



Tropical Aquaculture

Vol.: 2 No.: 1 January · June 2024





DIRECTORIO

L.D. GUILLERMO NARVÁEZ OSORIO

Rector

DR. WILFRIDO MIGUEL CONTRERAS SÁNCHEZ

Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

DR. LUIS MANUEL HERNÁNDEZ GOVEA

Secretario de Servicios Académicos

DR. MIGUEL ARMANDO VÉLEZ TÉLLEZ

Secretario de Finanzas

LIC. ALEJANDRINO BASTAR CORDERO

Encargado del Despacho de la Secretaría de Servicios Administrativos

Wilfrido M. Contreras-Sánchez
Editor-in-Chief

María J. Contreras-García, MSc.
Associate Editor

Lenin Arias Rodríguez, PhD.
Executive Editor

Misael Hernández Martínez
Journal manager

Section Editors

**Tilapia aquaculture, polyculture, and aquaponics*
Kevin. M. Fitzsimmons, PhD

**Fish Larviculture and Nutrition*
Maria Célia Portella, PhD

**Social Impacts of Aquaculture*
Hillary Egna, PhD

**Stress*
Carl B. Schreck, PhD

**Physiology*
Reynaldo Patiño, PhD
Quenton Fontenot, PhD
Allyse Ferrara, PhD

**Histology and Physiology*
Marycarmen Uribe Aranzábal PhD
Arlette A. Hernández Franyutti, MSc
Aaron Alejandro Torres Martínez, PhD

**Reproduction*
Carmen G. Paniagua Chávez, PhD

**Live food culture*
Leonardo Cruz Rosado, PhD

**Nutrition*
Ulises Hernández-Vidal, PhD

**Water Quality*
Martin S. Fitzpatrick, PhD

**Marine Fish Aquaculture*
Rodrigo Martínez Moreno PhD
Leonardo Ibarra Castro, PhD
Luis S. Álvarez-Lajonchère, PhD

**Production Systems*
Alejandro Mcdonal-Vera, MSc
Alfonso Castillo-Domínguez, PhD

**Marine Aquaculture*
Antonio Garza de Yta, PhD

**Aquatic health in aquaculture*
Marco Linné Unzueta Bustamante, PhD

**Biofloc Culture*
Adriana da Silva, PhD
Carolina Melgar-Valdes, PhD

**African Aquaculture*
Charles Ngugi, PhD
Julius Manyala, PhD
Nelly Isyagi, PhD

**Shrimp culture and nutrition*
Martha Gabriela Gaxiola Cortés, PhD

**Translations*
S. Arriaga-Weiss, PhD

Tropical aquaculture, Año 2, No. 1, enero-junio 2024, es una publicación semestral editada por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad s/n, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Villahermosa, Centro, Tabasco, CP. 86040, Tel (993) 358 15 00, <https://revistas.ujat.mx/index.php/ta>, tropicalaquaculture@ujat.mx. Editor responsable: Wilfrido M. Contreras Sánchez. Reservas de Derechos de Uso Exclusivo No. 04-2024-062114245900-102, ISSN: 3061-7642, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Wilfrido M. Contreras Sánchez, Av. Universidad s/n, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Villahermosa, Centro, Tabasco, México. C.P. 86040, fecha de última modificación, 14 de octubre de 2024.

CONTENIDO**Editorial**

- [Hermaphroditism in fish, an opportunity in aquaculture](#)1
María J. Contreras-García

Scientific article

- [Spawning Induction, Larviculture and Rearing of Mexican Snook Centropomus poeyi \(Chávez, 1961\)](#)7
María de Jesús Contreras-García, Wilfrido, Alejandro, Leonardo
- [Behavioral repertoire of *Arapaima gigas* \(Schinz, 1822\) reared in captivity and its implication for welfare protocols](#)15
Behavior of the arapaima
Alessandra Escurra-Alegre, Fritz A. Francisco, Fabian Schäfer, Sven Wuertz, Werner Kloas, David Bierbach

Artículo Científico

- [Efecto de *Saccharomyces cerevisiae* en el desempeño de crecimiento y parámetros hematológicos en un cultivo comercial de tilapia](#)26
Dra. Carolina Esther Melgar-Valdes, Lidia Noemi Urquilla-Ortiz, Dr. Alfonso Castillo Domínguez

Artículos de Revisión

- [La Mojarra Castarrica, *Mayaheros urophthalmus*: Especie Nativa Mesoamericana, con Alto Potencial Acuícola](#)37
Mario Fernandez-Pérez

CONTENT**Editorial**

- **Hermaphroditism in fish, an opportunity in aquaculture**1
María de Jesús Contreras-García

Scientific article

- **Spawning Induction, Larviculture and Rearing of Mexican Snook *Centropomus poeyi* (Chávez, 1961)**7
María de Jesús Contreras-García, Wilfrido Miguel Contreras-Sánchez, Alejandro Mcdonal-Vera, Leonardo Cruz-Rosado
- **Behavioral repertoire of *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) reared in captivity and its implication for welfare protocols**15
Alessandra Escurra-Alegre, Fritz A. Francisco, Fabian Schäfer, Sven Wuertz, Werner Kloas, David Bierbach

Artículo de Investigación Original

- **Effect of *Saccharomyces cerevisiae* on growth performance and hematological parameter in commercial tilapia culture**26
Carolina Melgar Valdes , Lidia Noemi Urquilla-Ortiz, Alfonso Castillo-Domínguez

Artículo de revisión

- **The Mayan Cichlid, *Mayaheros urophthalmus* : Native Mesoamerican species, with high aquaculture potential**37
Mario Fernandez-Pérez

Hermaphroditism in fish, an opportunity in aquaculture

El Hermafroditismo en peces, una oportunidad en la acuicultura


María de Jesús Contreras-García¹ 

¹Laboratorio de Acuicultura Tropical, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Villahermosa-Cárdenas Km 0.5, Entronque a Bosques de Saloya, Villahermosa C.P. 86039, México

Corresponding author. María de Jesús Contreras-García. Laboratorio de Acuicultura Tropical, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Villahermosa-Cárdenas Km 0.5, Entronque a Bosques de Saloya, Villahermosa C.P. 86039, México. contrer_mar@hotmail.com.

Cite: Contreras-García MJ (2024) Hermaphroditism in Fish: Implications for Aquaculture. *Tropical Aquaculture* 2 (1): e5734. DOI 10.19136/ta.a2n1.5734

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

4.0 International License 

Editorial Received: 11 June 2024

Editorial Accepted: 12 June 2024

Abstract

Hermaphroditism is defined as a reproductive strategy involving male and female functions in the same individual. This may occur simultaneously or sequentially, and it is present in the major taxonomic divisions of plants and is common in several Metazoans. In fish, these sexual transitions occur due to growth, survival, and reproductive trade-offs, and it has been documented in more than 450 species. In aquaculture terms, managing sex-changing species is complicated because the timing and causes of sex change in hermaphrodite fish are poorly understood, complicating planned reproductive events and meeting production goals. However, applying biotechnological processes such as sex reversal utilizing steroids could represent an advantage in obtaining organisms of the “desired” sex to obtain gametes and, therefore, make the use of aquaculture facilities more efficient.

Keywords: Hermaphroditism, Aquaculture, Reproduction

Resumen

El hermafroditismo se define como una estrategia reproductiva con presencia de las funciones masculina y femenina en el mismo individuo. Esto puede ocurrir de forma simultánea o secuencial, y está presente en las principales divisiones taxonómicas de las plantas y es común en varios Metazoos. En los peces, estas transiciones sexuales se producen debido a compensaciones entre crecimiento, supervivencia y reproducción, y se ha documentado en más de 450 especies. En acuicultura, el manejo de las especies que cambian de sexo se complica por el hecho de que no se conocen bien el momento, ni las causas del cambio de sexo en los peces hermafroditas, lo que complica la planificación de los eventos reproductivos y el cumplimiento de los objetivos de producción. Sin embargo, la aplicación de procesos biotecnológicos como la reversión del sexo mediante esteroides podría suponer una ventaja ya a la hora de obtener hembras o machos del sexo “deseado” para obtener gametos y, por tanto, hacer más eficiente el uso de las instalaciones acuícolas.

Palabras clave: Hermafroditismo, Acuicultura, Reproducción

Editorial

In metazoans, there are evolutionary transitions concerning reproduction (Kiontke *et al.* 2004). The genotypic sex determination (GSD) model, considered a monophyletic ancestral system, is determined by sex chromosomes. On the other hand, the environmental sex determination (ESD) model operates during sensitive periods of sexual modification, given the unusual plasticity of the bipotential sex determination system. This system includes diverse mechanisms that control the decision to gonadal development based on genetic pathways, environmental influences (social factors), and epigenetic regulations (light, pH, or temperature) (Capel 2017; Chong *et al.* 2013). Sexual differentiation is a highly flexible process involving numerous physiological events, culminating in an ovary or testis morphogenesis from an undifferentiated gonad (Heule *et al.* 2014).

Most animals are gonochoristic, with male and female gametes produced by different individuals consistently throughout their reproductive life. Whereas hermaphrodites are apparently programmed to change sex during their development (Le Page *et al.* 2010). There are two classes of hermaphrodites; simultaneous hermaphrodites, which function as male and female at the same time with the possibility of self-fertilization, and sequential hermaphrodites, which are usually described as protandric (male to female change) or protogynous (female to male change) without the possibility of self-fertilization. In sequential hermaphrodite animals, male and female gametes can be produced from a single gonad called ovotestis or separate testes and ovaries (Davison 2006; Leonard 2018).

Functional hermaphroditism occurs in more than 450 species of 156 genera in 41 families of 17 teleost orders (Kuwamura *et al.* 2020). It is mainly distributed in low latitudes, where the highest abundance of teleost fishes occurs. According to Kuwamura *et al.* (2020),

protogynous hermaphroditism is the most abundant type, with at least 305 species, 66% of the hermaphroditic species. Protandrous fishes live primarily in shallow habitats below 200 m, in reefs and warm waters of tropical regions, while protandric fishes do not have specific habitats (Pla 2019).

Among hermaphroditic fishes, many species support fisheries in diverse regions and are increasingly frequently reported as species whose catches have been reduced. Several questions arise when these species are required to be cultured. In aquacultural terms, does being hermaphroditic represent an advantage or a disadvantage? Did these species acquire an evolutionary advantage by being hermaphroditic? To answer these questions, different studies have focused on identifying models that explain the details of sex change. In some organisms, this sexual transition occurs due to growth, survival, and reproductive trade-offs (Schärer 2009).

The evolution of hermaphroditism has been explained by two primary hypotheses: the low-density model for simultaneous hermaphroditism and the size-advantage model for sequential hermaphroditism (Ghiselin, 1969). The size advantage model best explains sequential hermaphroditism, which predicts that sex change will occur when the reproductive success of one sex increases with size or age (Bonduriansky 2014; Kazancıoğlu & Alonzo 2010; Réale *et al.* 2010; Warner 1975). In the case of simultaneous hermaphroditic species, the low-density model best explains it, suggesting that this sexual system is associated with the low probability of finding a mate (Ghiselin 1969; Tomlinson 1966). It is suggested in a phylogenetic context that the efficiency of an organism in the search for a mate may influence the evolution of its reproductive system, meaning that, in sessile organisms or organisms with little movement and even with free movement, reproduction could represent a disadvantage for their species, given the high energetic costs in their search for a mate; that is why hermaphroditism

can ensure reproduction, avoiding the loss of time, both in the search for food and in the search for a mate (Puurttinen 2002).

