

La Mojarra Castarrica, *Mayaheros urophthalmus*: Especie nativa Mesoamericana, con alto potencial acuícola

The Mayan Cichlid, *Mayaheros urophthalmus* : Native Mesoamerican species, with high aquaculture potential

Mario Fernández-Pérez^{1*} 

¹División Académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Km. 25. Carretera Villahermosa-Teapa, Centro, Tabasco, México.

*Autor de correspondencia: mafepez@hotmail.com

Autor de correspondencia: Mario Fernández-Pérez. División Académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Km. 25. Carretera Villahermosa-Teapa, Centro, Tabasco, México.

Como citar: Fernández-Pérez M. La Mojarra Castarrica, *Mayaheros urophthalmus*: Especie Nativa Mesoamericana, con Alto Potencial Acuícola. Tropical Aquaculture 2 (1): e5735. DOI 10.19136/ta.a2n1.5736

Artículo de revisión: 24 de septiembre 2024

Artículo de revisión evaluado: 04 de octubre de 2024

Artículo de revisión aceptado: 05 de octubre de 2024

License creative commons: This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License 

Resumen

La acuicultura permite la producción de alimentos, trayendo importantes beneficios sociales y económicos que resultan con un alto valor nutricional y costos accesibles para la población. México cuenta con una gran diversidad de especies nativas con un gran potencial para esta actividad, como la mojarra castarrica, *Mayaheros urophthalmus*. La presente revisión bibliográfica se realizó en Google Scholar, bibliotecas y repositorio institucional de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco sobre los avances en el conocimiento de la biología, pesquería y potencial acuícola de la mojarra castarrica. Dentro de los resultados se encontró que el 60% de ellos, están enfocados a la biología y ecología de la especie, destacando que, es un pez omnívoro con tendencia a la carnívora que se alimenta normalmente de peces e invertebrados, presenta una importante fecundidad, reproduciéndose varias veces durante los meses cálidos. La situación pesquera de la castarrica es incierta; en la actualidad, las capturas se reportan englobando a todos los cíclidos por lo que no hay base que indique su situación. Sin embargo, los pescadores reportan bajas capturas. En el aspecto acuícola, hay avances de cultivo, nutrición y aspectos biotecnológicos, identificándose al larvicultivo como una de las fases críticas del desarrollo y en la etapa de cultivo, puede ser cultivada en jaulas, geomembranas o jagüeyes con un alimento que contenga entre 32 y 45 % de proteína. En nutrición se tienen avances, pero aún no hay un alimento diseñado específicamente para esta especie. Se requieren muchos más estudios para determinar su potencial pesquero y acuícola.

Palabras clave: Mojarra castarrica, Biología, ecología, acuicultura, pesquería.

Abstract.

Aquaculture allows food production, bringing important social and economic benefits that result in high nutritional value and accessible costs for the population. Mexico has a great diversity of native species with great potential for this activity, such as the Mayan cichlid, *Mayaheros urophthalmus*. The present bibliographic review was carried out in Google Scholar, libraries and the institutional repository of the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco on the advances in the knowledge of the biology, fishery and aquaculture potential of the mojarra castarrica. Among the results, it was found that 60% of them are focused on the biology and ecology of the species, highlighting that it is an omnivorous fish with a carnivorous tendency that normally feeds on fish and invertebrates, presents an important fecundity, reproducing several times during the warm months. The fishery status of the beaver is uncertain; at present, catches are reported as encompassing all cichlids, so there is no basis to indicate its status. However, fishermen report low catches. In aquaculture, there are advances in culture, nutrition and biotechnological aspects, with larval culture being identified as one of the critical phases of development. In the grow-out stage, it can be cultivated in cages, geomembranes or earthen ponds, using a feed containing between 32 and 45% protein. Progress has been made in nutrition, but there is still no feed specifically designed for this species. Many more studies are required to determine its fishing and aquaculture potential.

Keywords: Mayan cichlid, biology, ecology, aquaculture, fishery.

Introducción

Con el crecimiento de la población mundial, la disponibilidad de recursos de alimentos y materia prima se han convertido en una necesidad básica para la sustentabilidad del ser humano. Por lo tanto, es necesario que, actividades técnicas y conocimientos como los que nos brinda la acuicultura se tengan en cuenta como una alternativa ideal para la administración de los recursos acuáticos.

La acuicultura según Platas-Rosado (2018) se define como la producción de todo tipo de organismo vivo en el medio acuático, por lo que, se considera la solución con mayor relevancia a los grandes retos existentes en cuanto a la producción de alimentos. Debido a ello, es importante conocer la evolución reciente y el estado actual de esta actividad, pues se puede afirmar que la acuicultura representa el sector productivo de alimentos con el crecimiento más acelerado, contribuyendo a la producción pesquera mundial en un 44 % entre 2013 y 2015, y se proyecta para el periodo 2021-2025 superar con 52 % a los productos pesqueros destinados a la alimentación (Msangi *et al.*, 2017, FAO 2020). Es decir, con el paso de los años dicha actividad se ha incrementado y fortalecido a pasos agigantados. Por ende, el progreso y relevancia de esta actividad está marcando un claro camino en el desarrollo de técnicas versátiles que permiten la producción de alimentos con altos estándares de calidad. Ya que una de las mayores fortalezas de la acuicultura radica en su enfoque hacia un consumo humano con el propósito de contribuir en la disminución de los problemas alimentarios mundiales.

En México, esta actividad se ha convertido en una de las más prometedoras y de rápido desarrollo de los últimos años puesto que, trae

importantes beneficios sociales y económicos que resultan en una fuente de alimento para la población con un alto valor nutricional y costos accesibles (Sosa-Villalobos *et al.*, 2016). De tal manera que, su actividad registra importantes antecedentes desde inicios de la época prehispánica. Al respecto, Cifuentes-Lemus y Cupul-Magaña (2002) señalan que las culturas mesoamericanas practicaban esta actividad para rendir culto al dios de la pesca. Este hecho permitió la apertura a un avance y evolución en el país con el paso del tiempo que impulsó a esta actividad con el mayor desarrollo y potencial de los últimos años. Por ello, se asegura que en México la acuicultura ha alcanzado una tasa anual de crecimiento de 15 % y una producción de 337,018 ton, en el cual participan alrededor de 56 mil acuicultores que operan las 9,230 granjas registradas, que representan 22% de la actividad pesquera del país (SAGARPA 2017). Es evidente el crecimiento de esta actividad en el país, así como el gran potencial que posee. Sobre todo, teniendo en cuenta que México cuenta con una gran biodiversidad de especies acuáticas y valiosos recursos marinos.

Entre los principales estados con mayor producción acuícola, se encuentran Sinaloa, Puebla, Guerrero, Michoacán, Oaxaca y Tabasco (Betanzo-Torres *et al.*, 2019). Por lo tanto, es fundamental que existan instituciones e instrumentos normativos eficientes y capaces de lidiar con los retos que enfrentan los productores y sus comunidades con respecto a la actividad (FAO 2020).

La acuicultura en México sigue en un claro proceso de desarrollo y aprendizaje, por lo que es necesario analizar a fondo todas las implicaciones que radican en dicha actividad. Es innegable el alto potencial acuícola de México debido a la dimensión de sus costas en

los océanos Pacífico y Atlántico, además del Caribe mexicano. Cuenta con una amplia red hidrológica compuesta de grandes ríos, embalses, lagos y lagunas interiores, lagunas costeras y estuarios. Aunado al gran potencial hídrico, México cuenta con una gran diversidad de especies nativas con alto potencial para la acuicultura, entre éstas se pueden mencionar a los robalos, los atunes, pargos, meros y los cíclidos. A éstos últimos pertenece la mojarra castarrica, una especie que ha sido estudiada ampliamente en su biología, ecología, pesquería y las respuestas a condiciones de cautiverio. Ha demostrado un alto grado de adaptación al manejo, al confinamiento en diferentes sistemas de producción acuícola y aunque se requiere avanzar en la elaboración de dietas específicas, su crecimiento es apto para el cultivo. La presente revisión bibliográfica pretende revisar los avances en el conocimiento de la biología, pesquería y potencial acuícola de la mojarra castarrica.

Materiales y Métodos

Este estudio se llevó a cabo mediante revisión bibliográfica en Google Scholar, bibliotecas y repositorio institucional de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, identificando los estudios científicos relevantes sobre biología, ecología, pesquería y acuicultura de la mojarra castarrica, incluyendo información generada desde 1981 hasta 2023 (Tabla 1). Se analizaron en total 93 publicaciones que incluyen artículos científicos, capítulos de libros, libros, tesis y reportes técnicos. Además, se presenta un panorama general de cada tema abarcado en esta revisión, presentando los aspectos más relevantes que

han permitido avanzar en el manejo tanto en vida silvestre como en cautiverio de la especie.

Tabla 1 Criterios aplicados para la búsqueda de información.

Criterio	Categoría	Descripción
Biología y Ecología pesquera	• Taxonomía	✓ Información morfológica y genética para identificar la especie.
	• Hábitat	✓ Características del ambiente que habita la castarrica durante su ciclo de vida
	• Alimentación	✓ Información referente a los tipos de alimentos consumidos por la castarrica
	• Reproducción	✓ Información sobre reproducción, proporción de sexos
	• Fisiología Reproductiva	✓ Estudios sobre niveles hormonales
Pesquerías	• Nacional e internacional	✓ Cambios que ha sufrido la pesquería de la castarrica a nivel local
Acuicultura	• Nutrición	✓ Estudios sobre nutrición para elaboración de estrategias de alimentación
	• Crecimiento	✓ Estrategias de engorda en cautiverio
	• Reversión sexual	✓ Biotecnología aplicada para la inducción a la reversión sexual temprana hacia machos.
	• Estudios Genéticos	✓ Aspectos de genética para la identificación de poblaciones

Se utilizaron datos del Anuario Estadístico de Pesca y Acuicultura y las bases de datos de registro de pesca de la CONAPESCA para construir y analizar una serie de datos históricos de la pesquería de la castarrica a través de tiempo, partiendo del primer registro que se tiene de 1978 hasta el último registro publicado y que corresponde a 2020. Se analizó exclusivamente la información de la captura registrada anualmente por estado y se recopiló información sobre el número de embarcaciones por estado para determinar la situación actual de la pesquería (CONAPESCA 2021).

Resultados

La mayoría de los estudios encontrados están enfocados a la biología y ecología de la especie

en su ambiente natural (52.8%) un 44.3 % se enfocan a estudios realizados en condiciones de cautiverio y solamente un 2.8% ha analizado la situación de la pesquería de la especie.

La figura 1 describe la manera en que la bibliografía fue empleada en la presente revisión. Sin embargo, es importante hacer notar que algunos estudios abordaron más de un tema, por lo que fueron citados en diferentes secciones.

