que conforman a la Península de Yucatán (Suárez-Morales y Rivera-Arriaga, 1998:151).

Los cenotes y aguadas de la Península de Yucatán constituyen la principal fuente de agua dulce en la región (Herrera-Silveira y Comín, 2000:214); en ellos se han encontrado altos niveles de riqueza orgánica y peces e invertebrados endémicos (Suárez-Morales y Rivera-Arriaga, 1998:152. Es común encontrar peces importantes desde el punto de vista pesquero, como *Cichlasoma urophthalmus* (Günter, 1862) considerado de uso potencial para cultivo (Ross y Martínez-Palacios, 1994:3 y García-Cristiano, 1999:85) y uno de los recursos ícticos de autoconsumo más importante para los pobladores de la zona centro de Quintana Roo (Poot-López, 1999:35). A pesar de la importancia de estos cuerpos de agua, se conoce muy poco acerca de las condiciones morfológicas, limnológicas y el potencial que guardan.

Algunos autores, como Torres-Orozco y García-Calderón (1995:85), sugieren que el manejo de las aguas continentales requiere de la evaluación de la productividad de los lagos. Este conocimiento debe adquirirse con métodos simples que permitan observar tendencias para hacer predicciones e identificar modificaciones en las condiciones base; también se considera que factores abióticos (como el componente edáfico y las características morfológicas) condicionan la productividad de los ambientes dulceacuícolas. En este sentido, Alcocer y Escobar (1993:176) encontraron que la biomasa de peces (en gramos de peso húmedo/m²) de lagunas costeras del Pacífico mexicano, está correlacionada positivamente con la productividad morfológica condicionada, la cual es un índice calculado a partir de la longitud máxima del sistema, el perímetro, el desarrollo litoral, el área, el volumen, el desarrollo de volumen y la profundidad media, y se define como la productividad potencial que un lago puede desarrollar en función de sus características morfológicas (Alcocer y Escobar, 1993:176).

Aunque en el trabajo citado no se practican evaluaciones de poblaciones de peces, es interesante observar que los autores exponen la forma en que la biología pesquera y la limnología confluyen en la predicción del tamaño o stock de peces que existen en un sistema continental. Destaca esta participación interdisciplinaria, ya que con frecuencia estas disciplinas se consideran de manera aislada y sería más benéfico que trabajaran de manera conjunta (Rigler, 1982:127).

En nuestro país hay pocos estudios sobre la dinámica de los sistemas de agua dulce, de tal forma que en la mayoría de los casos es difícil tener una idea de las condiciones base que subsecuentemente permitirían un mejor uso del recurso. Por lo tanto, a partir de una revisión bibliográfica, en el presente trabajo se exponen algunas metodologías para evaluar a la población *C. urophthalmus*, cíclido de mayor distribución y abundancia en la Península de Yucatán (Schmitter-Soto, 1998:105). Asimismo, se plantean técnicas útiles en la determinación del potencial pesquero de los cenotes y aguadas de la Península de Yucatán, desde el punto de vista limnológico.

Métodos de evaluación

Desde el punto de vista pesquero, la evaluación poblacional tiene como objetivo cuantificar el estado de un recurso, mediante el uso de herramientas matemáticas y estadísticas y en función de las alternativas de manejo. En otras palabras, nos da un diagnóstico del estado actual (referido en términos de explotación) de una población o poblaciones de organismos importantes para el hombre (Sosa-Cordero, 2000). Los factores son atributos biológicos de una población, tales como la natalidad, el crecimiento, la mortalidad y la inmigración (Torres-Orozco y García-Calderón, 1995:85).

Las fluctuaciones en la población puede ocurrir por movimientos dentro y fuera de la zona considerada, o por ciclos de nacimientos y muertes. A partir de lo anterior, lo primero que hay que señalar es que los cenotes aparentemente presentan condiciones de poca variabilidad; esto no quiere decir que son estáticos, sino que probablemente dentro de ellos se observe un mayor equilibrio entre las ganancias y pérdidas de individuos en una población, ya que no están sometidos a condiciones tan cambiantes como las que se observan en zonas inundables o ríos (Lowe-McConnel, 1987:215).