There is no information to help us understand the evolution of sexual systems. However, it is suggested that they could be sensitive to ecological factors, such as population density, encounter probability, or reproductive life span, among others (William 1975). A plausible evolutionary sequence for transitions between these reproductive systems in animals is lacking, proposing that sex change in metazoans results from reproductive selection where the genotype may produce different phenotypes in response to different environmental conditions, propitiating greater reproductive success (Leonard 2013). It is suggested that sexual systems are evolutionarily ancient and have been stable across hundreds of millions of years and various ecological conditions. However, what factors contribute to this stability is unclear, and the evolutionary pathways leading from gonochorism to the different types of hermaphroditism are unclear (Leonard 2013). It has been suggested that sex role in sequential hermaphrodites may be a purely behavioral choice and may involve a single-sex change or more than one, depending on environmental variables. It is not characteristic of phyla or classes but is characteristic of many fish families (Delph 2009; Leonard 2018).

In the case of protandric fish, sex change occurs in social, polygamous species. It is widespread in 15 fish families, where large males use aggressive territorial defense to monopolize mating with females, leaving small males at a reproductive advantage, which leads them to protogyny selection, initially reproducing as females while small, increasing their reproductive success throughout their lives by changing sex to male, and reproducing with multiple females later in life as they reach larger size (Warner 1984; Warner & Swearer, 1991). In sea bass (*Dicentrarchus labrax*), dominant males defend spawning grounds, and the loss of spawning stimulates sex change,

which is usually carried out by the largest female in the social group, involving drastic changes in behavior, anatomy, and coloration (Warner & Swearer 1991). In these fish, the change may depend on age, sex, density, and sex ratio at spawning (Bhandari *et al.* 2003). Six families of fish are included in protandric species, where sex change is less well explained and understood. Since these species lack a defined social structure, it is not known what triggers sex change. It is generally associated with monogamous or random mating species without male territory defense or sperm competition. Sex change is adaptive because of the positive relationship between female fecundity and body size, so the timing of sex change should maximize reproductive success. Female fertility is thought to increase more rapidly with size than for males, and larger females tend to have greater reproductive success than males of the same size; thus, it is more beneficial for individuals to reproduce as males while they are small and as females when they are larger. Here, it is unclear whether the sex change is driven by the age or size of the fish (Guiguen *et al.* 1994; Kazancioğlu & Alonzo 2010; Munday *et al.* 2006; Thomas *et al.* 2018; Warner 1975).

It has been documented that hermaphroditism in the freshwater environment occurs in 3% of the species, considering that half of the fish species are distributed in this environment, the cause of this fact being unknown. However, the explanations for this phenomenon lie in morphological aspects, with freshwater fish spawning a few large demersal eggs. In contrast, marine fish produce hundreds to millions of small pelagic eggs (Freedman & Noakes 2002), affecting differences in reproductive success between the sexes. Thus, hermaphroditism in freshwater environments is not favored (Sadovy & Liu 2008).

Among coastal and bottom-dwelling fish species that show protandry, such as some sparids, *Centropomus undecimalis*, and *Lates calcarifer*, relatively little is known about their social and mating systems, but mating is

considered random. They are species that live in large schools, and it is inferred that higher fecundity associated with larger female size could be important, as well as anemonefishes that also exhibit protandry; the largest fish is a female that seems to take advantage of the general relationship in female fishes between large size and high fecundity and habitat confinement to a single breeding pair (Warner 1984). Other studies reveal that different sexual systems exhibit vital strategies that allow species with sequential hermaphroditism to maximize fitness as second sex (Benvenuto *et al.* 2017), especially protogynous species (Pla *et al.* 2021).

Sex control is one of aquaculture research's most essential and targeted areas due to its impact on brood production, productivity, and economics (Budd *et al.* 2015). Different sexual systems represent an adaptive advantage, reinforced by their extraordinary and unique developmental plasticity (Uller *et al.* 2020). Therefore, hermaphroditism must be addressed from the reproductive perspective and differentiated growth and behaviors of both sexes, as all these issues impact production outcomes. In aquaculture, breeding species that present the hermaphrodite condition is not entirely disadvantageous. While it is difficult to have an all-male or all-female population in captivity for reproduction, it is also possible to achieve early switching by hormonal therapies, maximizing the use of aquaculture facilities without having to wait for the switch to occur naturally. Being mainly pelagic spawning species, fecundity is high, and therefore, a female, even a small one, can produce enough viable eggs to make the space efficient. As a personal experience, it can be mentioned that in the case of common snook (*Centropomus undecimalis*), a female of 2 to 5 kg in weight can produce around 1 million eggs per kilogram; therefore, early sexual reversion allows females of 500 g to produce up to half a million eggs in one spawning. In

the case of barramundi, a hermaphroditic species widely cultured in Southeast Asia and Australia, breeding females are extremely valuable due to both the maintenance required and the extensive waiting time until a fish changes sex (approximately four or more years of age) in addition to the high fecundity of females of the species (2-32 million eggs depending on size (Budd *et al.* 2015).

Other advantages of hermaphroditism in aquaculture are related to physiological differences between sexes. Among these differences can be considered those species where one sex presents a higher growth rate. If this is the case, maintaining populations composed of organisms of the sex with this advantage would be a successful strategy for fattening. In case the second sex (obtained by sex change) is the one with this advantage, early induction to the higher-growing sex can be a valuable tool to achieve good growth performance.

It is well known that aggressive behavior in fish tends to be associated with either sex, sometimes in defense of food, territory, the nest, or the mate. These aggressive behaviors tend to depress production in aquaculture facilities, generating groups of dominant fish with higher growth and subordinate fish with low growth (Arnott & Elwood, 2009; Damsgård *et al.* 2012). This can be avoided by selecting the sex that does not exhibit these behaviors, allowing for higher production.

Groupers and snook are hermaphroditic fish groups with great potential in aquaculture. However, more information is needed on the proper management of the sex that presents the most significant benefit to producers; whether for higher gamete procurement or better growth performance, well-managed hermaphroditism will be an advantageous tool for the industry.

Literature cited

- Arnott G & Elwood RW (2009) Gender differences in aggressive behaviour in convict cichlids. *Animal Behaviour* 78(5):1221–1227. doi:10.1016/j.anbehav.2009.08.005
- Benvenuto C, Coscia I, Choquet J, Sala-Bozano M & Mariani S (2017). Ecological and evolutionary consequences of alternative sex-change pathways in fish. *Scientific Reports* 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09298-8>
- Bhandari RK, Komuro H, Nakamura S, Higa M & Nakamura M (2003). Gonadal Restructuring and Correlative Steroid Hormone Profiles during Natural Sex Change in Protogynous Honeycomb Grouper (*Epinephelus merra*). *Zoological Science*, 20(11), 1399–1404. <https://doi.org/10.2108/zsj.20.1399>
- Bonduriansky R (2014) Sexual conflict, life span, and aging. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 6(8). <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a017566>
- Budd AM, Banh QQ, Domingos JA & Jerry DR (2015) Sex control in fish: approaches, challenges and opportunities for aquaculture. *Journal of Marine Science and Engineering* 3(2):329-355.
- Capel B (2017) Vertebrate sex determination: Evolutionary plasticity of a fundamental switch. *Nature Reviews Genetics* 18(11):675–689. <https://doi.org/10.1038/nrg.2017.60>
- Chong T, Collins JJ, Brubacher JL, Zarkower D & Newmark PA (2013) A sex-specific transcription factor controls male identity in a simultaneous hermaphrodite. *Nature Communications* 4. <https://doi.org/10.1038/ncomms2811>
- Davison A (2006) The ovotestis: An underdeveloped organ of evolution. In *BioEssays* (Vol. 28, Issue 6, pp. 642–650). <https://doi.org/10.1002/bies.20424>
- Damsgård B & Huntingford F (2012) Fighting and Aggression. *Aquaculture and Behavior* 248–285. doi:10.1002/9781444354614.ch9.
- Delph LF (2009) Sex Allocation: Evolution to and from Dioecy. In *Current Biology* (Vol. 19, Issue 6). <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.01.048>
- Freedman AA & Noakes DLG (2002) Why are there no really big bony fishes? A point-of-view on maximum body size in teleosts and elasmobranchs. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 403–416.
- Ghiselin MT (1969) The evolution of hermaphroditism among animals. *The Quarterly Review of Biology* 44:189–208. <http://www.journals.uchicago.edu/t-and-c>
- Guiguen Y, Cauty C, Fostier A, Fuchs J & Jalabert B (1994) Reproductive cycle and sex inversion of the seabass, *Lates calcarifer*, reared in sea cages in French Polynesia: histological and morphometric description. *Environmental Biology of Fishes* 39:231–247.
- Heule C, Göppert C, Salzburger W, & Böhne A (2014) Genetics and timing of sex determination in the East African cichlid fish *Astatotilapia burtoni*. *BMC Genetics* 15(1). <https://doi.org/10.1186/s12863-014-0140-5>
- Kazancıoğlu E & Alonzo SH (2010) A comparative analysis of sex change in *Labridae* supports the size advantage hypothesis. *Evolution* 64(8):2254–2264. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2010.01016.x>
- Kiontke K, Gavin NP, Raynes Y, Roehrig C, Piano F & Fitch DHA (2004) Caenorhabditis phylogeny predicts convergence of hermaphroditism and extensive intron loss. *PNAS* 101(24): 9003–9008. www.treebase.org.
- Kuwamura T, Sunobe T, Sakai Y, Kadota T & Sawada K (2020) Hermaphroditism in fishes: an annotated list of species, phylogeny, and mating system. *Ichthyological Research* 67:341-360.

- Le Page Y, Diotel N, Vaillant C, Pellegrini E, Anglade I, Mérot Y & Kah O (2010) Aromatase, brain sexualization and plasticity: The fish paradigm. *European Journal of Neuroscience* 32(12):2105–2115. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2010.07519.x>
- Leonard JL (2013) Williams' paradox and the role of phenotypic plasticity in sexual systems. *Integrative and Comparative Biology* 53(4):671–688. <https://doi.org/10.1093/icb/ict088>
- Leonard JL (2018) The Evolution of Sexual Systems in Animals. In *Transitions Between Sexual Systems* (pp. 1–58). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94139-4_1
- Munday PL, Buston PM & Warner RR (2006) Diversity and flexibility of sex-change strategies in animals. In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 21, Issue 2, pp. 89–95). <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.10.020>
- Pla SQ (2019) Evolutionary transitions, environmental correlates and life-history traits associated with the distribution of the different forms of hermaphroditism in fish [Tesis doctoral]. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Pla S, Maynou F & Piferrer F (2021) Hermaphroditism in fish: incidence, distribution and associations with abiotic environmental factors. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 31(4):935–955. <https://doi.org/10.1007/s11160-021-09681-9>
- Puurtinen M (2002) Mate Search Efficiency Can Determine the Evolution of Separate Sexes and the Stability of Hermaphroditism in Animals. *The American Naturalist* 160(5):665–660. doi: 10.1086/342821. PMID: 18707514
- Réale D, Garant D, Humphries MM, Bergeron P, Careau V & Montiglio PO (2010) Personality and the emergence of the pace-of-life syndrome concept at the population level. In *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* (Vol. 365, Issue 1560, pp. 4051–4063). Royal Society. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0208>
- Sadovy YM & Liu M (2008) Functional hermaphroditism in teleosts. In *Fish and Fisheries* (Vol. 9, Issue 1, pp. 1–43). <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2007.00266.x>
- Schärer L (2009) Tests of sex allocation theory in simultaneously hermaphroditic animals. *Evolution* 63(6):1377–1405. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2009.00669.x>
- Thomas JT, Liu H, Todd EV & Gemmill NJ (2018) Sex change in fish. *Encyclopedia of Reproduction* 192–197. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.20555-4>
- Tomlinson J (1966) The Advantages of Hermaphroditism and Parthenogenesis. *J. Theoret. Biol* 11:54–58.
- Uller T, Feiner, N, Radersma R, Jackson ISC & Rago A (2020) Developmental plasticity and evolutionary explanations. *Evolution and Development* 22(1–2):47–55. <https://doi.org/10.1111/ede.12314>
- Warner RR (1975) The adaptive significance of sequential hermaphroditism in animals. *American Naturalist* 109(965):61–82. <https://doi.org/10.1086/282974>
- Warner RR (1984) Mating Behavior and Hermaphroditism in Coral Reef Fishes. *American Scientist* 72(2):128–136.
- Warner RR & Swearer SE (1991) Social control of sex change in the bluehead wrasse, *Thalassoma bifasciatum* (Pisces: Labridae). *Biological Bulletin* 181(2):199–204. <https://doi.org/10.2307/1542090>
- William GC (1975) Sex and evolution. Princeton University Press.