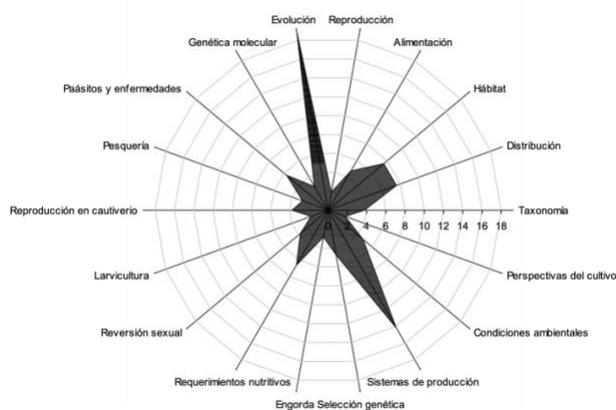


Figura 1. Diagrama de radar para las citas empleadas en cada uno de los temas descritos. Algunas citas fueron empleadas más de una vez. El número total de estudios analizados es 92, pero el número de citas realizadas (sin contar repeticiones de una misma cita en un mismo tema) es de 106.

Biología y Ecología de Castarrica

Si bien los primeros trabajos se orientan hacia la clasificación taxonómica (Günther 1862), los primeros estudios sobre la biología reproductiva y alimenticia se realizaron a finales del siglo XX, particularmente los realizados por Martínez-Palacios (1987) y los capítulos publicados con colaboradores en el extenso libro titulado “Biología y cultivo de la mojarra latinoamericana *Cichlasoma urophthalmus*” (Ross y Martínez-Palacios 1994).

Descripción taxonómica. La clasificación de los cíclidos ha sufrido constantes cambios en los últimos años. A pesar de múltiples cambios

de género, la especie es recientemente reconocida como perteneciente al género *Mayaheros* por Řičan (2016), regresando a la propuesta de clasificación establecida por Günther en 1862. La castarrica es clasificada taxonómicamente de la siguiente manera:

Reino: Animalia
 Filo: Chordata
 Clase: Actinopterygii
 Subclase: Neopterygii
 Infraclasse: Teleostei
 Superorden: Acanthopterygii
 Orden: Perciformes
 Familia: Cichlidae
 Género: *Mayaheros*
 Especie: *Mayaheros urophthalmus*



Una característica importante de la propuesta de Řičan y colaboradores es que elabora un análisis que incorpora una revisión de la clasificación basada en filogenia molecular mediante muestreos a nivel de género, comparando señales filogenéticas basadas en conjuntos de datos moleculares. Incluye además una detallada revisión de los caracteres craneales y los patrones de coloración. En este estudio se encontraron correlaciones ecológicas para la diversidad encontrada en las ontogenias de los patrones de coloración, reconociendo los autores que es el único que parece libre del determinismo ecológico dominante en la evolución de la diversidad de los cíclidos de América Central.

Distribución geográfica. La castarrica es una especie que presenta una distribución geográfica natural limitada a Centroamérica ocupando cuencas hidrológicas de la vertiente Atlántica desde México hasta Nicaragua (Froese y Pauly 2021). En México, Miller (2009) menciona que se ha reportado desde la cuenca del río Coatzacoalcos hacia el este,

incluyendo los estados de Veracruz, Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán, Quintana Roo, incluyendo islas cercanas al continente como Isla Mujeres. Sin embargo, existen reportes que ubican la especie un poco más al norte de la cuenca del río Coatzacoalcos, ubicándola también en el lago de Catemaco (Lorán-Núñez 2013) y en tres ríos asociados a la laguna de Alvarado (López *et al.*, 2018) y el río Papaloapan (Salgado-Maldonado 2005), en el estado de Veracruz; pudiendo ser esta su distribución natural más septentrional (Figura 2). Recientemente ha sido reportada en ecosistemas de Florida, Singapur y Tailandia, donde es considerada una especie invasora, con alto potencial de desplazamiento de especies locales (Loftus 1987, Adams and Wolfe 2007, Nico *et al.* 2007).



Figura 2. Distribución original de *M. urophthalmus* basada en reportes de diversos autores.

Características del hábitat. Con respecto al hábitat que ocupa, Miller (2009) describe que la castarrica prefiere lagunas, manantiales fríos o calientes, estanques y arroyos, en agua muy clara, la cual puede ser ligeramente salina; corriente nula a leve; sustrato de detritus margoso, cieno, grava, roca y sitios con vegetación, encontrándose en profundidades, de hasta siete metros. Sin embargo, otros

estudios han demostrado que se distribuye ampliamente en cenotes (Schmitter-Soto 2020), lagunas costeras como la laguna de Términos (Reséndez 1981) y laguna de Celestún (Martínez-Palacios 1987) y que los juveniles pueden tolerar salinidades por arriba de 37‰ (Stauffer y Boltz 1993). De tal manera que es un organismo que muestra una amplia capacidad de adaptación a una diversidad de hábitats (agua dulce, lagunas salobres y manglares), tanto para su crecimiento como para su reproducción, tolerando una amplia gama de condiciones ambientales (Schmitter-Soto y Gamboa-Pérez 1996, Chávez-Sánchez *et al.*, 2000). No obstante, es cierto que tiene una preferencia por microhábitats ribereños, que les permitan moverse tanto en la columna de agua como en el fondo del embalse (Córdova-Tapia y Zambrano 2016). Aunque, la tolerancia a la salinidad les permite esta particular habilidad de adaptación.

Hábitos alimenticios. Se ha documentado que la castarrica es un pez omnívoro con tendencia a la carnívora que se alimenta normalmente a lo largo de su ciclo de vida de peces e invertebrados (Maldonado *et al.*, 2020). Su dieta se compone principalmente de materia orgánica (detritus), crustáceos, anfípodos, moluscos, poliquetos, huevos de invertebrados e insectos (Chavez-Lomelí *et al.* 1989, Martínez-Palacios y Ross 1994, Barrientos-Medina 2005, Bergmann y Motta 2005). Řičan *et al.* (2016) consideran que todos los caracteres craneales y particularmente los dientes, muestran una evolución concertada directamente asociada con la alimentación. Según estos autores, la mojarra castarrica presenta dientes tipo-B, ubicando a esta especie entre los peces piscívoros y los depredadores más avanzados del grupo de

cíclidos mesoamericanos. Estos dientes son robustos, puntiagudos, cónicos y espaciados; son dientes grandes con un canino anterior claramente agrandado en la mandíbula superior y un canino anterior más pequeño seguido del canino más grande en la mandíbula inferior. Sin embargo, las características del cráneo y de las estructuras poscraneales lo ubican como un pez generalista con estructura poscranial ancestral (Řičan et al., 2016).

Características generales de la reproducción. Maldonado *et al.* (2020) plantean que la reproducción en la mojarra castarrica, es continua cada 26 días, siempre y cuando la temperatura no descienda por debajo de los 24°C. Una vez formada la pareja de hembra y macho, la hembra desova en un sustrato y el macho fertiliza los huevos. Chavez-Lomelí *et al.* (1989) reportaron que en organismos del río San Pedro, la talla de primera maduración para la especie era de 10.2 cm para hembras y de 18.2 cm para machos. Además concluyen que la temporada reproductiva se presenta de mayo a septiembre, coincidiendo con temperaturas promedio de 28 °C. Posteriormente la puesta es protegida por ambos. Una vez fertilizados los huevos, el embrión tarda en desarrollarse entre 48 y 72 horas (dependiendo de la temperatura de incubación), tras las cuales eclosionan las larvas. Los primeros tres días posteriores a la eclosión, las larvas se alimentan de vitelo (reserva de nutrientes), por lo que no requieren de alimento suplementario en ese periodo. Es por ello, que es necesario un cuidado específico según las condiciones ambientales y las características de reproducción propias de cada especie. Factores como la temperatura, la salinidad, el pH, la cantidad de oxígeno disuelto en el agua,

o la alimentación para las crías pueden influir enormemente en un adecuado desarrollo de la especie.

Una buena alimentación es esencial para la reproducción. Al respecto, Pérez (2018), analizó el efecto que la restricción alimentaria puede tener en el proceso reproductivo de los cíclidos. Sobre todo, teniendo en cuenta, el rol de vital importancia que tiene la alimentación en la reproducción y cría de estas especies. En ese sentido, la investigación arroja resultados muy particulares, debido a que en las hembras no se observó un claro efecto de hambreado que afectara el eje reproductivo. Ya que, a partir del análisis de la maduración folicular y la expresión genética de distintas hormonas, no se muestran diferencias con respecto a los controles. No obstante, en machos los resultados son bastante distintos, pues la restricción alimentaria tuvo un efecto estimulador en el eje reproductivo que se refleja en un mayor número de espermatozoides, así como un aumento de la expresión de la hormona foliculo estimulante y una disminución de la expresión del factor de crecimiento tipo insulina 1 y de los niveles plasmáticos de 11-ceto testosterona (Pérez 2018).

Parásitos y enfermedades de la castarrica.

La mayoría de los estudios se han concentrado en reportar parásitos de castarrica en condiciones silvestres. Chávez-de Martínez *et al.* (1994) publicaron un extenso trabajo donde describen enfermedades de *castarrica* y sus posibles tratamientos. Estos autores describen enfermedades bacterianas, virales por protozoarios y metazoarios. De igual manera describen parásitos internos y externos, así como medidas de terapia y control. El INAPESCA (2018) reporta un listado de 28

parásitos que involucra especies de trematodos, monogéneos y cestodos; siendo los más diversos, los trematodos en etapa metacercaria, que es una forma larval del parásito. En laboratorios de producción de crías, se emplean baños de 6 y hasta 24 horas a una salinidad de 15 UPS como tratamiento para controlar ectoparásitos, (Hernández-Vidal *et al.*, 2004). Aunado a esto, Cerro-Zepeda (1992) propone controlar nemátodos del género *Contracaecum* empleando una sola dosis de Clorhidrato de Levamisol® diaria empleando de 0.026 gramos por kilogramo de peso a tratar en alimento medicado. Dividiendo la dosis en dos tomas con un espacio de seis horas entre ellas, por un periodo de dos días. Salgado-Maldonado y colaboradores (2005) realizaron una descripción de parásitos helmintos observados en la castarrica en el río Papaloapan, Veracruz y Razo-Mendivil *et al.* (2013) reportaron la presencia del parásito digéneo de cíclidos, *Crassicutis cichlasomae*. Reportando además una gran diversidad genética en este parásito, mayor a la de las especies de cíclidos hospederos en la que se le encontró.

Evolución de los cíclidos. Dada la riqueza evolutiva de los cíclidos, en este tema vale la pena revisar un poco la historia evolutiva de este grupo de peces, antes de entrar en detalles sobre la mojarra castarrica. La familia *Cichlidae* se compone de peces que se encuentran en cuerpos de agua dulce y ocasionalmente en agua salobre. La distribución global abarca las zonas tropicales del mundo. En América ocupa en su mayoría territorio del sur de México, Centroamérica y América del Sur; aunque una especie se extiende al norte de Texas, mientras que en el viejo continente abarca las Indias occidentales, La India

costera, África, Madagascar, Israel, Siria, y Sri Lanka (Kullander 2003, Nelson *et al.*, 2016, Gómez 2020).