El *C. urophthalmus*, es consumido en todo Quintana Roo (Schmitter-Soto, 1998:106) y comúnmente pescado con anzuelo (observación personal). A continuación se describen los métodos que pueden ser eficaces en las estimaciones poblacionales de la especie en los cenotes y aguadas de la región. Es pertinente puntualizar que en este trabajo, por conveniencia, se agrupan en dos tipos: los métodos basados en la teoría ecológica poblacional (usualmente útiles en pesquerías) y los basados en la teoría limnológica (que por lo general considera a las características iónicas y morfológicas de los sistemas que albergan peces de interés humano). En cuanto a los métodos poblacionales tenemos:

a) *Métodos de marcado-recaptura* (King, 1995:158). Conocido también como método de Petersen; consiste en la liberación un número conocido de peces marcados y la proporción de recapturada se usa para estimar el tamaño del stock (N):

$$N = TC/R$$

Donde T= número de organismos marcados

C= capturados y

R= recapturados.

Un punto valioso de este método es que posee una relación para calcular el error estándar y proporciona intervalos acerca de la estimación de la población con 95% de confianza. El método debe cumplir con los siguientes supuestos: los individuos marcados deben distribuirse azarosamente y después del marcado no deben ser reclutados. Debido a que rara vez los supuestos se cumplen (King, 1995: 175), para tratar de evitar la mayor variabilidad posible en los resultados y refiriendo del caso particular de *C. urophthalmus*, es necesario apuntar que el tipo de anzuelo usado para la pesca es selectivo de talla, es importante homogeneizar el esfuerzo de captura (horas/hombre), así como la hora del día en que se realice la pesca (Poot-López, 1999:38; Rojas-García, 1999:29). Además, es deseable usar el mismo tipo de carnada durante todo el experimento para que la probabilidad de captura sea la misma para todos los individuos (Arce-Ibarra, com. personal). Algunos experimentos de marcado-recaptura realizados en cenotes de la zona centro de Quintana Roo con *C. urophthalmus* han mostrado que es necesario dedicar dos días exclusivamente

al marcado, seguidos de tres días de pesca y registro de peces capturados y recapturados (Poot-López, 1999:40 & Rojas-García, 1999:35).

Se han hecho algunas modificaciones al método de Peterson para obtener mayor precisión en los resultados, como ejemplo de ello podemos citar el modelo de Chapman, el de marcaje-recaptura múltiple y el de máxima verosimilitud ponderada desarrollado por Carle y Strub (para una explicación más amplia de cada técnica y fórmulas, véanse Poot-López, 1999:20 y Rojas-García, 1999:18).

b) *Métodos de depleción* (King, 1995:182). Estiman el tamaño de la población (N_0) que existe justo antes de comenzar la secuencia de extracción o stock inicial. Con este método, la captura equivale a la remoción de la población completa e involucra sobre-pesca deliberada en una población aislada de peces. Los métodos usados son los de Leslie y De Lury, éstos suponen que la estimación del stock inicial será correcta siempre que la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) sea proporcional al tamaño del stock, y que éste se reduzca en un corto periodo, de tal manera que la migración, reclutamiento y mortalidad natural se ignoren (existen condiciones de equilibrio).

La población aislada puede ser natural o artificial y para el caso de las aguadas o cenotes poco profundos puede aislarse una subpoblación de peces de *C. urophthalmus* con el uso de redes, para posteriormente realizar el experimento de depleción y así conocer el número de organismos que existen en el área delimitada por la red (y extrapolarse al sistema completo), así como la proporción del stock total capturada por una unidad de esfuerzo (coeficiente de capturabilidad o “q”).