Spawning Induction, Larviculture and Rearing of Mexican Snook *Centropomus poeyi* (Chávez, 1961) Inducción al desove, larvicultura y cría del róbalo mexicano *Centropomus poeyi* (Chávez, 1961)

María de Jesús Contreras-García¹  | Wilfrido Miguel Contreras-Sánchez¹  | Alejandro Mcdonal-Vera¹  | Leonardo Cruz-Rosado¹ 

¹División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, km. 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas s/n entronque a Bosques de Saloya, C.P. 86039, Villahermosa, Tabasco, México

Corresponding author.

Wilfrido Miguel Contreras-Sánchez. Laboratorio de Acuicultura Tropical, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Km. 0.5 Villahermosa-Cárdenas, Entronque a Bosques de Saloya, PC 86039, Tabasco, México. Email: contrerw@hotmail.com.


Cite: Contreras-García MJ, Contreras-Sánchez WM, Mcdonal-Vera A, Cruz-Rosado L (2024) Spawning Induction, Larviculture and Rearing of Mexican Snook *Centropomus poeyi* (Chávez, 1961). Tropical Aquaculture 2 (1): e5729. DOI 10.19136/ta.a2n1.5729

Article Received: 03 December 2023

Article Revised: 03 March 2024

Article Accepted: 22 March 2024

License creative commons:

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

Abstract

The Mexican snook (*Centropomus poeyi*) constitutes an essential artisanal fishery in coastal areas of Mexico containing rivers that discharge into the Gulf of Mexico, and it is considered overfished in general; therefore, aquaculture can provide alternatives to this situation. Induced spawning and Larviculture have been developed in our laboratory for this critical endemic species. Using cholesterol-cellulose implants with LHRH-a, spawning is initiated 30 hours after implantation. A total of 9.5 million fertilized eggs were collected, averaging 700.35 µm in diameter. The fertilization rate was 90%, and the hatching rate was 85%. Two hundred thirteen thousand fish were fed according to a protocol generated for this species, using microalgae, rotifers, and *Artemia* nauplii. Weaning is initiated 15 days post-hatching using a co-feeding regime combining live food and inert diets designed for marine fish. Survival at the end of the larval period was 1.8%, with fish feeding exclusively on artificial food and acclimated to freshwater.

Keywords: induced reproduction, larviculture, *Centropomus poeyi*

Resumen

El róbalo mexicano (*Centropomus poeyi*) constituye una pesquería artesanal esencial en las zonas costeras de México conformadas por ríos que desembocan en el Golfo de México, y se considera sobreexplotada en general; por lo tanto, la acuicultura puede proporcionar alternativas a esta situación. En nuestro laboratorio se ha desarrollado el desove inducido y la larvicultura para esta especie endémica crítica. Utilizando implantes de colesterol-celulosa con LHRH-a, el desove se inicia 30 horas después de la implantación. Se recogieron un total de 9.5 millones de huevos fecundados, con un diámetro promedio de 700.35 µm. La tasa de fecundación fue del 90% y la de eclosión del 85%. Doscientos trece mil peces fueron alimentados según un protocolo generado para esta especie, utilizando microalgas, rotíferos y nauplios de *Artemia*. El destete se inició 15 días después de la eclosión utilizando un régimen de alimentación conjunta que combinaba alimento vivo y dietas inertes diseñadas para peces marinos. La supervivencia al final del periodo larvario fue del 1.8%, con peces alimentados exclusivamente con alimento artificial y aclimatados a agua dulce.

Palabras clave: reproducción inducida, larvicultura, *Centropomus poeyi*

Introduction

In recent years, aquaculture has emerged as a viable alternative for massive production of good quality and low-price aquatic products (Greaves 2015). In addition, the industry promotes employment while improving access to healthy foods. For many years, fisheries were considered an unlimited source of resources, but capture statistics show that several fisheries have collapsed in recent decades while others are under extreme pressure (FAO 2011). Estimates for the human population indicate a 27% increase by 2050 concerning 2005, implying an enormous demand for food (Norzagaray et al. 2012), and aquaculture is considered a competitive response. In Mexico, nearly 80% of aquaculture is conducted in extensive systems. After shrimp farming, the most developed practice in our country mainly involves introducing freshwater species (tilapia, trout, and carp) in low-productivity systems (Norzagaray et al. 2012).

Several snook species constitute a crucial artisanal fishery in the Gulf of Mexico. These popular fish are in high demand as a food item, reaching high prices in local markets. Unfortunately, complications in identifying reported catches cause capture production to be combined under the generic name of “snooks.” Recently, several reports have warned about the decline in snook catches in the Gulf of Mexico, including a decrease in volumes declared by Mexico (FAO 2011 and Chávez-Caballero 2014). Therefore, something needs to be done to support snook populations on the Mexican coasts, and aquaculture can be a significant ally. The potential for snook aquaculture has been highlighted by several authors, with emphasis on *C. undecimalis* and *C. parallelus* (Zarza et al. 2006, Álvarez-Lajonchère

and Tsuzuki 2008, Yanes-Roca et al. 2009; Cerqueira and Tsuzuki 2009, Ibarra-Castro et al. 2011, Contreras-García et al. 2015). However, *C. poeyi* also has traits (large size, high tolerance to handling, grow-out in a wide range of salinities, and fast growth) that make it a good candidate for farming. This species, locally known as “robalo prieto”, is endemic and occurs only in watersheds discharging to the Gulf of Mexico, from Tampico, in the state of Tamaulipas, to the Términos Lagoon, in the state of Campeche (Chávez 1961 and 1963). It is a carnivorous species, reaching sizes above 100 cm and weighing beyond 14 Kg (Lorán-Núñez et al. 2012). Very little is known about its biology or population status, to the point of being listed by the IUCN under the “data deficient” category (Dooley et al. 2015). Regarding reproduction, all snooks are considered protandric hermaphrodites (Álvarez-Lajonchère and Tsuzuki 2008), a condition properly described only for *C. undecimalis* (Taylor et al. 2000). In the case of *C. poeyi*, we have histological evidence that confirms protandry (unpublished data).

To incorporate snooks into aquacultural practices, we initiated a program at the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco Marine Aquaculture Station (MAS) to develop protocols for spawning induction and larval rearing.

Materials and methods

Spawning induction

Wild broodstock was captured using gill nets placed near the mouth of the Gonzalez River in Tabasco, Mexico, and kept in captivity at the

MAS for four years before the first spawning. Fish were fed to satiation daily with commercial food (Fish Breed-m[®], INVE Aquaculture, Inc.) and frozen fish portions. During the spawning season, the fish were anesthetized with clove oil (0.015 mL/L) once a month and checked for maturity. One female was selected for induction after oocyte diameter and maturity stage were determined by taking oocytes from the genital pore with a polyethylene cannula. Oocytes were $350 \pm 32 \mu\text{m}$ in diameter. The mature female (4.69 Kg) and two males (3.89 and 2.87 Kg) with running milt were implanted with LHRH-a handmade cholesterol-cellulose implants (100 μg for males and 200 μg for females) in the body cavity near the pectoral fin (Contreras-Sánchez *et al.* 2012). Afterward, fish were placed in a 12.5 m³ tank where salinity (28 ± 0.58 UPS), temperature (29.1 ± 1.35 °C), oxygen (5.12 ± 0.49 mg/L), and pH (8.25 ± 0.02) were monitored three times a day.

Egg incubation and larviculture

After spawning, five random samples of 100 eggs were collected to determine the fertilization rate. Five water samples containing eggs were placed in glass flasks to determine the hatching rate. A sample of eggs was collected using a 400 μm soft mesh and transferred to the Tropical Aquaculture Laboratory in Villahermosa, Tabasco. To assess the feeding protocol, two 500-L tanks connected to a recirculation system were stocked with 213 larvae/L (213,000 larvae total). We followed the feeding regime used in our laboratory for *C. undecimalis* (Contreras-Sánchez *et al.* 2012) with some modifications. Briefly: Tanks were filled with saltwater and stocked with a mix of the green microalgae *Tetraselmis chuii*, *T. suecica*, and

Nannochloropsis oculata ($2 \cdot 4 \cdot 10^5$ cells/mL). Rotifer supplementation was initiated with *Brachionus rotundiformis* at 20 org/mL; at day 11, the density was decreased to 15 org/mL, and *B. plicatilis* was added at a density of 15 org/mL making a total of 30 rotifers/mL until day 22. At day 13, *Artemia* nauplii were added to the mix at a rate of 30 org/mL until day 22. Rotifers and *Artemia* nauplii were enriched with Selco S.presso[®] (INVE Aquaculture Inc.) for 12 and 20 hours, respectively. At day 15, adaptation to the intake of commercial feed was initiated using INVE O.range START-L (200-300 μm , proximate composition: 56% proteins, 13% lipids, 10% ashes, 0.7% fiber). O.range GROW-S (300-500 μm) and O.range GROW-L (500-800 μm) were added on days 23 and 34, respectively (Fig.1). Photoperiod was kept constant at 12 L: 12 D, and the fish were maintained in these conditions for 45 days. Salinity (30.00 ± 0.15 UPS), temperature (28.13 ± 1.17 °C), DO (5.70 ± 0.63 mg/L), ph (7.98 ± 0.18 IU) ammonia (1.15 ± 0.78 mg/L) nitrites (1.75 ± 1.50 mg/L) and nitrates (129.60 ± 47.50 mg/L) were monitored daily. Fifty percent of the water was exchanged daily from the tanks by siphoning from the bottom.

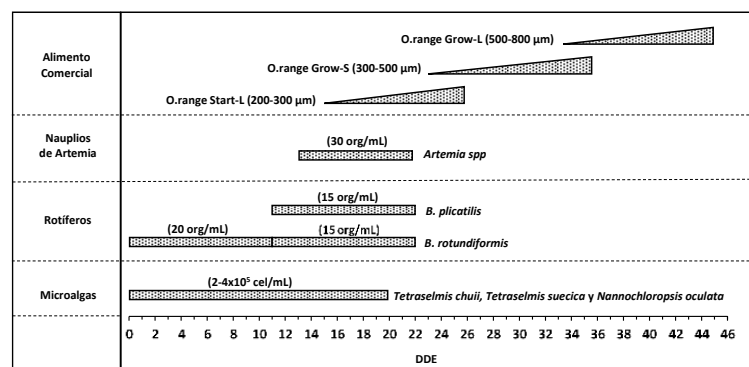


Figure 1. Feeding protocol implemented for rearing *C. poeyi* larvae and juveniles. Tanks were prepared with microalgae and rotifers since the first day. Commercial feeds were provided *ad libitum*. Bars indicate fixed amounts, while triangles reflect increasing amounts by demand.

Results

Spawning is initiated 30 hours after the injection of implants. A total of 9.5 million eggs were collected, with a fertilization rate of 90%. The average diameter of the fertilized eggs was 700.35 μm (\pm 24.16). Hatching is initiated 20 hours post fertilization, with a fertilization rate of 85 %. The length of the recently hatched larvae was 1.80 mm (\pm 0.22).

During the first week, larvae were distributed along the water column; however, it was common to see aggregates near the light sources. By day seven, the larvae tended to aggregate at the bottom of the tank. On day 15, we noticed a distinctive change in the swimming pattern since all fish in the tank passed from linear, slow, and short to circular, fast, and non-stopping. This rapid change in swimming was considered a migratory swimming pattern, so we decided to gradually change the salinity in the tank by 5 UPS/day until 0 UPS was reached. It was expected to observe a few fish (generally the largest) swimming in the opposite direction than the rest of the group. From day one to 30, we recommend avoiding any manipulation of the larvae since immediately after capture, the larvae curve their bodies and die. At the end of the trial, 4,140 juveniles were obtained. Total length and wet weight averaged 18.0 \pm 0.49 mm and 1.02 \pm 0.23 g, respectively. Survival at day 45 was 1.8 %.