Las condiciones y diversidad que presenta México han contribuido al registro de organismos nativos y endémicos de esta especie, pues forman el segundo grupo de peces dulceacuícolas más diverso, con 57 especies (Soria-Barreto *et al.*, 2011; Hernández-Hernández *et al.*, 2020). La clasificación de los cíclidos mexicanos ha cambiado constantemente y sigue modificándose. Por ejemplo, la mojarra castarrica ha sido ubicada en distintas épocas, en los géneros *Heros*, *Parapetenia*, *Nandopsis*, y *Herichthys* (Barrientos-Medina 2005). Por mucho tiempo, la especie fue ubicada al género *Cichlasoma* y, recientemente Řičan *et al.* (2016) la reasignaron al género denominado *Mayaberos*.

Desde la perspectiva de Řičan *et al.* (2016), la gran diversidad morfoecológica de los cíclidos de América se refleja en su extremadamente complicada clasificación a nivel de género. La diagnosis morfológica de los géneros en los cíclidos, particularmente del grupo de los *Heroine* es muy difícil debido a una débil señal filogenética, morfológica y conflictos con las filogenias moleculares. La extensa revisión bibliográfica de estos autores muestra la complejidad generada por la enorme versatilidad ecológica del grupo, pasando por frecuentes modificaciones adaptativas relacionadas con la ecología trófica, el uso del hábitat, la biología reproductiva y la conducta. La mojarra castarrica, pertenece al grupo de los cíclidos, una familia es muy diversa y exitosa en términos evolutivos. La familia *Cichlidae* es considerada como la familia de vertebrados más rica en especies, pues contiene más de 3,000 especies (Kocher 2004). Una

característica importante de este grupo consiste en que en sus áreas de distribución ha mostrado repetidamente una gran capacidad de especiación simpátrica y radiación (Glaubrecht 2010, Elmer *et al.*, 2010). Esta gran capacidad de especiación ha permitido que los cíclidos sean considerados como sistema modelo para estudiar la radiación adaptativa y la biología del desarrollo evolutivo (Kocher 2004, Wagner *et al.*, 2012). Esta rápida radiación de especies ha hecho difícil reconstruir las relaciones históricas entre especies, por lo que algunos autores sitúan los primeros grupos de cíclidos a más de 80 millones de años (Kocher 2004). En contraste, Friedman *et al.* (2013) consideran que las escalas temporales moleculares y paleontológicas sitúan el origen de los cíclidos en el intervalo geológico del Cretácico tardío-Eoceno. Estos autores argumentan que ambos métodos proporcionan estimaciones puntuales para el origen del grupo que oscilan entre 57 y 60 millones de años (Paleoceno), y rechazan de forma contundente la posibilidad de que los cíclidos sean lo suficientemente antiguos como para haber sido impactados por la ruptura inicial de Gondwana. En cambio, los límites superiores del origen de los cíclidos los sitúan sistemáticamente en el Cretácico tardío. Una crítica a ese estudio hace referencia a la falta de inclusión de fósiles del grupo.

Feilich (2016) comenta que la explosiva especiación y diversificación de los cíclidos ha generado una gran cantidad de trabajos orientados a estudiar el proceso de la evolución morfológica de este grupo de peces, así como estudios recientes sobre la evolución de estructuras funcionalmente relacionadas. En su trabajo Feilich argumenta que las diferentes configuraciones de las formas del cuerpo y de las aletas pueden adaptarse a

diferentes especializaciones locomotoras, de tal manera que las formas del cuerpo y de las aletas son considerados como los principales determinantes del rendimiento de la natación en los peces.

No cabe duda de que los cíclidos constituyen un modelo de radiación adaptativa pues su amplia diversidad radica en adaptaciones para usar los recursos aportados por diferentes nichos y estas adaptaciones se han dado en tiempos evolutivos cortos. La oportunidad ecológica (la disponibilidad de nichos ecológicos dentro de un entorno) ha sido considerada como un factor clave que modula el tiempo y el modo de diversificación dentro de las radiaciones adaptativas y posiblemente module también las distribuciones de diversidad a escala continental (Arbour y López Fernández 2016). La definición de la liberación ecológica ha sido considerada como la respuesta a nuevas oportunidades ecológicas, ya sea expresada en variaciones de rasgos (incluyendo la coloración), cambios en la amplitud del nicho, o diversificación en el uso del hábitat (Yoder *et al.*, 2010). Pudiendo estar detrás de la radiación adaptativa de algunos cíclidos.

En Centro y Sudamérica se considera que habitan más de 600 especies de cíclidos, de las cuales se estima que unas 164 especies correspondan al grupo de los cíclidos neotropicales (López-Fernández *et al.*, 2010). Para estos autores, el grupo riverino Cichlinae se diversificó inicialmente en Sudamérica y posteriormente los linajes de *Heroine* colonizaron Centroamérica. Estos investigadores plantean que los cíclidos colonizaron esta región hace aproximadamente 30-50 millones de años (Eoceno a Paleoceno tardío). En relación con las radiaciones adaptativas de los cíclidos

Neotropicales, Arbour y López-Fernández (2016) consideran que las oportunidades ecológicas probablemente hayan jugado un papel importante en la evolución funcional de estos peces.

En el caso particular de la castarrica, Barrientos-Villalobos y Schmitter-Soto (2019) plantea que la dispersión es el único mecanismo posible que permite explicar la distribución actual de la especie. Esta dispersión se vio favorecida por el hecho de que la castarrica pertenece al grupo de los peces de agua dulce secundarios (tolerantes al agua salobre y con posibilidad de dispersarse en agua marina). La ocupación de nuevos espacios en la península de Yucatán por la castarrica ilustra el gran potencial colonizador de la especie con establecimientos relativamente recientes (probablemente durante el Post-Plioceno) con migraciones provenientes del sur, una vez que la zona norte dejó de ser constantemente impactada por transgresiones marinas (Barrientos-Villalobos y Schmitter-Soto 2019).

Estudios de genética molecular. Dada la naturaleza de los ambientes acuáticos y de las especies marítimas, es normal que, a lo largo de los años haya existido una evolución constante de la diversidad de estas especies. Por ende, es posible que aún exista un gran desconocimiento en torno a ecosistemas y organismos del que todavía el ser humano no puede estar completamente seguro. Es así como surge la necesidad latente de desarrollar nuevos métodos científicos que permitieran el avance de este conocimiento.

En años recientes, los estudios en genética molecular se han orientado a dilucidar la clasificación taxonómica de la especie, pues la gran variación morfológica de la especie ha

planteado incluso la presencia de varias subespecies de *M. urophthalmus*. Sin embargo, recientemente se ha argumentado que las variaciones son más bien consistentes con una variación ecofenotípica asociada a la expansión de la población (Barrientos-Villalobos *et al.*, 2018, Barrientos-Villalobos y Schmitter-Soto 2019). Salgado-Maldonado *et al.* (2005) reportó que la especie mostró bajos niveles de diversidad y una diferenciación genética que abarcaba dos linajes. Estos investigadores observaron que dos haplotipos fueron dominantes, presentes en el 83% de los individuos estudiados, lo que resulta en una débil asociación con la distribución geográfica de la especie.

Situación de la pesquería de la castarrica en México, con énfasis en Tabasco

Detalles de la pesquería en México. México se encuentra dentro de los 20 principales productores pesqueros en el mundo con más de 600 especies que son aprovechadas en los mares mexicanos (Fernández *et al.*, 2018). Según estos autores, México sigue una tendencia global, en la que más del 15% de las pesquerías se encuentran sobreexplotadas o colapsadas. De acuerdo con la información del Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA 2021), en la actividad pesquera de México se tiene registro de 55 grupos de especies para consumo humano directo, habiendo una producción de 1,928,947 toneladas en peso vivo para el año 2021. Los principales volúmenes de producción a nivel nacional corresponden a los Estados de Sonora con el 44.6%, Sinaloa con un 17.1%, Baja California con el 10.8%, Baja California Sur con 7.0%. En estas cuatro entidades se concentra un 79.5% de la

producción nacional. Tabasco ocupa el lugar número 12 con tan solo 28,495.9 toneladas; aproximadamente un 1.48% del volumen nacional (CONAPESCA 2021).

En lo que corresponde a la producción de cíclidos nativos, las principales capturas se concentran en el sureste mexicano, particularmente las especies tenguayaca, *Petenia splendida* y la mojarra castarrica, (Martínez-Palacios 1987). Es importante mencionar que las estadísticas no informan volúmenes independientes para cada una de las especies de cíclidos, puesto que en los anuarios pesqueros nacionales estas especies son reportadas bajo el nombre genérico de “mojarras” (CONAPESCA 2021). Esto incluye a una gran diversidad de cíclidos nativos y tilapias. Los únicos datos a nivel especie son reportados por la CONAPESCA en su página oficial para 2006 y hasta 2014. Es decir, solo hay información disponible para 9 años de extracción y con errores, pues se reportan capturas para la especie en centro (ciudad de Veracruz) y norte del estado de Veracruz (Tuxpan y Pánuco). En estos lugares no existen reportes de distribución de castarrica y al parecer los registros más septentrionales de la especie corresponden a los ríos que desembocan en la Laguna de Alvarado, al sur del estado de Veracruz. Estas inconsistencias hacen muy difícil determinar la extracción específica de la especie; sin embargo, en voz propia de los pescadores, se maneja que los volúmenes de extracción de esta especie se han desplomado en los últimos años, siendo cada vez más escasa. Con la información disponible se puede observar que entre 2006 y 2014 la producción de castarrica ha disminuido desde los 473,158 kg hasta 351,745 kg, lo que representa una disminución del 25%. De la producción total de castarrica

acumulada en el periodo, el estado de Tabasco aporta el 75%, con 2'243,461 kg (Figura 3); siendo los estados de Veracruz y Campeche los más afectados con una disminución en la producción de -22% y -67% respectivamente.

Avances en acuicultura con *M. urophthalmus*

Actualmente la acuicultura representa un sector con gran potencial en México; por dicha razón, se considera de suma relevancia la comprensión de las tendencias de estas actividades en el sureste mexicano, partiendo de que es una de las principales regiones del país que cumple con condiciones adecuadas para la producción de organismos acuáticos en cautiverio, incluyendo a la mojarra castarrica.

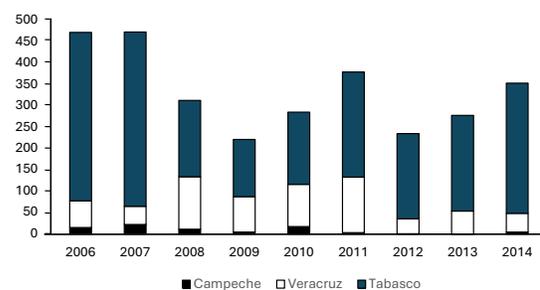


Figura 3. Valores reportados de producción (ton) de castarrica para 2006-2014, según CONAPESCA (2021). Posterior a esta fecha, los volúmenes se reportan genéricamente como mojarras, incluyendo valores de producción de tilapia.