De igual manera ya existen modificaciones al modelo original, las cuales eliminan el supuesto de “equilibrio” para considerar variables como la mortalidad natural (M) y el reclutamiento (R_0) con el objeto de considerar la variabilidad existente en cualquier población natural. Estas versiones modificadas al modelo de Leslie y De Lury se ofrecen en los paquetes CEDA (Sosa-Cordero, 2000: 8).

c) *Métodos para hacer análisis bajo ausencia o escasez de datos*. Pueden ser valiosos en aquellos sistemas donde prácticamente nada se conoce. Como ejemplo está la ecuación de Gulland, que permite estimar la captura máxima sostenible (CMS) a partir de la mortalidad natural (M) y la abundancia (B_0) del stock virgen con la siguiente relación:

$$CMS = 0.5 (M) (B_0)$$



En este caso, para obtener M y B_0 es necesario hacer consultas bibliográficas y emplear recursos parecidos a la especie en cuestión, es decir, se pueden consultar resultados obtenidos en organismos (géneros o especies distintas) muy emparentados con la de interés. Otra forma es que al momento de tomar la muestra, se realicen medidas de tallas y se obtenga la mortalidad total a partir de la estructura de tallas.

Un punto importante es decidir si un solo experimento de marcado-recaptura o de depleción es suficiente para obtener resultados confiables. Aparentemente sí lo es, sin embargo, es necesario asegurar la mayor cantidad de observaciones (King, 1995:225). Es decir, se recomienda que el tamaño de muestra sea grande ($n > 30$), para disminuir la variabilidad en la estimación poblacional, de tal forma que se acerque lo más posible a la realidad. Adicionalmente, se recomiendan cinco días de experimentación, pero dependiendo de sus características, probablemente algunos sistemas (con abundancias muy altas) necesiten mayor tiempo.

Por otro lado, los métodos limnológicos se concentran en factores abióticos, afirman que la producción es consecuencia de componentes morfométricos (características de la cubeta lacustre), edáficos (papel de los materiales disueltos) y climáticos (variaciones en la temperatura y el calor) (Torres-Orozco y García-Calderón, 1995: 51).

Una exposición amplia de la metodología básica para calcular magnitudes y relaciones morfométricas puede consultarse en Reid & Wood (1976: 221) y Torres-Orozco y García-Calderón (1995: 33). Los parámetros de importancia para evaluación de producción pesquera son: longitud máxima del sistema (l), perímetro (L), desarrollo litoral (D_L), área (A), volumen (V), desarrollo de volumen (D_v) y profundidad media (z).

Los primeros cuatro parámetros se pueden determinar a partir de fotografías aéreas tomadas desde un avión de aeromodelo con una cámara fotográfica adaptada a él; con mapas o imágenes de satélite a escala 1:50 000, 1:10 000, 1:1000; o a partir de mapas base delineados in situ para el caso de sistemas pequeños, siguiendo la orientación del litoral con la técnica de segmentos continuos (Torres-Orozco y García-Calderón, 1995:35). El volumen, desarrollo de volumen y profundidad media, se pueden determinar a partir de perfiles batimétricos registrados en una ecosonda, siguiendo transectos paralelos dentro del sistema en análisis (Arredondo-Figueroa et al., 1983: 40).

- a) *Productividad Morfométrica Condicionada*. Una vez determinadas las anteriores variables, es posible calcular la Productividad Morfométrica Condicionada (PMC) por sistema. Ésta se define como la productividad potencial que un lago puede desarrollar en función de sus características morfométricas. Para ello, a cada lago se le asigna un índice calculado a partir de la variación en I , L , D_L y D_V (relacionados directamente con la producción pesquera) y A, V, z (que han mostrado relación inversa con la producción). Se ha determinado que la PMC está directamente correlacionada con la biomasa de peces (en gramos de peso húmedo/m²) (Alcocer & Escobar, 1993: 173).
- b) *Índice Morfoedáfico*. Es un modelo que considera la forma del sistema dulceacuícola y parámetros fisicoquímicos del agua, como componentes no biológicos importantes, para estimar el potencial pesquero (Torres-Orozco y García-Calderón, 1995:88). En algunas regiones africanas este modelo se ha aplicado exitosamente, pero para el caso de México no se ha demostrado su precisión.