Discussion

Reproduction of *C. poeyi* in captivity requires the stimulus provided by the hormone implanted to spawn since this specific female was in captivity for four years with no

indication of maturation. A year before, another female responded to the stimulus (data not shown). A similar situation was reported for *C. undecimalis*, which requires three years in captivity before responding to induction (Ibarra-Castro *et al.* 2011 and Contreras-García *et al.* 2015). This information supports the idea presented by Donaldson and Hunter (1983) and Schreck *et al.* (2001), proposing that the stress generated by the culture conditions induces a generalized response in the fish that inhibits or disables the reproductive process. Apparently, *C. poeyi* requires at least three years of conditioning to the confinement to recover from the initial stress of captivity.

Data obtained in the present trial indicate that fertilization and hatching rates for *C. poeyi* improved considerably in comparison to those previously obtained in our laboratory for *C. undecimalis* (60-76 % and 50-100 %, respectively) (Contreras-García 2011, Contreras-García *et al.* 2015 and Contreras-García *et al.* 2020). We consider that this improvement is due to the modifications to the feeding protocol and the incorporation of embryo and water management methods from Ibarra-Castro *et al.* (2012). In the common snook (*C. undecimalis*), several studies have reported spawning induction with fertilization rates varying from 6% (Soligo 2007) to 100% (Ibarra-Castro *et al.* 2011). While in fat snook (*C. parallelus*), fertilization rates fluctuate from 70 to 93 % (Godinho *et al.* 2000; Ferraz *et al.* 2004; dos Reis and Cerqueira 2003; Cerqueira and Tsuzuki 2009). Ibarra-Castro *et al.* (2011) compared results obtained during larval culture of three snook species, including barramundi. The review reported survival rates ranging from 1.0 to 50.7 % for common snook, 1.9 to 4.4 % for fat snook, and 20 to 90 % for barramundi. In the present study, we obtained

1.8 % survival after 45 days, and most of the mortality occurred during the change to exogenous feeding. A similar situation was reported for the common snook (Ibarra-Castro *et al.* 2011). The survival rate can be improved with experience and more careful observation of the larvae and juvenile requirements. In general, the larval culture of snooks is complicated; instant mortality occurs if larvae from one to 25 days post-hatching (dph) are manipulated. Stress during early development plays a vital role in this sudden mortality, and more research needs to be conducted to understand this event.

C. poeyi responds adequately to the implanted LHRHa dose, providing a large number of eggs (more than two million eggs per kilogram of female). The use of LHRHa for inducing spawning has been successful in *C. parallelus* (dos Reis and Cerqueira 2003) and *C. undecimalis* (Soligo *et al.* 2008), demonstrating that this specific hormone is a good alternative for planning the production of viable eggs of the Mexican snook. The dose used for the female (42.6 µg/Kg) effectively induced final maturation and spawning, falling in the range of dosages used for inducing Centropomids to spawn (20-70 µg/Kg) (dos Reis and Cerqueira 2003).

In general, the larval culture of marine fish species is a complex and labor-intensive operation. Cannibalism is a standard process in carnivorous species and is considered one of the leading causes of mortality (Atencio-García and Zaniboni-Filho 2006). Feeding the correct prey size at the proper amount is a crucial factor. In previous studies, we have supplemented *C. undecimalis* and *C. parallelus* with *B. rotundiformis* and *B. plicatilis* before supplementing *Artemia* nauplii (Contreras-Sánchez *et al.* 2012). Unfortunately, more

research is needed since larvae do not always feed on this prey, resulting in 100% mortality (data not published). A significant modification to the protocol previously designed for culturing *C. undecimalis* larvae included the timing for adaptation to freshwater. In *C. undecimalis*, the fast swimming that we have named “migration pattern” occurs at 30 dph, almost at the end of larval culture, while in *C. poeyi*, this pattern occurs at 15 dph. This behavior may reflect the natural life history of *C. poeyi* since this species resides in freshwater lagoons and rivers most of the time, swimming out to the Gulf of Mexico only for the spawning event (Chávez-Lomelí *et al.* 1989, Lorán-Núñez *et al.* 2012). We observed more reluctance from *C. poeyi* to consume commercial food, taking 11 days more than *C. undecimalis* to start inert food intake. Our contribution demonstrates that *C. poeyi* spawning induction and larval culture is feasible, making it a good candidate for aquacultural practices in Mexico.

Conclusions

This study provides new insights regarding induced spawning and caring for *C. poeyi* larvae. These techniques enhance the potential for juvenile production in a species poorly managed in captivity. This species requires at least three to four years in captivity to respond to hormonal stimuli for reproduction. Compared to other snook species, the juveniles require less time in marine water, moving into freshwater. More studies are needed to further increase larval and juvenile survival to promote massive production of juvenile *C. poeyi* for aquaculture.

Acknowledgements

This research is a component of the AquaFish Innovation Lab, which is partly supported by the US Agency for International Development (USAID CA/LWA No. EPP-A-00-06-0012-00), and in part by participating institutions. AquaFish accession number is 1474. The opinions expressed herein are those of the

authors and do not necessarily reflect the views of the AquaFish Innovation Lab or USAID. This study was also partially supported by the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Literature cited

- Álvarez-Lajonchère L, Tsuzuki MY (2008) A review of methods for *Centropomus spp.* (snooks) aquaculture and recommendations for the establishment of their culture in Latin America. *Aquaculture Research* 39: 684-700.
- Atencio-García VJ, Zaniboni-Filho E (2006) El canibalismo en la larvicultura de peces. *Revista MVZ Córdoba* 11: 9-19.
- Cerqueira VR, Tsuzuki MY (2009) A review of spawning induction, larviculture, and juvenile rearing of the fat snook, *Centropomus parallelus*. *Fish Physiol Biochemistry* 35,17–28.
- Chávez H (1961) Estudio de una nueva especie de robalo del Golfo de México y redescipción de *Centropomus undecimalis* (Bloch Pisces, Centropomidae) *Ciencia* 21: 75–83.
- Chávez H (1963) Contribución al conocimiento de la biología de los robalos, chucumite y constantino (*Centropomus spp.*) del Estado de Veracruz. *Ciencia* 22: 141–161.
- Chávez-Caballero V, Lorán-Nuñez RM, Gómez-Ortiz MG, Garduño-Dionate M, Martínez-Isunza FR (2014) Robalo del Golfo de México *Centropomus undecimalis*, *Centropomus poeyi* and *Centropomus parallelus*. in: Beléndez-Moreno LFJ, Espino-BarrE, Galindo-Cortes G, Gaspar-Dillanes MT, Huidobro-Campos L, Morales-Bojórquez E: Sustentabilidad and Pesca Responsable en México evaluación y Manejo (pp. 211-241). (Eds). México. Instituto Nacional de Pesca.
- 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. Villahermosa, México: INIREB/FUCID.
- Contreras-García MJ (2011) Inducción de la reproducción en *Centropomus undecimalis* y *Centropomus parallelus* bajo condiciones de cautiverio empleando inyecciones e implantes de GnRH-a. (Unpublished master's thesis) Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco.
- Contreras-García MJ, Contreras-Sánchez WM, Mcdonal-Vera A, Hernández-Vidal U, Cruz-Rosado L (2020). Reproducción inducida del robalo chucumite (*Centropomus parallelus*) en Tabasco, México. *AquaTIC*, núm. 56: 15-25,
- Contreras-García, MJ, Contreras-Sánchez WM, Hernández-Vidal U, Mcdonal-Vera A (2015) Induced spawning of the common snook, *Centropomus undecimalis*, in captivity using GnRH-a implants. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2:357-362.

- Contreras-Sánchez WM, Contreras-García MJ, Mcdonal-Vera A, Hernández-Vidal U, Cruz-Rosado L, Martínez-García R (2012) Manual para la producción de robalo blanco (*Centropomus undecimalis*) en cautiverio (1ra ed), Tabasco, México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Donaldson, E. M., & Hunter, G. A. (1983). Induced final maturation, ovulation, and spermiation in cultured fish. In W.S Hoar & D.J Randall (Ed). Fish Physiology, (pp. 351-403). San Diego, California. Academic Press Inc.
- Dos Reis MA, Cerqueira VR (2003) Indução de desova do robalo-peva *Centropomus parallelus* Poey 1860, com diferentes doses de LHRHa. Acta Scientiarum Animal Sciences 25: 53-59.
- Dooley J, Collette B, Aiken KA, Oxenford H, Marechal J, Pina Amargos F, Robertson R, Kishore R, Singh-Renton S (2015) *Centropomus poeyi*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015. doi:10.2305/IUCN.UK.2015-2.RLTS.T191834A2007184.en.
- FAO (Food and Agricultural Organization) (2011). Review of the state of world marine fishery resources-western Central Atlantic. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 569. Rome, Italy: FAO
- Ferraz ME, Alvarez-Lajonchère L, Cerqueira RV, Candido S (2004). Validation of an ovarian biopsy method for monitoring oocyte development in the fat snook, *Centropomus parallelus* Poey, 1860 in captivity. Brazilian Archives of Biology and Technology 4: 643-648.
- Godinho HM, da Silva Serralheiro PC, de Medeiros Ferraz E, Pimentel CMM, da Rocha Oliveira I, de Paiva P (2000) Reprodução induzida em robalo *Centropomus parallelus* Poey, 1860. Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science 37: 37-42.
- Greaves FN (2015) La acuicultura: una alternativa para garantizar una seguridad alimentaria sustentable. Hospitalidad ESDAI, 28, 78 p.
- Ibarra-Castro L, Alvarez-Lajonchère L, Rosas C, Palomino-Albarrán IG, Holt GJ, Sanchez-Zamora A (2011) GnRH α -induced spawning with natural fertilization and pilot-scale juvenile mass production of common snook, *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792). Aquaculture 319: 479-483.
- Ibarra-Castro L, Muñoz-Meza LE, Álvarez-Lajonchère L (2012) Estudios sobre el manejo e incubación de huevos del pargo flamenco *Lutjanus guttatus* (Pisces, Lutjanidae). Hidrobiológica 22: 49-57.
- Lorán-Núñez RM, Martínez-Isunza FR, Valdez-Guzmán AJ, Garduño-Dionate M, Martínez-Lorán ER (2012) Reproducción y madurez sexual del robalo prieto (*Centropomus poeyi*) y robalo blanco (*C. undecimalis*) en el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz (2005-2007). Ciencia Pesquera 20: 49-64.
- Norzaragay CM, Sevilla PM, Velasco LS, Filograsso LC, Cárdenas OL (2012). Acuicultura: estado actual y retos de la investigación en México. Revista AquaTIC 37: 20-25.
- Schreck CB, Contreras-Sanchez W, Fitzpatrick MS (2001) Effects of stress on fish reproduction, gamete quality, and progeny. Aquaculture 197: 3-24.
- Soligo AT (2007) Primeiras experiencias com a reproducao, larvicultura e desmame do robalo-flecha, *Centropomus undecimalis* no Brasil. (Unpublished master's thesis) Florianópolis, Brazil: Universidad Federal de Santa Catarina.
- Soligo TA, Ferraz EM, Cerqueira VR, Tsuzuki MY (2008) Primeira experiência de indução hormonal, desova e larvicultura do robalo-flecha, *Centropomus undecimalis* no Brasil. Cyrino JEP, Scorvo FJD,

Sampaio LA, Cavalli RO. Tópicos Especiais em Biologia Aquática e Aquicultura. 2a, Ed. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática. pp, 143-151. f






Taylor RG, Whittington JA, Grier HJ, Crabtree R E (2000) Age, grow, maturation, and protandric sex reversal in common snook, *Centropomus undecimalis*, from the east and west coasts of South Florida. Fish Bulletin 98: 612-624.