El cultivo de la mojarra castarrica se ha desarrollado principalmente a pequeña escala en el sureste de México, principalmente empleando estanques rústicos y jaulas flotantes, utilizando sistemas de producción semiintensivos y extensivos. Si bien ha habido esfuerzos variados para impulsar el cultivo de la castarrica. Aún existen vacíos importantes de información que no han permitido que se practique como un cultivo formal, económicamente rentable. En general ha

habido estudios sobre reproducción, fisiología alimenticia, selección genética, reversión sexual inducida, crecimiento y tolerancia a ciertos parámetros ambientales. A continuación, se detallan los avances realizados en torno al manejo en cautiverio de la especie.

Un trabajo pionero que resalta el potencial productivo de la mojarra castarrica fue el de Martínez-Palacios (1987) describió la conducta reproductiva de la especie empleando información de organismos silvestres y de laboratorio. Lo describe como desovador de sustrato con cuidado biparental que presenta cambios importantes de coloración durante el cortejo y la construcción del nido y subraya la conducta agresiva de los machos. En dicho trabajo también se describen a detalle los embriones y el desarrollo larval y el cuidado parental de la puesta. Mas tarde, Martínez-Palacios *et al.* (1994) insisten en que la castarrica presenta una serie de atractivos para acuicultura, sugiriendo el desarrollo de sistemas y técnicas de producción confiables.

Reproducción. La reproducción de las especies acuáticas es también un eje central para el desarrollo de las técnicas de acuicultura. Para ello, las especies deben reproducirse en un ambiente controlado que les permita tener óptimas condiciones. Por tal motivo, es necesario que se estudien y analicen todos aquellos factores que podrían significar un riesgo para una sana reproducción y crianza. Debido a la alta capacidad de adaptación de la castarrica al cautiverio, para Cuenca-Soria *et al.* (2016) es importante analizar su alimentación para obtener los adecuados requerimientos nutricionales. Una mala alimentación causa un grave impacto en la reproducción y cultivo de la especie. Por lo que, una vez que comienza el

proceso de reproducción de la especie, los procedimientos de alimentación de las crías también deben ser abordados y analizados. Cada fase dentro del proceso de cultivo de una especie comprende en cuanto a la alimentación, un factor esencial en el desarrollo adecuado de la técnica de producción.

Desde el punto de vista acuícola los aspectos reproductivos se deben abordar en dos vertientes: 1) la capacidad reproductiva de la especie (fecundidad, fertilidad, temporalidad, etc.) y 2) impacto de la reproducción en la engorda. En el primer caso, es deseable que la especie a cultivar sea de fácil reproducción y de preferencia, que no requiera ser inducida y que las tasas de fecundidad, fertilidad y eclosión sean altas; en el segundo, es preferible que la especie no utilice energía en la producción de gametos y la reproducción durante cultivos de engorda. La reproducción en cautiverio de la mojarra castarrica es ampliamente descrita por Martínez-Palacios (1987). Para la selección de reproductores recomienda organismos entre 250 y 300 gramos y propone el desove controlado en tanques circulares con divisiones radiales internas para disminuir la agresividad entre organismos. En los tanques recomienda la presencia de varias parejas, pero cuidando la proporción 1:1 macho-hembra. También se recomienda esta proporción para producción de crías en estanques de tierra, donde los autores observaron una producción de 70,000 crías de 200 a 500 mg de peso entre los meses de abril a septiembre. La fecundidad relativa descrita presenta un rango entre 3 y 6 mil huevos por hembra, dependiendo de su tamaño. Promediando entre 20 y 30 huevos por gramo de hembra. La reproducción está directamente relacionada con la temperatura

ambiental, pues empieza en la primavera y termina en el otoño, desapareciendo por completo en el invierno. La mayor cantidad de desoves los obtuvo entre junio y octubre, reportándose que es inhibida por debajo de 24 °C. la especie no requiere un sustrato específico para el desove, habiendo una limpieza exhaustiva del sitio donde se depositarán los huevos. La eclosión se presenta entre 60.6 y 61.3 grados-día. Variando desde 58.8 horas a 25 °C y 42.0 horas a 35 °C. El tema de la agresividad entre reproductores aún debe ser estudiado a profundidad con la finalidad de disminuir agresiones que generen mortalidad y poder aumentar la reproducción en los sistemas.

En un estudio se comparó el potencial reproductivo de organismos colectados en tres localidades de Tabasco, México (Comalcalco, Centro y Centla). Los organismos de Centla tuvieron la mayor cantidad de desoves (53) y un total de 260,554 alevines. Las castarricas de Centro tuvieron 30 desoves con un total de 96,833 alevines y para Comalcalco se obtuvo un total de 86,845 alevines en 21 desoves. Los reproductores desovaron activamente entre marzo y agosto. No se encontraron diferencias significativas en el número promedio de alevines por evento de desove entre Centla y Comalcalco, promediando 4,583 organismos por evento. Estos valores fueron mayores (que el número promedio de alevines obtenidos para Centro (3,339). Al compararse el número promedio de alevines por gramo de hembra se obtuvo el mismo resultado; Centla (21.47 alevines/g), Comalcalco (18.95 alevines/g) y Centro (12.23 alevines/g). Estos resultados son interesantes ya que las hembras de Centro fueron más grandes que las de Centla y Comalcalco Contreras-Sánchez *et al.* (2010).

Contreras-García *et al.* (2010) evaluaron el efecto del extracto de pituitaria de carpa y la gonadotropina coriónica humana en la calidad espermática en machos adultos de castarrica. Estos autores reportan haber estimulado la espermiación con ambos compuestos, observando un incremento significativo en el número de espermatozoides y por ende en el volumen de esperma colectado en un 60-70% de los machos tratados.

Larvicultura. Martínez-Palacios *et al.* (1994) recomiendan mantener densidades de 250 a 300 larvas recién eclosionadas por litro de agua. Estos autores reportan que la reserva de vitelo puede durar hasta 11-12 días, pero recomiendan proporcionar alimentación exógena desde el día 5 post-eclosión. Además, los autores reportan una mortalidad de larvas alrededor del 10%. A los 20 días, las crías pueden alcanzar hasta 10 mm de longitud, dependiendo del alimento administrado. Jiménez-Martínez *et al.* (2009) evaluaron el impacto de la densidad de siembra inicial en el crecimiento, partiendo de larvas de 5 días de edad. Los mejores resultados para peso y longitud después de 45 días de evaluación se obtuvieron al emplearse 0.5 y 1 larva L⁻¹, con una supervivencia del 100% y 99%, respectivamente. A una densidad de 10 larvas L⁻¹ la supervivencia obtenida promedió 83; sin embargo, los autores, recomiendan emplear hasta 12 larvas L⁻¹ en condiciones de cultivo comercial, cuidando la calidad del agua para mantener una buena supervivencia y mejorar el crecimiento.

Reversión sexual. En el caso particular de los cíclidos, la masculinización es de vital importancia para la mejora de la producción acuícola. Debido a que una de las características reproductivas de estas especies,

es la reproducción precoz, pues alrededor de los tres meses de edad pueden alcanzar la madurez sexual (Gutiérrez-Sigueros et al., 2018). Al estar los dos sexos presentes en los sistemas de engorda hay reproducción en abundancia, lo que propicia un gran número de crías en el sistema, por lo que disminuye el rendimiento y encarece los costos de producción siendo la tilapia el mejor ejemplo de esta situación. La inducción de la reversión sexual ha sido evaluada por Hernández-Betancourt (1988) empleando 30y 60mg de 17α -Metiltestosterona (MT), en dicho trabajo se reportó una tasa de masculinización por arriba del 70% para 30 mg de MT en el alimento y del 50% empleando 60 mg de MT. En este trabajo además se reportó un importante número de organismos intersexo e indiferenciados. Gutiérrez-Sigueros et al. (2018) evaluaron el efecto de fluoximesterona (FM) en la masculinización de crías de siete días de edad, alcanzando un máximo de 69% de machos con 60mg de FM en la dieta por 45 días. Real (2003) logró un porcentaje de masculinización adecuado, por arriba del 95% cuando empleó dosis de 15, 30, 45 y 60 mg de MT en el alimento. La clave del alto porcentaje de masculinización radica en la administración del alimento hormonado por 60 días. Sin embargo, este autor sugiere 45 días de administración de MT para cultivos comerciales, aduciendo que el empleo de estas dosis puede ser apto, al alcanzar 90% de machos o más.

Alimentación y requerimientos nutritivos.

Sin duda alguna, una de las áreas donde más estudios se han publicado es en lo referente a la fisiología digestiva de la especie. Sin embargo, aún no se ha desarrollado un alimento balanceado a nivel comercial que

pueda ser empleado en el cultivo comercial. Muchos de los trabajos se han enfocado a describir la fisiología digestiva y la dinámica enzimática durante el desarrollo temprano. Martínez-Palacios (1987) determinó los requerimientos de proteína para crías de la especie, considerando dos temperaturas; una relacionada con las condiciones ambientales (28 °C) y otra considerada como la temperatura óptima de crecimiento en cautiverio (32 °C). Para 28 °C recomienda entre 39.3% y 40% de proteína y para 32 °C entre 42% y 45%. Además, recomienda dietas para diferentes estadios que contengan proteína en las siguientes cantidades: crías (50%), juveniles (40 - 45%), engorda (30-35%) y para reproductores (50%).

López-Ramírez et al. (2011) describieron el desarrollo de enzimas digestivas durante el desarrollo temprano de la castarrica, concluyendo que el mejor momento para sustituir el alimento vivo por una dieta artificial debe iniciarse a los 13 días post eclosión, cuando se observa un marcado incremento en la actividad de las proteasas alcalinas y ácidas y de las lipasas. Cuenca Soria et al. (2013a y 2013b) realizaron estudios que abarcaron aspectos histológicos y morfológicos del desarrollo digestivo, estudios de expresión de genes de enzimas digestivas, y la caracterización enzimática, resaltando que la castarrica es una especie de hábitos omnívoros, con potencial para degradar sustratos propios de una especie carnívora. Además, se reporta que la especie presenta una diferenciación estomacal en regiones, con digestión química y que, a los 13 días post-eclosión ya presenta un estómago desarrollado, con presencia de glándulas gástricas posiblemente funcionales. Ese mismo año, Cuenca-Soria et al. (2013a)

describieron la digestibilidad *in vitro* de ingredientes proteínicos concluyendo que la especie procesa de manera sobresaliente la harina de carne y vísceras de pollo, de carne de cerdo, de canola, pasta de coco y el hidrolizado de pescado pudiendo ser utilizados para la formulación de una dieta balanceada específica para la especie, considerando un requerimiento proteico del 45 %. También recomienda entre 8 y 10% de inclusión de lípidos en las dietas y señala que los animales grandes requieren menos lípidos que los pequeños. Finalmente, elabora una tabla con niveles recomendados de nutrientes esenciales a ser considerados en dietas prácticas.