En el lme se considera a la conductividad dividida entre la profundidad media del sistema, para calcular la producción secundaria a partir de una calibración del rendimiento y el lme ajustados con mínimos cuadrados. Así, hay una relación distinta para cada tipo de sistemas según sus características (Torres-Orozco y García-Calderón, 1995:88) (cuadro 1). Por lo tanto, el lme trabaja bajo la premisa de que la producción de peces está determinada por la morfometría del sistema y la disponibilidad de nutrimentos y energía (Ryder, 1982:155).

CUADRO 1. ECUACIONES PARA CALCULAR EL RENDIMIENTO PESQUERO EN DIFERENTES TIPOS DE SISTEMAS DULCEACUÍCOLAS A PARTIR DEL lme.

RELACIÓN	TIPO DE SISTEMA
$\text{Log } Y = 1.4071 + 0.3697 \text{ Log lme} - 0.000045 A_o$	Cuerpos de agua muy grandes, con decenas de miles de hectáreas de superficie
$Y = 23.281 \text{ lme} (0.447)$	Embalses
$Y = 19.0677 \text{ lme} (0.7950)$	Embalses pequeños de miles de hectáreas de superficie

A_o = Área del sistema, lme = Índice Morfoedáfico, Y = rendimiento en kg, Ha⁻¹año⁻¹ (Torres-Orozco y García-Calderón, 1995:88).



El Ime ha sido usado globalmente, sin embargo su simplicidad metodológica, combinada con su complejidad conceptual, ha sido criticada y alabada al mismo tiempo, de tal forma que se han obtenido resultados divergentes y aún se discute sobre su utilidad (Ryder, 1982:155).

Discusión

La indagación del potencial pesquero de los cenotes y aguadas de la Península de Yucatán, así como la evaluación de las poblaciones de importancia para las comunidades de la región son campos prácticamente vírgenes en la ciencia (Poot-López, 1999:49). Como se podrá observar, existen varios métodos que aparentemente nos llevarán a un mismo resultado. Esto no siempre es cierto, por ejemplo Ryder (1982:156) nos señala que el Ime puede proporcionar resultados ampliamente divergentes si no se consideran con suficiente atención los supuestos del modelo; por ejemplo, el área, el estado trófico, el origen y volumen de los sistemas, entre otros.

Por otro lado, debe tomarse en cuenta que los resultados de un modelo no deben considerarse como el punto último para el manejo de recursos, exclusivamente se trata de herramientas que nos permitirán hacer inferencias acerca de un problema de interés. Asimismo, todos los modelos son factibles de modificación y siempre hay que diferenciar entre modelos globales, regionales e infraregionales para cuestiones de manejo: no todos pueden aplicarse al mismo tiempo y no todos serán útiles en cualquier caso. La aplicación de uno u otro depende de las características de cada sistema en estudio (Ryder, 1982:157).

Igualmente, es interesante apuntar que la ciencia pesquera y la limnología, a pesar de contar con objetivos comunes (por ejemplo predecir el potencial pesquero), son disciplinas que en pocos trabajos confluyen y aparentemente ninguna está interesada en enriquecerse de la otra. De hecho y como se habrá observado, en la sección de resultados, los métodos para cada disciplina se presentan en secciones distintas, debido a que se basan en paradigmas diferentes (Rigler, 1982:129). Este trabajo no tiene como objetivo encontrar el punto exacto de confluencia entre ambas disciplinas (lo cual seguramente tomará bastante tiempo de investigación y filosofía); sin embargo, probablemente resulte interesante que se apliquen modelos de la ciencia pesquera junto con modelos limnológicos para observar qué tanta correspondencia existe entre

ambos. Por otro lado, sistemas considerados de baja variabilidad (como los cenotes y aguadas) pueden ser objetos de estudio ideales para tal fin.