Yanes-Roca C, Rhody N, Nystrom M, Main KL (2009) Effects of fatty acid composition and spawning season patterns on egg quality and larval survival in common snook (*Centropomus undecimalis*). Aquaculture 287: 335-340.

Zarza-Meza EA, Berruecos-Villalobos JM, Vásquez-Peláez C, Álvarez-Torre P (2006) Cultivo experimental de robalo *Centropomus undecimalis* y chucumite *Centropomus parallelus* (Perciformes: Centropomidae) en estanques rústicos de tierra. Ciencias marinas 32: 219-227.

Behavioral repertoire of *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) reared in captivity and its implication for welfare protocols

Repertorio conductual de *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) criado en cautiverio y su implicación en los protocolos de bienestar

Alessandra Ecurra-Alegre^{1,2,3} | Fritz A. Francisco^{3,4}  | Fabian Schäfer²  | Sven Wuertz^{1,2}  | Werner Kloas^{1,2}  | David Bierbach^{1,2,3} 

¹Faculty of Life Sciences, Albrecht Daniel Thaer-Institute of Agricultural and Horticultural Sciences, Humboldt-Universität zu Berlin, Invalidenstrasse 42, 10115 Berlin, Germany

²Department of Fish Biology, Fisheries and Aquaculture, Leibniz-Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries, Müggelseedamm 310, 12587 Berlin, Germany

³Cluster of Excellence 'Science of Intelligence', Technical University of Berlin, Marchstrasse 23, 10587 Berlin, Germany

⁴Department of Biology, University of Massachusetts Boston, 100 Morrissey Boulevard Boston, MA 02125, USA


Corresponding author. David Bierbach. Faculty of Life Sciences, Albrecht Daniel Thaer-Institute of Agricultural and Horticultural Sciences, Humboldt-Universität zu Berlin, Invalidenstrasse 42, 10115 Berlin, Germany. Email: david.bierbach@hu-berlin.de

Cite: Ecurra-Alegre A, Francisco FA, Schäfer F, Wuertz S, Kloas W, Bierbach D (2024) Behavioral repertoire of *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) reared in captivity and its implication for welfare protocols. *Tropical Aquaculture* 2 (1): e5730. DOI 10.19136/ta.a2n1.5730

Article Received: May 14, 2024

Article Revised: June 09, 2024

Article Accepted: June 27, 2024

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

Abstract

The well-being of farmed fish has gained considerable attention in the last few decades, and finding suitable indicators of fish welfare is particularly challenging assumed the diversity of species, each with unique biological needs and requirements. Understanding the behavioral patterns of farmed fish species is crucial in developing behavior-based measures to maintain their welfare and production. However, there is limited scientific documentation on the behavioral repertoire of *Arapaima gigas*, a commercially valuable and widely farmed species in South America. We provide an ethogram of *A. gigas* when reared in captivity within a recirculating aquaculture system (RAS) indoors. Observations were conducted on a group of adult individuals (one male, two females) kept at the Leibniz Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries in Berlin, Germany. The ethogram describes five main behavioral categories: locomotion, feeding, social interactions, agonistic interactions, and breathing. Notably, *Arapaima* displayed a strong preference for resting motionless, often near a gravel bed area provided inside the rearing tank. Agonistic interactions were rare and mostly initiated solely by the male during feeding sessions. During feeding, pellet food was often picked from the ground, while whole fish feed (dead *Tilapia*) was mostly swallowed immediately from the surface. The male consistently occupied the provided gravel area as its territory, spending most of its time there. With this ethogram, we aim to contribute to the limited behavioral knowledge about *A. gigas*, especially when in captivity. Our findings offer valuable insights into species-specific welfare evaluations and enhancement measures with potential applications in healthy aquaculture practices.

Keywords: induced reproduction, larviculture, *Centropomus poeyi*

Resumen

El bienestar de los peces de cultivo ha sido objeto de considerable atención en las últimas décadas, y la búsqueda de indicadores adecuados del bienestar de los peces es particularmente difícil dada la diversidad de especies, cada una con necesidades y requisitos biológicos únicos. Comprender los patrones de comportamiento de las especies de peces de granjas es crucial para desarrollar medidas basadas en el comportamiento que permitan mantener su bienestar y su producción. Sin embargo, existe poca documentación científica sobre el repertorio conductual de *Arapaima gigas*, una especie de gran valor comercial y ampliamente cultivada en Sudamérica. Presentamos un etograma de *A. gigas* cuando se cría en cautiverio dentro de un sistema de acuicultura de recirculación (RAS) en interiores. Las observaciones se realizaron en un grupo de individuos adultos (un macho y dos hembras) mantenidos en el Instituto Leibniz de Ecología de Agua Dulce y Pesca Continental en Berlín, Alemania. El etograma describe cinco categorías principales de comportamiento: locomoción, alimentación, interacciones sociales, interacciones agonísticas y respiración. En particular, los *Arapaima* mostraron una marcada preferencia por el reposo inmóvil, a menudo cerca de un lecho de grava situado en el interior del tanque de cría. Las interacciones agonísticas fueron escasas y en su mayoría iniciadas únicamente por el macho durante las sesiones de alimentación. Durante la alimentación, el alimento en pellets era a menudo recogido del suelo, mientras que el alimento de peces enteros (*Tilapia* muerta) era en su mayoría tragado inmediatamente de la superficie. El macho ocupó constantemente la zona de grava proporcionada como su territorio, pasando allí la mayor parte de su tiempo. Con este etograma, pretendemos contribuir al limitado conocimiento sobre el comportamiento de *A. gigas*, especialmente en cautiverio. Nuestros hallazgos ofrecen información valiosa para la evaluación del bienestar específico de cada especie y medidas de mejora con aplicaciones potenciales en prácticas de acuicultura saludables.

Palabras clave: arapaima gigante, pirarucu, paiche, bienestar animal, acuicultura, comportamiento.

Introduction

Effective animal welfare requires measurable biological indicators to extract information about individual welfare states (Saraiva *et al.*, 2022). These welfare indicators may rely on observations made (i) on the animals themselves (animal-based), (ii) on the aquatic environment they are reared in (resource-based), or (iii) on the routines and protocols performed on-site (management-based). These three types of data sources provide complementary information about the welfare state of the farmed animals. In particular, difficulties arise in fish due to the multitude of species held in captivity, each with their own specific needs for ensuring their welfare (Macaulay *et al.*, 2020).

Behavior is often the initial and immediate expression of an individual's well-being and, therefore, an essential component of animal-based indicators that further include morphological and physiological components (Saraiva *et al.*, 2022). However, the effective integration of behavioral observations as indicators of stress, health, and well-being requires a comprehensive understanding of the focus species' behavioral repertoire. Knowledge gaps are common and standardized descriptions that can be transferred among farms and facilities, allowing unbiased observations of important behaviors, are scarce.

In the following research, we present a detailed ethological description of the behavior of the giant Arapaima, paiche or pirarucú (*Arapaima gigas*) which may serve as a starting point to facilitate the development of effective

behavior-based welfare indicators for this tropical freshwater fish species.

Arapaima is considered the largest scaled freshwater fish species, reaching lengths of up to three meters and weights of around 200 kg (Arantes *et al.*, 2010; Araripe *et al.*, 2013; Malabarba & Malabarba, 2019). Due to its large size, fast growth rate, robustness, surfacing during air-breathing, and high meat quality (Torati *et al.*, 2016; Ferreira Lima, 2020), *A. gigas* is one of the most overexploited fish species in the Amazon River basin (Castello *et al.*, 2008; Stokes *et al.*, 2021; Ohs *et al.*, 2021), listed on the IUCN Red List of Threatened Species. So far, Arapaima's cultivation has been restricted to earthen ponds where reproduction happens spontaneously but not controlled, usually when waters start to rise. Besides farming, Arapaima meat and adult specimens are offered from illegal fisheries, increasing the pressure on natural stocks and market price too. Furthermore, Arapaima adults and juveniles are not only sought for aquaculture purposes but also for their ornamental value, which increases the pressure on the trade additionally. Introductions of this species for ornamental, recreational and aquaculture projects have been reported in China, Cuba, Mexico, the Philippines, Singapore, Thailand and the USA (Lawson *et al.*, 2015; Torati, 2017; Watson *et al.*, 2021).

Despite early studies on Arapaima's air-breathing characteristics, not much has been scientifically documented regarding additional behavioral patterns. To this end, Lüling (1964) presented a detailed morphological and ecological description of *Arapaima* adults and juveniles from the Peruvian Amazon. Greenwood and Liem (1984) described the breathing mechanics of *A. gigas* juveniles using

high-speed X-ray and light cinematography. Yet further publications focusing on behavioral patterns are scarce until Olsen (2014), who tested synchrony for *Arapaima* juveniles during the day and night, hypothesizing that juveniles in shoals perform synchronized collective breathing bouts as an anti-predation defense mechanism. The breathing bouts and frequencies have further been proposed to help estimate individual abundancies in their natural habitats (Stokes et al., 2021). It is thus apparent that knowledge on *Arapaima* behavior in captivity is restricted to local breeders and farmers as well as zoological gardens and hobbyists and we hereby try to establish the first behavioral description of captive held *Arapaima* in an indoor RAS facility aiming to outline possible behavioral-based indicators of well-being for this species.

Material and Methods

Study organisms and maintenance

Our observational study took place between September 2021 and March 2022. We used adult *A. gigas* kept at the animal care facilities of the Leibniz Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries Berlin (IGB) that were obtained from local breeders in Iquitos (Peru) in 2009. Observations took place in a large indoor tank (8m x 3.4m x 1.2m; water level ~ 1m) that was covered with mesh to prevent fish from jumping out. To enrich the tank structure, gravel (0.5 cm to 2 cm stone size) was added on one side of the tank (25 cm in height, 2.5 m in length, 2.0 tons in total) over a geomembrane to simulate the substrate found in their natural habitat. Once the water (18 m³) was clear and gravel was in place, three individuals: two females (45 kg and 47.4 kg)

and one male (39.4 kg, Fig. 1) were introduced and no food was offered for one week. We determined sexes using molecular methods developed by our department and described in Adolfi *et al.*, 2021 (see also López-Landavery *et al.*, 2022 for a similar approach). Animals could be identified during the observations by characteristic structures on their heads and fins, with the male being more reddish at the caudal body end.

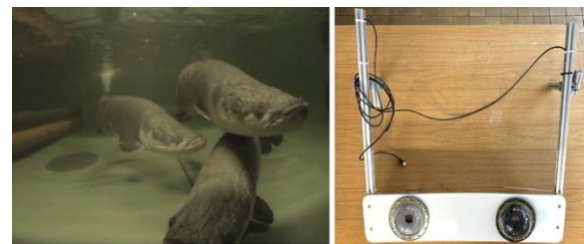


Figure 1. Adult *Arapaima gigas* in their observation tank (left) and the underwater camera setup used for behavioral recordings (right). On the left, a snapshot of a GoPro video showing the gravel area (on the left, behind a barrier to prevent the spread of gravel stones throughout the tank) that was added to enrich the holding environment during the observation period. The upper individual is the male individual. On the right, a picture of the stereo GoPro setup used for the underwater recordings. Note that GoPros were powered externally via cable to prevent battery overheating.

In order to simulate natural rainy season conditions and thus may induce reproductions (Escudero & De la Vega, 2024) we added deionized water and heated up the holding tank. Water temperature was initially at 23.9°C and gradually increased to 30°C over eighteen weeks. Physicochemical parameters were evaluated at the beginning and end of each week. Conductivity and pH were lowered from 1538 μ S/cm to 440 μ S/cm and 8.03 pH to 7.5 pH (Chu-Koo *et al.*, 2017; Halverson, 2013) during the observation period.