Con respecto a los requerimientos de lípidos en larvas, Calzada-Ruiz *et al.* (2019) proponen el uso de una concentración del 15% de lípidos en la dieta durante la larvicultura. Ellos recomiendan el aceite de lecitina de soja como fuente primaria de los lípidos, ya que representa una alternativa viable para la alimentación de la especie. Presentando una posible reducción de costos y la posibilidad de ser incluida durante la primera alimentación de larvas de la especie.

En resultados obtenidos con dietas experimentales, Contreras-Sánchez *et al.* (2010) propusieron que la harina de pescado puede ser sustituida en una dieta práctica para castarrica hasta en un 25% por harinas de subproductos de cerdo y aves de corral sin efectos adversos sobre el crecimiento y la supervivencia. Reportando que con ese porcentaje de sustitución se obtuvieron los mejores índices de crecimiento, además de una supervivencia del 95%.

Durante el cultivo de la castarrica se identifica al larvicultivo como una de las fases críticas del desarrollo. Para Maldonado *et al.* (2020) en este proceso se debe proporcionar alimento vivo

(Artemia, o pulga de agua) durante los primeros 10 días. Posteriormente, entre los días 11 al 16 se les debe proporcionar una mezcla de alimento vivo con alimento balanceado en polvo, que debe comprender entre 32 y 45% de proteína. Por último, a partir del día 17 se recomienda alimentar únicamente con alimento balanceado en polvo (32 o 45% de proteína). Para estos autores, la fase de larva dura aproximadamente un mes. Concluida esta primera fase, se da paso a la siembra inicial que ocurre en la pre-engorda. Durante esta etapa del cultivo, se trasladan los alevines a las jaulas, ya sea en geomembrana, en río o en jagüey (Maldonado *et al.*, 2020). Los alevines se alimentan con alimento balanceado 32 o 45% de proteína de 1.5 y 2.5 mm. Esta fase dura 3 meses y termina cuando los alevines han alcanzado alrededor de los 5 cm.

La última fase, que es la de engorda, dura de 12 a 18 meses, por lo tanto, los alevines se alimentan con alimento balanceado con 32 a 45% de proteína de 2.5, 3.5 y 5.5 mm. No obstante, es también importante destacar que, para una engorda más eficiente es recomendable la combinación de alimento vivo, alimento balanceado y alimento seco de pez diablo y desechos de pescado. En ese mismo sentido, Maldonado *et al.* (2020) destacan la relevancia de adecuados cuidados, entre los que se afirma que, para evitar la presencia de enfermedades, patógenos o virus, es recomendable mantener siempre limpias todas las áreas, así como también tener siempre limpios los materiales y equipos antes y después que se utilicen. Los recambios de agua son muy importantes ya que la composición del agua de un estanque cambia continuamente, dependiendo de los cambios en el tiempo y de la manera en que se utiliza el estanque. El objetivo de un buen manejo es

controlar la composición del agua para lograr las mejores condiciones para los peces.

En estudios más detallados se ha abordado la digestibilidad *in vitro* de ingredientes de origen animal y vegetal, con la intención de proponer alimentos inertes con potencial de ser incorporados a la alimentación durante la etapa juvenil de la castarrica (Cuenca-Soria *et al.*, 2013a). En dicho estudio, los autores concluyen que hay diversos insumos que pueden ser incluidos en la dieta balanceada de la castarrica, sobresaliendo significativamente las harinas a base de carne, vísceras de pollo, carne de cerdo, canola, pasta de coco y el hidrolizado de pescado. También se han estudiado los cambios morfológicos y de expresión génica ligada a enzimas digestivas durante el período larvario (0 al 30 después de la eclosión), y se caracterizaron enzimas digestivas en juveniles de la especie (Cuenca-Soria *et al.* 2013b). Lamentablemente, los avances obtenidos en estos estudios no han logrado llegar al término de elaborarse dietas balanceadas funcionales para el cultivo de la especie.

Engorda. Los primeros estudios sobre engorda en cautiverio fueron los reportados por Ross y Martínez-Palacios (1994), reportando que el crecimiento es influenciado directamente por la temperatura del sistema de producción y observando que los mejores crecimientos se obtuvieron a 33.1 °C. Debido a que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, estos autores concluyen que temperaturas entre 29.7 y 36.3 °C son recomendables para el cultivo de la especie. Martínez-Palacios *et al.* (1996) mencionan que si bien la temperatura óptima para la engorda es de 33 °C, también se observan altas mortalidades, por lo que

engordas a 28 °C podrían rendir mejores supervivencias, aunque sacrificándola velocidad de crecimiento. Villarreal *et al.* (2011) evaluaron la inclusión de proteína de soya y gluten de trigo, buscando sustituir la proteína de origen animal. En este trabajo se reportan resultados comparables con otras especies en alevines de castarrica alimentados con dietas con 30% o más de proteína elaboradas con una combinación de pasta de soya, concentrado proteico de soya y gluten de trigo. Además, reportan supervivencias y tasas de crecimiento comparables a otros estudios en los que se ha utilizado proteína de origen animal. En este caso la inclusión de harina de pescado al 5% la consideraron como un elemento que funge como atrayente.

Selección genética. En lo referente a los parámetros genéticos, se ha sugerido que la especie presenta características productivas importantes que se correlacionan con la caracterización fenotípica y la heredabilidad (Pérez 2011, Marín-Pedraza 2013, Gallegos, 2014, Contreras-Rodríguez 2015). Estos trabajos de selección buscan obtener una mayor eficiencia en la producción al cultivar organismos de calidad y reducir los costos de producción. Contreras-Sánchez *et al.* (2010) realizaron los primeros trabajos de selección de líneas mediante la cruce de organismos provenientes de tres localidades del estado de Tabasco (Centro, Comalcalco y Centla). Ellos no encontraron diferencias significativas en el peso o la longitud de crías provenientes de las tres localidades; sin embargo, encontraron diferencias importantes entre los machos de las tres localidades tanto en peso como en longitud. Además, observaron que las familias seleccionadas por localidad presentaron un mejor crecimiento, al ser comparadas con el

grupo control. Al evaluar el crecimiento por un periodo de 10 meses, los peces de Centla tuvieron el mayor factor de Condición, mayor número de desoves y mayor producción de alevines que los de Centro y Comalcalco. Estos resultados reflejan el impacto de la diversidad genética en organismos provenientes de regiones geográficas relativamente cercanas, permitiendo realizar selección de los organismos con las mejores características. Como parte de esta investigación, Pérez (2011), reporta una ganancia genética de 46.12, lo que redujo el tiempo de cultivo en 52 días para la obtención de la primera generación.

Sistemas de producción. Una tarea importante, es la necesidad de desarrollar sistemas de producción para la utilización de la ictiofauna nativa no solo como parte del patrimonio cultural y alimenticio sino también que alcance su máximo potencial en un esquema sustentable y sostenible para que se pueda satisfacer la demanda regional existente (Mendoza *et al.*, 1988). El desarrollo de sistemas productivos para la castarrica requiere de un cuidadoso manejo desde la selección de los reproductores hasta la comercialización del producto final. Mendoza (1989), plantea que, para iniciar un cultivo, es importante obtener alevines de calidad de proveedores confiables. Estos alevines se crían bajo condiciones controladas de temperatura, oxígeno y una alimentación adecuada.

Se han realizado diversas propuestas para incorporar a la mojarra castarrica en sistemas de cultivo. Algunos autores han recomendado la engorda en estanques rústicos de tierra y jaulas de engorda (Beveridge *et al.*, 1994, Cabrera-Rodríguez *et al.*, 1997, Álvarez-González *et al.*, 2007, Álvarez-González *et al.*, 2011, Álvarez-González *et al.*, 2013, Amador-

del Ángel *et al.*, 2015, Dávila-Camacho *et al.*, 2019), mientras que otros han propuesto sistemas de producción de crías en tanques circulares con divisiones radiales (Mendoza y Navarro 1994, Ross y Martínez-Palacios 1994). Jiménez *et al.* (2020) publicaron un modelo de granja de producción de crías de pejelagarto y castarrica desarrollado en el Laboratorio de Acuicultura Tropical de la UJAT, proponiendo un diagnóstico comunitario que les permitió identificar la necesidad de atender la escasez de productos pesqueros, asegurando que la participación comunitaria es parte esencial en la transferencia tecnológica.

Para hacer más eficiente el crecimiento de los peces en cultivo, Martínez-Cordero *et al.* (1990) propusieron un modelo basado en relaciones morfométricas para la construcción de cajas de separación (gradadores) obteniendo una separación eficiente de los peces; sin embargo, reconocen que es necesario evaluar el modelo empleando peces de diferentes orígenes y tallas, pues las relaciones morfométricas pueden variar. Debido a que los peces de mayor tamaño presentan más variabilidad, los autores esperan un mayor error de separación. En un trabajo de campo para evaluar cultivos de subsistencia y analizar la posibilidad de cultivar de manera sustentable las especies nativas de Tabasco, México, Galmiche-Tejeda (2001). En este trabajo, el autor concluye que los sistemas acuícolas de subsistencia es una alternativa para mejorar la nutrición, la vida social y el medio ambiente en las zonas rurales de Tabasco. El autor menciona que estos sistemas presentan características ambientales y sociales que cumplen con algunas de las condiciones enumeradas por algunos autores como necesarias para la sustentabilidad. También reconoce que, debido a su naturaleza no

monetaria, su permanencia se ve amenazada por la expansión de los sistemas modernos de producción.

El Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentable (INAPESCA 2018) publica en su página oficial la carta nacional acuícola una sección dedicada a la mojarra castarrica. En ella mencionan que la engorda de la especie tiene un amplio potencial de cultivo, pero que aún se encuentra a nivel piloto. Este sitio oficial menciona que para la infraestructura de engorda se utilizan, estanques rústicos, estanques de concreto y estanques de geomembrana. Resalta que la producción de crías ha sido abastecida en la región principalmente por el Laboratorio de Acuicultura Tropical de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, así como algunas granjas particulares con producción esporádica. Además, advierte que es necesario continuar con el estudio de diversos aspectos biotecnológicos, con el fin de fortalecer el cultivo debiéndose estudiar temas como la densidad de siembra y los diferentes sistemas de cultivo. Este documento menciona que se debe mejorar el tiempo de cultivo, de tal manera que se alcancen tallas de venta bajo un esquema económicamente factible para los productores.

Condiciones ambientales para el cultivo.

Ross y Martínez-Palacios (1994) analizaron diferentes parámetros ambientales con la finalidad de proponer parámetros dentro de las cuales castarrica desarrolle su potencial. Para ello proponen condiciones óptimas de oxígeno disuelto, temperatura, salinidad y amonio. Con respecto al oxígeno, resaltan los estudios de Martínez-Palacios y Ross (1986) que señalan que hay una marcada disminución

en la tasa respiratoria de los organismos conforme incrementa el peso y que, a mayor temperatura, mayor es la tasa respiratoria. Ross y Martínez-Palacios (1994) indican que la especie es conformadora de oxígeno, no regulando el consumo de este, resaltando que los niveles de hipoxia se observan alrededor de 3.5 mg L^{-1} . A pesar de ser una especie tolerante a condiciones de anoxia, valores por debajo de este umbral impiden su crecimiento. Los autores documentan además que, al aumentar la salinidad, no se observa un incremento importante en la tasa respiratoria.