Lo anterior puede ser muy valioso desde el punto de vista de manejo, ya que siempre es preferible contar con una gama de resultados que nos permitan observar patrones y tomar decisiones a nivel regional.

FUENTES CONSULTADAS

- Alcocer, J., E. Escobar (1993). "Morphometric characteristics of six mexican coastal-lakes related to productivity". *Revista de Biología Tropical*, vol. 41, 171-179.
- y E. Escobar (1996). "Limnological regionalization of Mexico". *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, vol. 2, 55-69.
- Arredondo-Figueroa, J.L., L.E. Borrego-Enríquez, R.M. Castillo-Domínguez y M. A. Valladolid-Laredo (1983). "Batimetría y morfometría de los lagos "maars" de la cuenca de Occidental, Puebla, México". *Biótica*, vol. 8, 37-47.
- García-Cristiano, A. (1999). *Perspectivas de cultivo del cíclido Cichlasoma urophthalmus en el estado de Campeche*, en A. Sánchez-Zamora, J.L. Cruz-Burguete y L.E. Amador del Angel (eds.). *Memorias del Taller Potencial de la Piscicultura en el Estado de Campeche y las Prioridades en la Investigación*. México: El Colegio de la Frontera Sur, Universidad Nacional Autónoma de México y Universidad Autónoma de Campeche, 83-88.
- Herrera-Silveira, J. y F. Comín (2000). "An introductory account of the types of aquatic ecosystems of Yucatan Peninsula (SE México)", en: M. Munawar, S.G. Lawrence, I.F. Munawar y D.F. Malley (eds.). *Aquatic ecosystems of Mexico: status & scope*. The Netherlands: Backhuys Publishers.
- King, R. (1995). *Fisheries biology assessment and management*. USA: Fishing News Books.
- Lowe-McConnell, R.H. (1987). *Ecological studies in tropical fish communities*. Cambridge: Tropical Biology Series.
- Poot-López, G.R. (1999). *Aspectos biológico-pesqueros de la mojarra pinta Cichlasoma urophthalmus en el cenote Esperanza del ejido X-hazil Sur y anexos*,



- Quintana Roo. Tesis de licenciatura. México: Instituto Tecnológico de Chetumal.
- Reid G. y R. Wood (1976). *Ecology of inland waters and estuaries*. Nueva York: D. Van Nostrand.
- Rigler, F.H. (1982). "The relation between fisheries management and limnology". *Transactions of the American Fisheries Society*, vol 111, 121-131.
- Rojas-García, J. (1999). *Los recursos pesqueros del ejido X-hazil Sur y anexos; Quintana Roo, México: un estudio etnobiológico*. Tesis de maestría. México: El Colegio de la Frontera Sur.
- Ross, L. G. y C.A. Martínez-Palacios (1994). "Introducción," en C.A. Martínez-Palacios y L.G. Ross (eds.). *Biología y cultivo de la mojarra latinoamericana Cichlasoma urophthalmus*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Ryder, R.A. (1982). "The morphoedaphic index: use, abuse and fundamental concepts". *Transactions of the American Fisheries Society*, vol, 111, 154-164.
- Schmitter-Soto, J. J. (1998). *Ictogeografía histórica de las aguas interiores de la Península de Yucatán*. Tesis doctoral. México: UNAM.
- Sosa-Cordero, E. (2000). "Práctica Núm. 4, Modelos de depleción". *Curso pesquerías tropicales*. México: El Colegio de la Frontera Sur.
- Suárez-Morales, E. y E. Rivera-Arriaga (1998). "Hidrología y fauna acuática de los cenotes de la península de Yucatán". *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, vol. 48, 151-164.
- Tello-Cetina, J.A., H. Álvarez-Hernández y A. de Jesús Navarrete (1994). "Estudio preliminar para el cultivo de *Petenia splendens* en el estado de Quintana Roo". *AvaCient*, vol. 15, 34-43.
- Torres-Orozco, R. y J.L. García-Calderón (1995). *Introducción al manejo de datos limnológicos*. México: UAM-Iztapalapa.