After the first week, fish were fed five days a week between 11:00 h and 12:00 h for twenty-

two weeks, two days with dry food (1 kg per day) and three days with frozen tilapia (*Oreochromis niloticus*) (1 kg per day, thawed before fed). Feeding sessions lasted around 10 to 15 minutes, counted from the moment the first fish started interacting with the food until no food was observed in the tank.

To observe behavioral patterns a GoPro camera set-up (consisting of two Hero 8 cameras distanced 15 cm from each other, placed on an acrylic surface with an aluminum frame to hold on the edge of the tank, see Figure 1) was installed on one of the tank walls above the gravel area at 25 cm height from the bottom of the tank for a better coverage of the tank area. The camera set-up focused on the center of the water column. The GoPro set-up was left in place for the fish to familiarize themselves with it and was used to record for two continuous hours starting just before feeding at 30 FPS, with a linear lens and 4k of resolution in cinematic mode.

Behavioral observations

Since our objective was to document the spontaneous behavior displayed by the fish as a group and individually, preliminary observations took place to become familiar with *A. gigas* movements and rhythms. For this preliminary process, the first three weeks of recording were selected. The decision of which subjects to watch (sampling rule) was made depending on whether it was possible to follow one specific individual's movements throughout the recording. Hence, *ad libitum* sampling and behavior sampling were the chosen strategies to follow. Concerning the methodology to record the behaviors (recording rule), all recordings were sampled continuously meaning that the observer recorded each behavior with the time of

occurrence (Bateson and Martin, 2021). We analyzed approximately 3000 minutes of videos for the provided ethogram.

Behaviors described in the ethogram were classified as events or states, where events were defined as behaviors of short duration with frequent occurrence that could be counted; while states were defined as behaviors of long duration (Bateson and Martin, 2021). Behaviors were recorded from observations of the three individuals at the same time. Whenever one of them left the focal frame, the label "Out of sight" was recorded until the same individual reappeared in the picture. Behaviors were first scored by one author and reviewed by collaborators to confirm that descriptions were accurately and objectively made. All observations comply with internal animal welfare regulations of the Leibniz-Institute for Freshwater Ecology and Inland Fisheries (IGB) and were approved by IGB's animal welfare committee (Tierschutzkommission). No further permits were needed to conduct the research described herein.

Results

We categorized observed behaviors into five main categories: (1) locomotion behavior, (2) feeding behavior, (3) social interactions, (4) agonistic interactions, and (5) breathing. During the entire observation period, courtship behavior such as vertical swimming with the head pointed downwards was not observed. Our main findings are outlined below and more detailed behavioral descriptions can be found in Table 1 as well as in Figure 2.

1 **Table 1.** Behavioral catalogue of *Arapaima gigas* recorded during feeding sessions between 11:00 h and 12:00 h in an indoor
2 RAS system. Given are main behavioral categories, behavioral units and their descriptions.

Behavioral category	Behavioral unit	Description
(4) Agonistic interactions	Bite attempt (ba)	Two fish swim closely together. One of the fish approaches with an open mouth and attempts a bite (most often no direct contact visible), the recipient fish swims away. Bite attempts usually target the ventral area of the head, ventral fin area, caudal peduncle or caudal fin.
	Push on flank (pf)	A fish approaches another fish from behind and pushes its head against the other's flank with or without making contact, while both swim slowly. The movements are moderately faster than the usual swimming speed. This behavior was observed in a gravel area, with a male fish approaching a female.
	Ventral snout touch (vt)	One individual approaches another fish at a slow swimming speed and directs its snout towards the ventral fin area to touch it. Observed on female towards male.
(1) Locomotion	Resting (R)	Individual lays motionless on the bottom of the tank, in the gravel area or at the bare plastic bottom. Fins are folded and close to the body.
	Change direction (cd)	While swimming, fish changes direction to left or right, moving sometimes in the complete opposite direction.
	Circling (c)	Individual swims slowly in a circular way, no interactions with other fish.
	Normal swimming (ns)	Fish swims with a constant speed spreading pectoral fins and rhythmic undulations of the caudal fin. Speed on average is very slow.
	Open mouth underwater (om)	Fish opens the mouth while swimming calmly, at the same time operculum opens without releasing air bubbles, behavior happens without surfacing and without the presence of food and it is not directed towards another fish. Observed mostly on females.
(5) Breathing	Dashing on side (ds)	While displaying normal swimming, fish sprints with a vigorous caudal peduncle move turning to one side almost 90°. Left or right lateral side of the body touching the bottom of the tank. Behavior observed mostly on the gravel area of the tank.
	Calm breathing (cb)	Fish approaches the surface and breathes air with gentle but vigorous movement of caudal fin, all 4 steps of breathing are well visible but mouth is not opened widely.
(2) Feeding	Fast breathing (fb)	Fish approaches the surface and breathes air open-mouthed with an immediate rapid movement of caudal fin, and swims fast and immediately back towards the bottom. This fast movement of the caudal fin and the surfacing produces an audible sound. This behavior happens without interaction with other fish.
	Feeding on the bottom (ft)	While swimming in the water column, fish turns sideways on an angle of at least 30° either right or left and approaches from an upper position at the same swimming speed to get food from the bottom of the tank.
	Feeding from surface (fs)	Fish approaches the food floating in the water surface or sinking in the water column, sucking the food item into the mouth, swallowing, and chewing it while slowly swimming away. At the surface, the quick opening of the mouth is well hearable.
(3) Social interactions	Spitting out (so)	While swimming normally, fish brings swallowed food back into the mouth and expels it through mouth and opercular openings, other fish detect the food in the water and eat it. Behavior observed in females.
	Parallel swimming (pw)	Two (or three) fish swim in the same direction in parallel positions towards the same area for a short amount of time until they all gather in random positions or change directions independently.
	In-line swimming (is)	One fish (or two) follow the one in close frontal proximity swimming in the same direction forming a line (one after the other) towards the same area for a short amount of time until they all gather in random positions or change directions independently.
	Avoidance reaction (ar)	Female reacts to male fish breathing bout by swimming rapidly away from him.

3
4

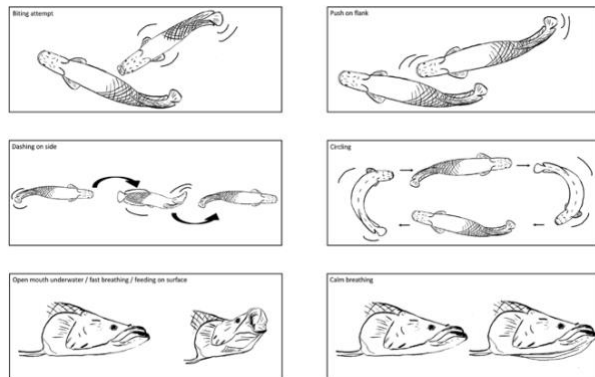


Figure 2. Selected behaviors as schematic drawings. Please see detailed descriptions of these behaviors in table 1.

First, we noticed that the male occupied the gravel area as his territory and spent the vast majority of his time there. Whenever one or both females entered that area, the male escorted them closely but without overt aggressive interactions. Although *Arapaima* often swam calmly through the tank by undulating caudal fin movements, they spent a considerable amount of time resting motionless on the tank bottom. This was observed most often by the male, who rested predominantly in the gravel area, while females showed resting behaviors less often than the male, mostly in other areas of the tank. All fish used the gravel area to perform a ‘dashing on a side’ behavior by accelerating to turn sideward and touching the gravel with the flanks rapidly.

When food was provided, fish came close to the feeding side of the tank, waiting below the surface before often approaching food items immediately when they hit the water surface (surface feeding). Small pellet food was picked from the tank bottom and fish bent laterally for this (bottom feeding). Occasionally fish gulped up some food items and spitted them out.

The social (non-agonistic) interactions involved mostly parallel or in-line swimming and were observed mainly by two individuals at the same time and rarely by the three of them. However, all three fish showed the tendency to follow each other as a loose group.

Behaviors that involved direct contact or contact attempts were categorized as agonistic behaviors. These were the most infrequent behaviors, including bite attempts; push on flanks, and ventral snout touches. Often the male initiated the behaviors, mostly during the feeding period.

As described in detail by previous studies, we also observed two distinct breathing behaviors: calm, almost soundless breathing and fast breaths that were loud due to the sudden air intake and rapid movement towards and away from the water surface.

In addition to our recordings, *A. gigas* is prone to jumping, which has been observed by caretakers at the institute; however, no jumps were observed in the set of recordings used to develop the current catalogue.

Discussion

Although the behavioral research in finfish aquaculture is extensive (Bardera *et al.*, 2018), limited effort has been dedicated to Amazon freshwater species like *A. gigas*, despite its high commercial importance. The current study provides the first ethogram for *A. gigas* kept in an indoor aquaculture facility. Our observations revealed (1) a strong preference of this species to rest motionless on the ground especially when gravel is provided, (2) feeding from the bottom when pellet food is given, (3) low levels of agonistic interactions even under low density and (4) a strong

tendency of the male to occupy certain areas as territories (the gravel bank in our case).

The main objective of the gravel area covering roughly one third of the tank bottom was to provide a solid substrate for nest building activities in case a breeding couple would have been formed. However, after twenty-two weeks, the recordings did not show any apparent pair formation. Nevertheless, we found the male to occupy the gravel area as a territory since it spent most of its time there, often resting motionless on the ground, a behavior performed less often by females and in other parts of the tank. It remains open whether females would rest more if more gravel area would have been provided or whether the resting behavior is part of the territory defense behavior of the males.

All individuals performed the dashing on a side behavior, mainly in the gravel area. Similar behaviors are common in some fish species that prefer strong water currents to display variable swimming velocities, such as brown trout (*Salmo trutta*) (Peake and McKinley, 1998; Cano-Barbacid *et al.*, 2020); however, *A. gigas* is a species known for its preference for lentic and calm water bodies. Therefore, it is interesting to observe the dashing episodes even without a strong water current in the tank.

We observed a low number of clearly agonistic interactions. Although no actual bites were seen, the observed bite attempts suggest they are likely to happen. Other agonistic behaviors have been mentioned before for *A. gigas* as pre-copulatory behavior involving chases and fights associated with territorialism, mating competition and possibly subordination in earthen ponds (Franco Rojas, 2005; Torari, 2017), yet they were not spotted in the

recording period for the current study. On the other hand, not every agonistic behavior should be understood as a pre-copulatory sign, since aggressions towards other individuals are common traits and are usually displayed as a way to acquire or control resources like food (Damsgård and Huntingford, 2012).

While feeding at the bottom mainly occurred when dry feed was offered, feeding from the surface occurred in the presence of dead tilapia. In most cases, fish were waiting to be fed in the feeding area at the scheduled time, revealing high motivation to be fed and an ability for spatial learning. When frozen tilapia was offered, the frequency of aggression among the three individuals increased, and the male was most eager to fight for food.

The ethogram presented in this study was generated by observing sexually mature individuals at low densities in a recirculating aquaculture system (RAS), reared in captivity, during the daytime and when food was provided. This means that this ethogram is specific and valid for fish reared under the same or similar circumstances and may not accurately reflect the behavior of another set of fishes from the same species reared under different conditions (Bateson and Martin, 2021). However, presenting the first catalogue of behavioral patterns for *A. gigas* is the initial step towards a better and holistic behavioral understanding that can be applied to aquaculture and conservation management. For example, it allows the formulation of species-specific health and well-being control and management measures like score sheets for daily health status evaluation and enrichment actions aiming to increase the animals' well-being. This approach has been adopted over the years for many other commercially important aquaculture species

such as Atlantic cod (*Gadus morhua*) (Meager *et al.*, 2017; Fernö and Huse, 1983), arctic char (*Salvelinus alpinus*), Atlantic salmon (*Salmo salar*), and brown trout (*Salmo trutta*) (Bolgan *et al.*, 2016; Bolgan *et al.*, 2015).