La temperatura es un factor que impacta fuertemente el desarrollo de un organismo, en el caso de la castarrica es importante notar que se distribuye en ambientes muy variados y se le ha encontrado en temperaturas entre 18 y 34 °C. Por lo que es importante tener en consideración el origen de los reproductores. Martínez-Palacios (1987) recomienda para el cultivo exitoso de la especie un rango entre 28 y 30 °C; aunque, Ross y Martínez-Palacios (1994) reconocen que temperaturas por arriba de 30 grados podrían beneficiar el cultivo.

Con respecto a la salinidad, se ha reportado que castarrica es una especie eurihalina, se distribuye en ambientes que van desde 0, hasta 38 UPS, siendo abundante entre en aguas salobres (Martínez-Palacios 1987). Martínez *et al.* (2012) describieron el efecto de la salinidad en el desarrollo temprano de la especie concluyendo que para los organismos empleados la salinidad óptima fue la de 5 UPS. Sin embargo, Martínez-Palacios *et al.* (1990) reportan que los mejores crecimientos se observaron en larvas cultivadas entre 10 y 35 UPS. Estos mismos autores señalan que cuando las larvas son transferidas de agua dulce, a otras salinidades y son expuestas por 12 días, la salinidad letal media es de 15 UPS.

Estos resultados contradictorios hacen evidente que se debe considerar el origen de los reproductores, para decidir la salinidad para la engorda de las crías.

Perspectivas del cultivo. El cultivo de la mojarra castarrica es una actividad acuícola importante en Mesoamérica, con un gran potencial para el desarrollo rural y la seguridad alimentaria. Beveridge *et al.* 1994 señalaban que en esa época se carecía de datos adecuados de crecimiento y producción y esa apreciación se mantiene a la fecha. Aún se requiere de investigación continua, la mejora de las prácticas de cultivo, la selección de líneas genéticas y la inversión en infraestructura: estos aspectos son clave para el crecimiento futuro del sector y para aprovechar al máximo el potencial de esta valiosa especie. Sin embargo, es importante hacer notar que la producción de crías para la repoblación en cuerpos de agua sobreexplotados ha jugado un papel fundamental en el mantenimiento de las pesquerías artesanales de esta y otras especies de cíclidos nativos en el sureste mexicano.

En los últimos años la producción de crías de castarrica ha sido impulsado por el Laboratorio de Acuicultura Tropical de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Estos esfuerzos han rendido frutos, pues en la actualidad existen algunos productores importantes con manejo reproductivo y engorda esporádica. La granja privada con mayor producción de esta especie es “El Pucté del Usumacinta”, que, junto con otros centros productores de pequeña y mediana escala soportan la producción de crías de la especie en Tabasco (INAPESCA 2018). Es decir, la producción se centra en la región sureste del país, pero se desarrolla principalmente en el

estado de Tabasco, impulsando un importante crecimiento en las unidades de producción acuícola de castarrica. El Instituto Nacional de Pesca (2018), asegura que el cultivo de esta especie es una actividad que se ha desarrollado principalmente a escala rural y experimental en su región de distribución natural. Por consiguiente, ha tenido un mayor crecimiento en los estados de Tabasco, Campeche y Chiapas.

Discusión

La información recopilada sobre la mojarra castarrica proporciona información valiosa sobre su biología y su potencial de cultivo. La literatura se ha enfocado de manera casi equilibrada a estos dos grandes temas habiendo información sobresaliente sobre los hábitos reproductivos, la fecundidad de la especie, sus hábitos alimenticios y detalles de la última clasificación taxonómica propuesta por Řičan *et al.* (2016) que la vuelve a posicionar dentro del género *Mayaheros*, tal como lo había propuesto Günther desde 1862. El hecho de que la castarrica sea una especie de hábitos alimenticios omnívoros considerada generalista, le convierte en una especie candidata a ser incluida en prácticas acuícolas, pues esto reduce considerablemente la cantidad de proteína animal requerida para su engorda y que por lo general es obtenida a partir de harina de pescado. En la literatura sobresale que, al ser una especie comercializada en acuarios, ha sido introducida fuera de su distribución original, siendo reportada en ecosistemas de Florida, Tailandia y Singapur.

En lo referente a la pesquería de la especie se puede mencionar que es de carácter artesanal, con registros oficiales solo en México. Chávez-

López *et al.* (2005) reportaron que la pesca de castarrica es llevada a cabo de manera artesanal en varias regiones del sureste mexicano y tiene potencial para acuicultura en aguas dulces y salobres. Sin embargo, el lento crecimiento, el incipiente manejo genético y la carencia de alimentos adecuados para las necesidades de la especie han definido que el desarrollo de las técnicas de cultivo para la especie se centre en la producción de crías. En ese sentido, el cultivo de dicha especie ha considerado dos aspectos fundamentales: el repoblamiento de cuerpos de agua sobreexplotados por las actividades pesqueras y el desarrollo del cultivo de engorda.

Cabe destacar que la utilización de alta tecnología en el sector acuícola mexicano es bastante limitada. Puesto que, gran parte de los avances recientes se encuentran en congresos y publicaciones científicas y son llevados a cabo en condiciones controladas, en las que el científico y técnicos expertos las desarrollan con éxito. Lamentablemente, dicho conocimiento no se encuentra al alcance de todos, por lo que, en lo referente al cultivo de la mojarra castarrica no se ha logrado un impacto en el sector comercial (Betanzo-Torres *et al.* 2019).

Debido a ello, se vuelve importante el desarrollo de este tipo de tecnologías, no sólo en áreas investigativas, sino también en la ejecución y practica de las técnicas acuícolas. Pues, distintos estudios han demostrado la importancia y el gran impacto positivo que la genética molecular puede tener en el estudio de especies acuáticas. Así como también, el aprovechamiento del conocimiento que esta ciencia puede brindar.

Conclusiones

La mojarra castarrica es una de las especies más estudiada de cíclidos nativos de Mesoamérica y aunque presenta un alto potencial para ser incorporada a la acuicultura, aún no ha logrado desarrollarse. Posiblemente uno de los principales retos consiste en mejorar las tasas de crecimiento mediante la selección de líneas mejoradas.

Literatura citada

Adams, AJ, Wolfe RK (2007). Occurrence and persistence of non-native *Cichlasoma urophthalmus* (family Cichlidae) in estuarine habitats of south-west Florida (USA): environmental controls and movement patterns. *Marine and Freshwater Research*, 58(10), 921-930.

Álvarez-González CA, Márquez-Couturier G, Ramírez-Martínez C, Jesús-Ramírez F (2011) Manual para el cultivo de mojarra nativas: tenguayaca (*Petenia splendida*) y Castarrica (*Cichlasoma urophthalmus*). UJAT-FOMIX CONACyT-Gobierno del Estado de Tabasco. Natura y Ecosistemas Mexicanos AC, y Universidad Autónoma de Nuevo León. México, pp 63 ISBN 978-607-433-714-4

Álvarez-González CA, Márquez-Couturier G, Contreras-Sánchez WM, Rodríguez-Valencia W (2007) Estrategia para el uso sustentable de los recursos pesqueros en Boca de Chilapa, reserva de la biosfera Pantanos de Centla, Tabasco: establecimiento de una planta de producción de peces nativos, pejelagarto, tenguayaca y castarrica. En G. Halffter, S. Guevara & A. Melic (Eds.). Hacia una cultura de conservación de la diversidad biológica. 197-205.

Álvarez-González CA, Ramírez-Martínez C, Martínez-García R, Jesús-Ramírez F, Márquez-Couturier G (2013) Cultivo de mojarra nativas: Tenguayaca (*Petenia splendida*) y castarrica (*Cichlasoma urophthalmus*). UANL-UJAT-FOMIX CONACyT, Edo. Tabasco. Natura y Ecosistemas Mexicanos AC, México, pp. 66. ISBN 978-607-27-0117-5

Amador-del Ángel LE, Cabrera-Rodríguez P, Guevara-Carrió E, Brito-Pérez R (2015) La acuicultura en la Laguna de Términos: Génesis, desarrollo y algunas consideraciones para su sustentabilidad. p. 194-233. En: L.E. Amador-del Ángel y M. Frutos Cortés (eds.). Problemas contemporáneos regionales del Sureste Mexicano. El caso del estado de Campeche. Universidad Autónoma del Carmen. 307 p.

Arbour JH, López-Fernández H (2016) Continental cichlid radiations: functional diversity reveals the role of changing ecological opportunity in the Neotropics. *Proc. R. Soc. B* 283: 20160556. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2016.0556>

Barrientos-Medina RC (2005) Estado taxonómico de la mojarra rayada *Cichlasoma urophthalmus* Günther, 1862 (Teleostei: Cichlidae). Tesis doctoral. El Colegio de la Frontera Sur.

Barrientos-Villalobos J, Schmitter-Soto JJ (2019) Phylogeography of the Mayan cichlid *Mayaberos urophthalmus* (Teleostei: Cichlidae) in the Yucatan peninsula based on mitochondrial markers CYTB and COI. *Environmental Biology of Fishes* 102(12): 1461-1472.

Barrientos-Villalobos J, Schmitter-Soto JJ, de los Monteros AJE (2018) Several subspecies or phenotypic plasticity? A geometric morphometric and molecular analysis of variability of the Mayan cichlid *Mayaberos urophthalmus* in the Yucatan. *Copeia* 106(2): 268-278.

Bergmann GT, Motta PJ (2005) Diet and morphology through ontogeny of the nonindigenous Mayan cichlid '*Cichlasoma (Nandopsis)*' *urophthalmus* (Günther 1862) in southern Florida. *Environmental Biology of Fishes*, 72, 205-211.

Betanzo-Torres EA, Marín-Muñoz JL, Piñar-Álvarez MA, Celdrán-Sabater D, Mata AH (2019) Análisis de la aplicación de la tecnología biofloc en la producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en regiones rurales de México. *RINDERESU* 4 (1-2): 42-58.

Beveridge M, Martínez-Palacios CA, Flores-Nava A (1994) En: Martínez-Palacios, C. A., & Ross, L. G. (Eds.). Biología y cultivo de la mojarra latinoamericana *Cichlasoma urophthalmus*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Grafos editores. 135-163.