Often, a daily visual check-up (most often during feeding times) is the obligatory interaction between the animal and the caretakers and allows the use of animal-based welfare indicators. Although there are difficulties in establishing the “normal behavioral repertoire” of a species, we can nevertheless attempt to identify certain behaviors that are species-specific and displayed in specific health and well-being situations. For Arapaima, our observations support the assumption that fish are doing well and are healthy when they (a) are lying on the ground motionless, (b) perform side rubbing/dashing on the tank bottom, (c) spit out food items occasionally, (d) breathe both fast and calmly, (e) pick up food from the bottom after a while, (f) open their mouths under water and (g) touch each other with their heads. Deviations from these patterns, such as relatively fast and steady swimming without resting periods, only fast breathing, and injuries due to wrong bottom material where fish rub, may then well fit into care sheets for daily check-ups in scientific and commercial

facilities, enabling caretakers to rapidly detect and respond to changes in well-being and health.

Acknowledgements

The authors are grateful to Marcus Ebert, Laura Klatt, David Lewis, Mathias Kunow, and the “Team Technik” for their support at IGB. Furthermore, we thank Christopher Schutz, Nele Russy, Dustin Lehmann, Luis Gomez-Nava, Juliane Lukas, Olivia O’Connor, Manich Food Productions, Prof. Dr. Lenin Arias-Rodriguez, Matthias Stöck, and the Team of the Zoo Aquarium Berlin for their comments and support throughout the experimental process of this study. This research was partly funded by DFG-overheads for projects BI1828/2-1 and BI1828/3-1 (to DB) as well as through the Deutsche Forschungsgemeinschaft under Germany’s Excellence Strategy (EXC-2002/1, project number 390523135).

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Literature cited

- Arantes CC, Castello L, Stewart DJ, Cetra M, Queiroz HL (2010) Population density, growth and reproduction of arapaima in an Amazonian river-floodplain. *Ecology of Freshwater Fishes* 19(3): 455–465. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2010.00431.x>
- Araripe J, Do Rêgo PS, Queiroz H, Sampaio I, Schneider H (2013) Dispersal capacity and genetic structure of *Arapaima gigas* on different geographic scales using microsatellite markers. *PLoS ONE* 8(1): e54470. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054470>
- Adolfi MC, Du K, Kneitz S *et al.* (2021) A duplicated copy of *id2b* is an unusual sex-determining candidate gene on the Y chromosome of arapaima (*Arapaima gigas*). *Scientific Reports* 11: 21544.

<https://doi.org/10.1038/s41598-021-01066-z>

Bardera G, Usman N, Owen M, Pountney D, Sloman KA, Alexander ME (2018) The importance of behavior in improving the production of shrimp in aquaculture. *Reviews in Aquaculture* 11(4): 1104–1132. <https://doi.org/10.1111/raq.12282>

Bateson M, Martin P (2021) *Measuring behaviour: An introductory guide*. Cambridge, pp. 1–238 USA, Cambridge University Press.

Bolgan M, O'Brien J, Gammell M (2015) The behavioural repertoire of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) in captivity: A case study for testing ethogram completeness and reducing observer effects. *Ecology of Freshwater Fish* 25(2): 318–328. <https://doi.org/10.1111/eff.12212>

Bolgan M, O'Brien J, Picciulin M, Manning L, Gammell M (2016) Behaviour of Arctic charr *Salvelinus alpinus* during an induced mating season in captivity: How male relative size influences male behavioural investment and female preference over time. *Journal of Fish Biology* 90(4): 1479–1505. <https://doi.org/10.1111/jfb.13244>

Brockmann HJ (1994) *Measuring behavior: Ethograms, kinematic diagrams, and time Budgets* (pp. 1–9). University of Florida, USA.

Cano-Barbacid C, Radinger J, Argudo M, Rubio-Gracia F, Vila-Gispert A, García-Berthou E (2020) Key factors explaining critical swimming speed in freshwater fish: A review and statistical analysis for Iberian species. *Scientific Reports* 10(1): 18947. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75974-x>

Castello L, Viana JP, Watkins G, Pinedo-Vasquez M, Luzadis VA (2008) Lessons from integrating fishers of Arapaima in small-scale fisheries management at the Mamirauá Reserve, Amazon. *Environmental Management* 43(2): 197–209. <https://doi.org/10.1007/s00267-008-9220-5>

Chu-Koo F, Fernández Mendez C, Rebaza Alfaro C, Darias MJ, García Dávila C, García Vásquez A et al. (2017) El cultivo del paiche. *Biología, procesos productivos, tecnologías y estadísticas* (1st ed., pp. 1–110). Ministerio del Ambiente, Iquitos, Peru.

Damsgård B, Huntingford F (2012) Fighting and aggression. In: Huntingford F, Jobling M, Kadri S (Eds.), *Aquaculture and Behavior* (pp. 248–285). Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/9781444354614.ch9>

Escudero MAGL, De La Vega AJSM. Reproductive aspects of the Amazon giant paiche (*Arapaima gigas*): a review. *Fishies and Aquatic Sciences* 2024;27(2):57–65. <https://doi.org/10.47853/FAS.2024.e7>

Farrell AP, Randall DJ (1978) Air-breathing mechanics in two Amazonian teleosts, *Arapaima gigas* and *Hoplerythrinus unitaeniatus*. *Canadian Journal of Zoology* 56(4): 939–945. <https://doi.org/10.1139/z78-129>

Ferreira-Lima A (2020) Effect of size grading on the growth of pirarucu *Arapaima gigas* reared in earthen ponds. *Latin American Journal of Aquatic Research* 48(1): 38–46. <https://doi.org/10.3856/vol48-issue1-fulltext-2334>

Fernö A, Huse I (1983) The effect of experience on the behaviour of cod (*Gadus morhua* L.) towards a baited hook. *Fisheries Research* 2(1): 19–28. [https://doi.org/10.1016/0165-7836\(83\)90100-5](https://doi.org/10.1016/0165-7836(83)90100-5)

Franco Rojas HH (2005) Contribución al conocimiento de la reproducción del pirarucú *Arapaima gigas* (CUVIER, 1817) (Pisces: Arapaimidae) en cautiverio (pp. 1–53) [Tesis para título de Biólogo con

Énfasis en Biorrecursos - Unpublished thesis (B.Sc.]. Universidad de la Amazonia, Florencia-Caquetá, Colombia.

Greenwood PH, Liem KF (1984) Aspiratory respiration in *Arapaima gigas* (Teleostei, Osteoglossomorpha): A reappraisal. *Journal of Zoology* 203(3): 411–425. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1984.tb02341.x>

Halverson M (2013) Manual de boas práticas de reprodução do pirarucu em cativeiro (C. Curto, Ed.; pp. 1–76). Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Sebrae, Brasília.

Macaulay G, Bui S, Oppedal F, Dempster T (2020) Challenges and benefits of applying fish behaviour to improve production and welfare in industrial aquaculture. *Reviews in Aquaculture* 13(2): 934–948. <https://doi.org/10.1111/raq.12505>

Malabarba LR, Malabarba MC (2019) Phylogeny and classification of Neotropical fish. In: *Biology and Physiology of Freshwater Neotropical Fish* (pp. 1–19). Academic Press, Elsevier, London, UK.

Meager JJ, Fernö A, Skjæraasen JE (2017) The behavioural diversity of Atlantic cod: Insights into variability within and between individuals. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 28(1): 153–176. <https://doi.org/10.1007/s11160-017-9505-y>

Lawson LL, Tuckett QM, Lawson KM, Watson CA, Hill JE (2015) Lower lethal temperature for *Arapaima*, *Arapaima gigas*: Potential implications for culture and establishment in Florida. *North American Journal of Aquaculture* 77(4): 497–502. <https://doi.org/10.1080/15222055.2015.1066471>

Lehner PN (1998) *Handbook of ethological methods*. Cambridge University Press, Cambridge, USA.

López-Landavery EA, Corona-Herrera GA, Santos-Rojas LE, Herrera-Castillo NH, Delgadin TH, Tapia-Morales S, González-Martínez S, Reyes-Flores LE, Marín A, Yzásiga-Barrera CG, Fernandino JI, Zelada-Mázmela E (2022) Non-invasive sex genotyping of paiche *Arapaima gigas* by qPCR: An applied bioinformatic approach for identifying sex differences. *Aquaculture* 546: 737388 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737388>

Lüling KH (1964) Zur biologie und ökologie von *Arapaima gigas* (pisces, osteoglossidae). *Zeitschrift Für Morphologie Und Ökologie Der Tiere* 54(4): 436–530. <https://doi.org/10.1007/bf00395889>

Ohs C, Hill J, Wright S, Giddings HM, Durland Donahou A (2021) Candidate species for Florida aquaculture: *Arapaima*, *Arapaima gigas*. *EDIS* 2021(5). <https://doi.org/10.32473/edis-fa236-2021>

Olsen JEB (2014) Predation avoidance mechanisms of juvenile *Arapaima* spp.: Significance of synchronized breathing and sound production [Bachelor's thesis]. SUNY College of Environmental Science and Forestry. Syracuse, NY, USA..

Peake S, McKinley RS (1998) A re-evaluation of swimming performance in juvenile salmonids relative to downstream migration. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55(3): 682–687. <https://doi.org/10.1139/f97-264>

Saraiva JL, Volstorf J, Cabrera-Álvarez MJ, Arechavala-Lopez P (2022) Using ethology to improve farmed fish welfare and production. Report produced for the AAC, 67 pp + annexes, Brussels, Belgium.

Stokes GL, Castello L, Petersen TA, Cooke SJ, Power M, Zuanon J, Martins EG (2021) Air-breathing ecology of *Arapaima* sp.: Conservation implications for an imperiled fish. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 2021(31): 1257–1268. <https://doi.org/10.1002/aqc.3580>

Torati LS (2017) Reproductive physiology of *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) and development of tools for broodstock management. PhD thesis. pp. 1-322. University of Stirling, Stirling, UK. <https://core.ac.uk/download/pdf/96774647.pdf>

Watson LC, Stewart DJ, Clifford K, Castello L, Jafferally D, James S et al. (2021) Recovery, conservation status, and environmental effects on arapaima populations in Guyana. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 31(9): 2533–2546. <https://doi.org/10.1002/aqc.3628>

Efecto de *Saccharomyces cerevisiae* en el desempeño de crecimiento y parámetros hematológicos en un cultivo comercial de tilapia

Effect of *Saccharomyces cerevisiae* on growth performance and hematological parameter in commercial tilapia culture

Carolina Esther Melgar-Valdes^{1*}  | Lidia Noemi Urquilla-Ortiz¹  | Alfonso Castillo-Domínguez¹ 

¹División Académica Multidisciplinaria de los Ríos. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Km. 1. Carretera Tenosique-Estapilla. Col. Solidaridad. C.P. 86901.Tenosique, Tabasco, México.

*Autor de correspondencia: cemv81@gmail.com

Autor de correspondencia:


Carolina Esther Melgar-Valdes.
División Académica
Multidisciplinaria de los Ríos.
Universidad Juárez Autónoma de
Tabasco. Km. 1. Carretera
Tenosique-Estapilla. Col.
Solidaridad. C.P. 86901.Tenosique,
Tabasco, México.