- Cabrera-Rodríguez P, Amador-del Ángel LE, Gómez-Mendoza GE, Castro-Castro L (1997) Avances en la incorporación de peces nativos a la acuicultura en la reserva natural privada Sandoval Caldera A. C. En: A. Sánchez-Zamora y Amador-del Ángel (Eds.). Memorias del Congreso Regional de Ciencia y Tecnología de la Península de Yucatán 233-236.
- Calzada-Ruiz D, Álvarez-González CA, Peña E, Jiménez-Martínez LD, Alcantar-Vázquez JP, Becerril-Morales F, Martínez-García R, Camarillo-Coop S (2019) Lipid requirement using different oil sources in Mayan cichlid *Cichlasoma urophthalmus* larvae (Percoidei: Cichlidae). Latin American Journal of Aquatic Research 47(2): 331-341. <https://dx.doi.org/10.3856/vol47-issue2-fulltext-13>
- Cerro-Zepeda, M. (1992). Tratamiento quimioterapéutico para el control del nematodo *Contracaecum* sp., parásito de la mojarra castarrica *Cichlasoma urophthalmus* (Günther, 1862).
- Chávez-Lomelí MO, Mattheeuws AE, Pérez-Vega MH (1989) Biología de los peces del río San Pedro en vista de determinar su potencial para la piscicultura. INREB-FUCID, Veracruz, México. IREB-FUCID. Xalapa, Veracruz, México. 222 pp.
- Chávez-López R, Peterson MS, Brown-Peterson NJ, Morales-Gómez AA, Franco-López J (2005) Ecology of the Mayan cichlid, *Cichlasoma urophthalmus* Günther, in the Alvarado lagoonal system, Veracruz, Mexico. Gulf and Caribbean Research 17(1): 123-131.
- Chávez-de Martínez MC, Vidal-Martínez VM, Aguirre-Macedo ML, Sommerville C (1994) En: Martínez-Palacios, CA, Ross LG (Eds.). Biología y cultivo de la mojarra latinoamericana *Cichlasoma urophthalmus*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Grafos editores. 109-134
- Chávez-Sánchez C, Martínez-Palacios CA, Martínez-Pérez G, Ross LG (2000) Phosphorus and calcium requirements in the diet of the American cichlid *Cichlasoma urophthalmus* (Günther). Aquaculture Nutrition 6(1): 1-10.
- Cifuentes- Lemus, J. L., y F. Cupul-Magaña. 2002. Un vistazo a la historia de la pesca en México: administración, legislación y esfuerzos para su investigación. Ciencia Ergo- Sum UAEM. México. 9(1): 112-118.
- CONAPESCA. (2013). Anuario estadístico de acuicultura y pesca 2021. https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=2005&sciodt=0%2C5&cites=1290804895476638067&scipsc=&q=Anuario+Estad%C3%ADstico+de+Acuicultura+y+Pesca+2021&btnG=
- Contreras-García MJ, Arias-Rodríguez L, Pérez-Pérez RA, Martínez-Santos TJ (2010) Evaluación preliminar del extracto de pituitaria de carpa y de la gonadotropina coriónica humana en la calidad espermática de *Cichlasoma urophthalmus*. Kuxulkab' 16(30): 47-52.
- Contreras-Rodríguez GI (2015) Fecundidad y madurez gonádica de la mojarra castarrica *Cichlasoma urophthalmus* (F-1) mejorada genéticamente en Tabasco, México. [Tesis] Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Contreras-Sánchez WM, Álvarez-González CA, Márquez-Couturier G, Hernández-Vidal U, Mcdonal-Vera A, Fernández-Pérez M, López-Ramos I, Fitzsimmons K, Pérez-Pérez RA, Sánchez-Perez E, Hernández-Vera B, López-González B, Hernández-González E, Córdoba-Arroyo ND (2010) Incorporation of the native cichlids tenguyaca, *Petenia splendida*, and castarrica, *Cichlasoma urophthalmus* into sustainable aquaculture in Central America: improvement of seedstock quality and substitution of fish meal use in diets. In AquaFish Innovation Lab. January 2014. Egna, H., Goetting, K., and Price, C. (eds). Technical reports Investigations 2007-2009. Vol I:190:212. https://aquafishcrsp.oregonstate.edu/sites/aquafishcrsp.oregonstate.edu/files/07techrpt_vol.1_11011sics_final.pdf

Córdova-Tapia F, Zambrano L (2016). Fish Functional groups in a tropical wetland of the Yucatán Peninsula, Mexico. *Neotropical Ichthyology*, 14, e150162.

<https://doi.org/10.1590/1982-0224-20150162>

Cuenca-Soria CA, Álvarez-González CA, Tovar-Ramírez D, Ortiz-Galindo JL, Aguilar-Hernández S, Perera-García MA, Hernández-Gómez R, Castillo-Domínguez A, Gisbert-Casas E (2013) Avances en la Fisiología Digestiva de la Mojarra Castarrica *Cichlasoma urophthalmus* En: L. Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha G. Nieto López, David A. Villarreal Cavazo, Julián Gamboa Delgado y Carlos Alfonso Álvarez Gzz (Eds.). *Contribuciones Recientes en Alimentación y Nutrición Acuícola*, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, 460-493. ISBN: 978-607-27-0391-9.

Cuenca Soria CA, Álvarez González CA, Ortiz-Galindo JL, Guerrero-Zárate R, Perera-García MA, Hernández-Gómez RE, Nolasco-Soria H (2013a). Digestibilidad in vitro de ingredientes proteínicos en la mojarra castarrica *Cichlasoma urophthalmus*. *Universidad y ciencia*, 29(3): 263-275.

Cuenca-Soria CA, Álvarez-González CA, Ortiz-Galindo JL, Tovar-Ramírez D, Guerrero-Zárate R, Aguilar-Hernández S, Perera-García, Hernández-Gómez R, Gisbert E (2013b) Histological development of the digestive system of Mayan cichlid *Cichlasoma urophthalmus* (Günther 1862) *Journal of Applied Ichthyology* 29(6): 1304-1312.

Cuenca-Soria CA, Navarro LI, Castillo-Domínguez A, Melgar CE, Pérez-Palafox XA, Ortiz-Hernández M (2016) Fuentes proteínicas no tradicionales y su efecto sobre el crecimiento y supervivencia, durante la masculinización del pez *Cichlasoma urophthalmus* (Perciformes: Cichlidae). *Cuadernos de Investigación UNED* 8(2): 163-170.

Dávila-Camacho CA, Galaviz-Villa I, Lango-Reynoso F, Castañeda-Chávez MDR, Quiroga-Brahms C, Montoya-Mendoza J (2019) Cultivation of native fish in Mexico: cases of success. *Reviews in Aquaculture* 11(3): 816-829.

Elmer KR, Lehtonen TK, Kautt AF, Harrod C, Meyer A (2010) Rapid sympatric ecological differentiation of crater lake cichlid fishes within historic times. *BMC Biology* 8(60). (doi:10.1186/1741-7007-8-60).

FAO (2020) El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020 Versión resumida. La sostenibilidad en acción. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9231es>

Feilich KL (2016) Correlated evolution of body and fin morphology in the cichlid fishes. *Evolution* 70(10): 2247-2267.

Fernández Rivera-Melo FJ, L Rocha-Tejeda E, Gastélum-Nava N, Goldman JB, Sánchez-Cota C, Ortiz-Lugo A, Gómez-Gómez MJ, Espinosa-Romero (2018) Criterios de sustentabilidad pesquera: una guía fundamental para conservar los recursos pesqueros en México. *Biodiversitas* 140: 8-11.

Friedman M, Keck BP, Dornburg A, Eytan RI, Martin CH, Hulsey CD, Wainwright PC, Near TJ (2013) Molecular and fossil evidence place the origin of cichlid fishes long after Gondwanan rifting. *Proc R Soc B* 280: 20131733. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2013.1733>

Froese R, Pauly D. Editors (2021) FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, (08/2021).

Gallegos Bravata F (2014) Evaluación de caracteres de interés económico de la mojarra castarrica *Cichlasoma urophthalmus* obtenida por selección genética, [Tesis Maestría] Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Galmiche-Tejeda A (2001) Subsistence fish farming: An alternative for sustainable development in rural Mexico. Department of Geography. University of Durham.

Glaubrecht M (Ed.) (2010) Evolution in action: Case studies in adaptive radiation, speciation and the origin of biodiversity. Springer Science & Business Media. Hernández-Hernández, F. A., Hernández-Gómez, R. E., Valenzuela-Cordova, I., Perera-García, M. A., & Cuenca-Soria, C. A. (2020) Desarrollo embrionario y larval de la mojarra paleta *Vieja melanura* (Günther, 1862) del sureste mexicano Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios 7(3). <https://doi.org/10.19136/era.a7n3.2686>

Gómez R (2020). Peces de la familia Cichlidae de Chiapas y clave dicotómica para su determinación. [Tesis para obtener el título de Licenciado en Biología, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas]. <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/1976>

Günther A (1862) Catalogue of the Acanthopterygii, Pharyngognathi and Anacanthini in the Collection of the British Museum. Catalogue of the Fishes in the British Museum 4: i-xxi + 1-53.

Gutiérrez-Sigueros I, Cuenca-Soria CA, Navarro-Angulo LI, Maldonado-Enríquez EJ, Melgar-Valdes CE, Castillo-Domínguez A (2018) Tiempo y dosis óptimas de fluoximesterona, para masculinización de crías del pez maya *Cichlasoma urophthalmus* (Percidae: Cichlidae). UNED Research Journal/ Cuadernos de Investigación UNED 10(2): 416-421.

Hernández-Betancourt S (1988) Inversión sexual de la mojarra *Cichlasoma urophthalmus* a través de la aplicación de la 17-a-metiltestosterona. Masters degree thesis, CINVESTAV-IPN-Unidad Mérida, México, 66pp.

Hernández-Hernández, F. A., Hernández-Gómez, R. E., Valenzuela-Córdova, I., Perera-García, M. A., & Cuenca-Soria, C. A. (2020). Desarrollo embrionario y larval de la mojarra paleta *Vieja melanura* (Günther, 1862) del sureste mexicano. Ecosistemas y recursos agropecuarios, 7(3).

Hernández-Vidal U, Contreras-Sánchez WM, Márquez-Couturier G (2004) Transferencia de Tecnologías Acuícolas con Peces Nativos y Tilapia en Tabasco. Taller de Intercambio Internacional sobre Extensión en Acuicultura http://www.crc.uri.edu/download/16_Mzt_2004.

INAPESCA (2018) Carta Nacional Acuícola 5ta. Versión Acuicultura/Mojarra Castarrica. <https://www.gob.mx/imipas/acciones-y-programas/acuicultura-mojarra-castarrica>. Consultado el 09 de septiembre de 2024.

Jiménez LNL, Romo AM, Álvarez-González CA, Marín ESP, de Oca AFM (2020) Participación comunitaria en la transferencia tecnológica de un sistema acuícola de peces nativos. JAINA, Costas y Mares ante el Cambio Climático 2(1): 31-46.

Jiménez-Martínez LD, Álvarez-González CA, Contreras-Sánchez WM, Márquez-Couturier G, Arias-Rodríguez L, Almeida-Madrigal JA (2009) Evaluation of larval growth and survival in Mexican mojarra, *Cichlasoma urophthalmus*, and Bay Snook, *Petenia splendida*, under different initial stocking densities. Journal of the World Aquaculture Society 40(6): 753-761.

Kocher TD (2004) Adaptive evolution and explosive. speciation: the cichlid fish model. Nature Reviews Genetics 5:288– 298. (doi:10.1038/nrg1316).

Kullander SO (2003). Family cichlidae. Check list of the freshwater fishes of South and Central America, 605-654.

- Loftus WF (1987). Possible establishment of the Mayan cichlid, *Cichlasoma urophthalmus* (Günther)(Pisces: Cichlidae), in Everglades National Park, Florida. *Florida Scientist*, 1-6.
- López JF, Báez LE, Arenas LGA, Sánchez CB, López GS, y Vázquez-López H (2018) Comportamiento estacional de la ictiofauna en bocas de comunicación de los ríos asociados a la laguna de Alvarado, Veracruz, México. *The Biologist (Lima)* 16(1): 139-158.
- López-Fernández H, Winemiller KO, Honeycutt RL (2010) Multilocus phylogeny and rapid radiations in Neotropical cichlid fishes (Perciformes: Cichlidae: Cichlinae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 55(3): 1070-1086.
- López-Ramírez G, Cuenca-Soria CA, Álvarez-González CA, Tovar-Ramírez D, Ortiz-Galindo JL, Perales-García N, Márquez-Couturier G, Arias-Rodríguez L, Indy JR, Contreras-Sánchez WM, Gisber E, Moyano FJ (2011) Development of digestive enzymes in larvae of Mayan cichlid *Cichlasoma urophthalmus*. *Fish Physiology and Biochemistry* 37: 197-208. DOI 10.1007/s10695-010-9431-6.
- Lorán-Núñez RM, Valdez-Guzmán AJ, Martínez-Isunza FR, Gaspar-Dillanes MT (2013) Lago de Catemaco, Veracruz. En: Gaspar-Dillanes, MT y D. Aguilar-Montaño. *Pesquerías Continentales de México*, Ed. Primera. Instituto Nacional de Pesca, 93-118.
- Maldonado A, de la Cruz JC, López L, Fernández A, Peña E, Álvarez-González CA (2020) Cultivo de la mojarra castarrica (*Mayaheros urophthalmus*). Prototipo Sustentable de Cultivo de Peces Nativos para el Autoconsumo. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26904.55041>.
- Marín-Pedraza W (2013) Determinación de las medidas morfométricas y merísticas de tres poblaciones de la mojarra castarrica (*Cichlasoma urophthalmus*) seleccionada genéticamente. [Tesis] Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Martínez LDJ, Contreras RJ, Rodríguez LA, González CAÁ, Díaz EC, De la Cruz Hernández EN (2012) Efecto de la salinidad en larvas de la mojarra castarrica *Cichlasoma urophthalmus*. *Kuxulkab'*, 34: 45-50.
- Martínez-Cordero FJ, Ross LG, Martínez-Palacios CA (1990). Determination of morphometric parameters in the Mexican mojarra, *Cichlasoma urophthalmus* (Günther), for the design and construction of box graders. *Aquaculture Research*, 21(3), 293-298.
- Martínez-Palacios CA (1987) Aspects of the biology of *Cichlasoma urophthalmus* (Gunter) with particular reference to its culture. Unpublished PhD thesis, University of Stirling. 321 pp.
- Martínez-Palacios CA, Chávez-Sánchez MC, Ross LG (1996) The effects of water temperature on food intake, growth and body composition of *Cichlasoma urophthalmus* (Günther) juveniles. *Aquaculture Research* 27(6): 455-461.
- Martínez-Palacios CA, Hernández S, Rana K (1994) Biología reproductiva y tecnología de producción masiva de crías. En: Martínez-Palacios, C. A., & Ross, L. G. (Eds.). *Biología y cultivo de la mojarra latinoamericana Cichlasoma urophthalmus*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Grafos editores. 53- pp.
- Martínez-Palacios CA, Olvera-Novoa MA, S, Ross B (1994) Nutrición y alimentación de *Cichlasoma urophthalmus* En: Martínez-Palacios CA, Ross LG. (Eds.) *Biología y cultivo de la mojarra latinoamericana Cichlasoma urophthalmus*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Grafos editores. 87.107- pp.

- Martínez-Palacios CA, Ross LG (1986) The influence of body weight, temperature and hypoxia on the respiratory rate of *Cichlasoma urophthalmus* (Gunther). *Aquaculture Fish. Management* 17: 243-248.
- Martínez-Palacios CA, Ross LG (1986) The effects of temperature, body weight and hypoxia on the oxygen consumption of the Mexican mojarra, *Cichlasoma urophthalmus* (Günther). *Aquaculture Research* 17(4): 243-248.
- Martínez-Palacios CA, Ross LG (1988) The feeding ecology of the Central American cichlid *Cichlasoma urophthalmus* (Gunther). *Journal of Fish Biology* 33(5): 665-670.
- Martínez-Palacios CA, Ross LG, Rosado-Vallado M (1990) The effects of salinity on the survival and growth of juvenile *Cichlasoma urophthalmus*. *Aquaculture* 91(1-2): 65-75.
- Martínez-Palacio CA, Ross LG (1994) *Biología y Cultivo de la Mojarra latinoamericana. Castarrica*. Edit. CIAD-87CONACYT.MEXICO. 203 pp.
- Mendoza EA, Navarro L (1994) Sistemas de reproducción y producción de crías de mojarra castarrica (*Cichlasoma urophthalmus*): Avances y perspectivas en: En: Programa y Resúmenes del – II Seminario Sobre Peces Nativos Con Uso Potencial En Acuicultura-. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México, del 23-26 de mayo de 1994: 22. pp.
- Mendoza AE, Mendoza A, Galmiche A, Meseguer R (1988) La Acuicultura de Peces Nativos en México: Retos y Perspectivas. En: Programa y Resúmenes del -II Seminario Sobre Peces Nativos Con Uso Potencial En Acuicultura-. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México, del 23-26 de Mayo de 1994.p 22.
- Mendoza QME (1989) Consideraciones generales para el manejo reproductivo de *Cichlasoma urophthalmus*. Primer seminario sobre Acuicultura Pemex-UJAT en el estado de Tabasco, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, marzo de 1989, p 27-30.
- Msangi S, Kobayashi M, Batka M, Vannuccini S, Dey MM, Anderson JL, Kelleher K, Singh K, Brummet, R (2017) *Fish to 2030: prospects for fisheries and aquaculture*.
- Miller RR (2009) *Peces dulceacuícolas de México*. CONABIO, Sociedad Ictiológica Mexicana, El Colegio de la Frontera Sur y el Consejo de Peces del Desierto, México – Estados Unidos. Ciudad de México, México, 559 pp.
- Nelson JS, Grande TC & Wilson MV (2016) *Fishes of the World*. John Wiley & Sons. 622 pp.
- Nico LG, Beamish WH, Musikasinthorn P (2007) Discovery of the invasive Mayan Cichlid fish “Cichlasoma” urophthalmus (Günther 1862) in Thailand, with comments on other introductions and potential impacts. *Aquatic Invasions*, 2(3), 197-214.
- Pérez DI (2018) Respuesta del eje reproductivo frente a la restricción alimentaria en el pez cíclido *Cichlasoma dimerus*. [Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales]. http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n6418_PerezSirkin.
- Pérez PRA (2011) Selección de una línea de la mojarra castarrica *Cichlasoma urophthalmus* (Günter, 1862) en Tabasco, México. [Tesis Maestría] Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Platas-Rosado D (2018) Importancia económico y social del sector acuícola en México. *Agro Productividad* 10(2).
- Razo-Mendivil U, Vázquez-Domínguez E, de León GPP (2013) Discordant genetic diversity and geographic patterns between *Crassicutis cichlasomae* (Digenea: Apocreadiidae) and its cichlid host

- “*Cichlasoma*” *urophthalmus*, (Osteichthyes: Cichlidae), in Middle-America. *The Journal of Parasitology*, 99(6), 978-988.
- Real-Ehuan G (2003) Masculinización de crías de mojarra castarrica *Cichlasoma urophthalmus* mediante la administración de 17α -metiltestosterona. Tesis de licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco- DACBiol. México. 57 pp. Inédita.
- Reséndez AM (1981) Estudio de los peces de la Laguna de Términos, Campeche, México. II. *Biótica* 6(3): 239–291
- Řičan O, Piálek L, Dragová K, Novák J (2016) Diversity and evolution of the Middle American cichlid fishes (Teleostei: Cichlidae) with revised classification. *Vertebrate Zoology* 66(1): 3-102.
- Ross L G, Martínez-Palacios CA (1994) Fisiología ambiental de *Cichlasoma urophthalmus*. En: Martínez-Palacios, CA, Ross LG (Eds.) 1994. *Biología y cultivo de la mojarra latinoamericana Cichlasoma urophthalmus*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Grafos editores. 53- pp.
- SAGARPA (2017). Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. 2018. México: Comisión de Acuicultura y Pesca. Recuperado de https://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/dgppe/2018/ANUA-RIO_2018.pdf
- Salgado-Maldonado G, Aguilar-Aguilar R, Cabanas-Carranza G, Soto-Galera E, Mendoza-Palmero C (2005) Helminth parasites in freshwater fish from the Papaloapan river basin, Mexico. *Parasitology Research*, 96, 69-89.
- Schmitter-Soto, J. J., and Gamboa-Pérez H. C. 1996. Distribución de peces continentales en el sur de Quintana Roo, Mexico. *Revista de Biología Tropical* 44:199-212.
- Schmitter-Soto JJ (2020) La ictiofauna cenotícola (peces de cenote) más relevante de la península de Yucatán. *Bioagrociencias* 13(1): 9-22.
- Soria-Barreto, M., Rodiles-Hernández, R., & González-Díaz, A. A. (2011). Morfometría de las especies de Vieja (Cichlidae) en ríos de la cuenca del Usumacinta, Chiapas, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(2), 569-579.
- Sosa-Villalobos C, Castañeda-Chávez M, Amaro-Espejo IA, Galaviz-Villa I, Lango-Reynoso F (2016) Diagnosis of the current state of aquaculture production systems with regard to the environment in Mexico. *Latin American journal of aquatic research* 44(2): 193-201. <https://dx.doi.org/10.3856/vol44-issue2-fulltext-1>
- Stauffer JR, Boltz SE (1993) Effects of salinity on the temperature preference and tolerance of age-0 Mayan cichlids. *Transactions of the American Fisheries Society* 123(1):101-107.
- Villarreal, C., Gelabert, R., Gaxiola, G., Cuzon, G., Amador, L. E., Guevara, E., & Brito, R. (2011). Crecimiento de alevines de *Cichlasoma urophthalmus* con dietas basadas en diferentes niveles de inclusión de proteína de soya y gluten de trigo. *Universidad y ciencia*, 27(1), 53-62.
- Wagner CE, Harmon LJ, Seehausen O (2012) Ecological opportunity and sexual selection together predict adaptive radiation. *Nature* 487: 366–369. doi:10.1038/nature11144.
- Yoder JB, Clancey E, Des Roches S, Eastman JM, Gentry L, Godsoe W, Hagey TJ, Jochimsen B, Oswald BP, Robertson J, Sarver BA, Schenk JJ, Spear SF, Harmon L. J (2010) Ecological opportunity and the origin of adaptive radiations. *Journal Evolutionary Biology* 23: 1581–1596. doi:10.1111/j.1420-9101.2010.02029.x.