Como citar: Melgar-Valdes CE,
Urquilla-Ortiz LM, Castillo-
Domínguez A. Efecto de
Saccharomyces cerevisiae en el
desempeño de crecimiento y
parámetros hematológicos en un
cultivo comercial de tilapia. Tropical
Aquaculture 2 (1): e5735. DOI
10.19136/ta.a2n1.5735

Artículo recibido: 17 de junio 2024

Artículo revisado: 01 de agosto de
2024

Artículo aceptado: 02 de octubre
de 2024

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

Resumen

En México, la actividad piscícola avanza hacia la tendencia de sustentabilidad, propiciando que la producción y los productos obtenidos incrementen su calidad y cantidad, disminuyendo el impacto ambiental. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de *Saccharomyces cerevisiae* (probiótico comercial Blue Booster[®]) a través de dos tratamientos bajo un diseño completamente al azar, fueron sembradas 36 crías/m³ en estanques de geomembrana de 69 m³, a las cuales se les suministró durante 150 días la levadura del género *Saccharomyces cerevisiae* en concentración de 1x10⁹ UFC mL⁻¹ y un tratamiento Control (TC) sin la adición de la levadura. Se determinaron las variables de crecimiento y hematológicas en los peces, y los parámetros de calidad en el agua. La calidad del agua se mantuvo dentro de los rangos considerados normales para la zootecnia de la especie, mostrando que el tratamiento con Blue Booster[®] (BB) tuvo mejor desempeño del crecimiento y mejor calidad de agua. Los peces tratados con la levadura mostraron un peso promedio de 499.0 g (± 59.6), con una longitud promedio de 26.1cm (± 1.36), siendo significativamente diferente del tratamiento Control (p< 0.05). Se observó que el porcentaje de hematocritos fue mayor para el tratamiento BB con un 44.3%, al igual que la supervivencia con un 94.0%. Los resultados mostraron que con la aplicación de esta tecnología probiótica se mantiene en mejores condiciones óptimas la calidad del agua y se logran mejorar los parámetros productivos, además se logró reducir la frecuencia de recambio de agua en los estanques de cultivo que es un beneficio directo para el productor.

Palabras clave: Probiótico comercial, levadura, tilapia, ciclo de cultivo.

Abstract

In Mexico, fish farming is moving towards a trend towards sustainability, which means that production and the products obtained increase in quality and quantity, reducing the environmental impact. The objective of the present study was to evaluate the effect of *Saccharomyces cerevisiae* (commercial probiotic Blue Booster[®]) through two treatments under a completely randomised design; 36 broodstock/m³ were stocked in 69 m³ geomembrane ponds, which were supplied with *Saccharomyces cerevisiae* yeast for 150 days at a concentration of 1x10⁹ CFU mL⁻¹ and a Control treatment (CT) without the addition of the yeast. Growth and haematological variables were determined in the fish, and water quality parameters were determined. Water quality remained within the ranges considered normal for the species' culture, showing that the Blue Booster[®] (BB) treatment had better growth performance and water quality. Yeast-treated fish showed an average weight of 499.0 g (± 59.6), with an average length of 26.1cm (± 1.36), being significantly different from the Control treatment (p< 0.05). It was observed that the hematocrit percentage was higher for the BB treatment, at 44.3%, and survival was 94.0%. The results showed that with the application of this probiotic technology, the water quality is maintained in optimal conditions and the productive parameters are improved, in addition to reducing the frequency of water replacement in the culture ponds, which is a direct benefit for the producer.

Keywords: commercial probiotic, yeast, tilapia, culture time.

Introducción

A nivel mundial, la acuicultura se ha expandido rápidamente con el objetivo de satisfacer la creciente demanda de producción de alimentos de origen acuáticos y con ello, disminuir la desnutrición mediante el suministro de productos de alta calidad proteica, así como erradicar la pobreza en un proceso de desarrollo sostenible (FAO, 2020). No obstante, con la intensificación de los sistemas de cultivo, se han registrado numerosos desafíos como el deterioro ambiental, el cambio climático y sobre todo la recurrente presencia de enfermedades (Bondad-Reantaso *et al.* 2023). En este sentido, Arsène *et al.* (2022) mencionaron que la acuicultura se ha vuelto dependiente de antibióticos y otras sustancias químicas para mejorar la producción acuícola, pero que la falta de un diagnóstico efectivo y el uso indiscriminado de estos agentes antimicrobianos, ha dado como resultado la acumulación de residuos en los productos acuícolas, la evidente resistencia de los patógenos y los efectos adversos asociados en la salud humana (González-Salas, Vidal del Río y Pimienta-Concepción, 2021). Es por ello, que se han generado diversas alternativas al uso de antibióticos en el cultivo de organismos acuáticos que incluyen vacunación, terapia con fagos, activos de plantas medicinales y tecnologías probióticas, prebióticas, simbióticas, parabióticas y postbióticas (APROMAR, 2020; Bondad-Reantaso *et al.* 2023). A pesar de la diversidad de estrategias, las variaciones en la aplicabilidad han dependido de la economía de los productores, de la infraestructura nacional e internacional, de la disponibilidad comercial, así como de las especies cultivadas (FAO, 2020). Sin embargo, diversos estudios han demostrado que la tecnología más recurrente en el cultivo de peces dulceacuícolas en condiciones

experimentales se orienta hacia el uso de probióticos y prebióticos (Albuquerque *et al.* 2014; Bermúdez Medranda *et al.* 2020; Silva *et al.* 2021) obteniéndose resultados benéficos en el crecimiento, supervivencia y parámetros hematológicos.

En Tabasco, el cultivo de tilapia es la actividad acuícola que tiene mayor prioridad en términos productivos y por tanto en economía. Actualmente, existe un registro por parte del Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Tabasco (CESAT) de 173 granjas acuícolas distribuidas en todo el estado, en donde la producción ha disminuido notablemente por la presencia de enfermedades, principalmente de origen bacteriano con especies del género *Streptococcus*, *Aeromonas*, *Flavobacterium*, *Francisella* y *Pseudomonas*. En la gran mayoría de los casos, los productores han aplicado antibióticos y otros productos químicos sin tener un diagnóstico adecuado. No obstante, estos fármacos, han sido diseñados esencialmente para mamíferos terrestres. En consecuencia, la necesidad de mejorar la resistencia a las enfermedades, el rendimiento del crecimiento, la eficiencia de los alimentos y la producción acuática segura para el consumo humano ha exigido a los productores la aplicación de nuevas tecnologías que logren controlar el entorno de la acuicultura. A pesar de las alternativas generadas para aplicarlas en la acuicultura, muchas de estas tecnologías representan altos costos. Por lo que, el uso de prebióticos y probióticos, entendido ahora como tecnología simbiótica continúa siendo una opción para garantizar la sostenibilidad y la rentabilidad a gran escala (Umu *et al.* 2017). A pesar de los beneficios documentados en la acuicultura con el uso de prebióticos y probióticos, aún quedan vacíos científicos que permitan utilizar productos comerciales disponibles con esta tecnología y evidenciar en sistemas de cultivo bajo condiciones reales de

producción su eficiencia en los parámetros zootécnicos y económicos. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo principal evaluar el efecto del probiótico Blue Booster® que contiene la levadura *Saccharomyces cerevisiae* en un cultivo de tilapia a nivel comercial sobre los parámetros de crecimiento, calidad del agua, hematológicos y de producción.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en la Piscigranja “El Usumacintae” ubicada en las coordenadas (17°26′21″ Norte; 91°29′26″ Oeste), Boca del Cerro, en el municipio de Tenosique, Tabasco, México. La Piscigranja se ha dedicado a la fase de engorda de tilapia en un sistema de producción intensivo, certificada por el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) en las Buenas Prácticas de Producción para el cultivo de Tilapia (BPPTi) desde el año 2021 con número de certificación: AC-PD-27-24140. La evaluación del Blue Booster® se llevó a cabo en estanques circulares de geomembrana de 9 m de diámetro y 1.10 m de altura con una capacidad operativa de 69 m³. Se consideró un tiempo de experimentación de 150 días en función del período de cultivo comercial establecido por el programa de la granja. Las crías de tilapia *Oreochromis niloticus* variedad *Chitralada* fueron obtenidas de un laboratorio de reproducción reconocido por la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA), provenientes de un mismo lote de reproductores con pesos promedio de 1.5 g y con una longitud total promedio de 2.5 cm en cuatro etapas de crecimiento: 1) Iniciación con un 45% de proteína y un tamaño de partícula 1.5 mm alimentados a razón de 10% del peso vivo día⁻¹ en seis raciones. 2) Pre-engorda con un 45% de proteína y un tamaño de partícula 2.5 mm

alimentados a razón de 8% del peso vivo día⁻¹ en cinco raciones. 3) Engorda con un 35-32% de proteína y un tamaño de partícula 3.5 mm alimentados a razón de 6% peso vivo día⁻¹. 4) finalización con peces alimentados con un 25% de proteína y un tamaño de partícula 5.5 mm a razón de 4% peso vivo día⁻¹ en cinco raciones (09:00, 11:00, 13:00, 15:00 y 17:00 h).

Obtención del probiótico

Se utilizó el probiótico comercial Blue Booster® que contiene la levadura *Saccharomyces cerevisiae* con una concentración de 1x10⁹ UFC mL⁻¹. El producto maneja la levadura en una presentación en polvo, en donde la levadura se encuentra en estado inactivo mezclado con melaza deshidratada como fuente de carbono para su latencia y viabilidad. La activación de la levadura se realiza en el momento de la aplicación del polvo cuando entra en contacto con el agua del estanque en una dosis de 4 g por cada 1000 g de alimento suministrado durante el día, esto de acuerdo con las recomendaciones del fabricante (Tecnología Nutricional del Golfo).

Diseño Experimental

El diseño consistió en un diseño completamente aleatorizado con dos tratamientos y dos repeticiones. Se emplearon 36 crías/m³ de tilapia en estanques de geomembrana de 69 m³, con una duración de 150 días. La evaluación consistió en el suministro del probiótico comercial Blue Booster® (BB) diariamente, aplicando una dosis única directamente en el agua después de la última comida del día, distribuyendo los tratamientos de la siguiente manera: BB, dosificación del probiótico comercial y el tratamiento Control (TC), al cual no se le administró el probiótico comercial.

Parámetros de crecimiento

Durante el ciclo de cultivo se realizaron las biometrías a los peces de manera mensual,

según la metodología propuesta por Murray y Larry (2009) para poblaciones finitas, la cual determina muestrear a 70 organismos, a los que se les midió el peso total con una balanza digital OHAUS® (± 0.1 g de precisión) en las etapas de iniciación, pre-engorda, mientras que en las etapas de engorda y finalización se utilizó una balanza TRUPPER® (± 5 g) y la longitud total se midió empleando un calibrador digital Vernier convencional.

Parámetros de calidad del agua

Durante el experimento se monitorearon los parámetros de la calidad de agua: temperatura (± 0.5 °C), el pH (± 0.05), Oxígeno Disuelto (mg/L) y sólidos disueltos totales con un equipo multiparamétrico HANNA® Instruments HI98129, transparencia (cm) con el disco de *Secchi*, potencial de oxidación-reducción con una sonda PCE-PH 30R (± 1000 mV) y amonio no ionizado (NH₃) con un kit colorimétrico API® Freshwater Master Test Kit. Todos los parámetros fueron medidos dos veces al día (8:00 a.m. y 5:00 p.m.). Para las mediciones del amoníaco (NH₃), se empleó el método de tira de color del kit de análisis de agua API® Freshwater Master Test Kit (Mars FishCare, Chalfont, USA) utilizado comúnmente por la industria de la acuicultura (Senok, 2005; Yu *et al.* 2019).

Parámetros hematológicos

Los organismos fueron anestesiados con una dosis de 0.25 mL L⁻¹ de una solución de aceite de clavo disuelto en etanol en proporción 1:10 (Javahery *et al.* 2012). Las muestras sanguíneas se colectaron de la vena caudal al final del ciclo de cultivo, con ayuda de una jeringa para insulina con aguja de 20G x 32 mm. Se colectaron aproximadamente 0.4 mL por pez. La mitad de la muestra se colocó en un microcontainer con anticoagulante EDTA-K2 para la determinación del hematocrito. La otra mitad se colocó en un tubo cilíndrico cónico

Eppendorf, se centrifugó a 2000 rpm durante cinco minutos para separar el suero, el cual se utilizó para el análisis de química sanguínea. Se utilizó el método de micro-hematocrito, que consiste en llenar capilares de cristal con 60 μ L de sangre con anticoagulante EDTA-K2, sellados por un extremo y centrifugados a 4000 rpm durante 10 minutos en una centrifuga PRO-12K MICRO. Posteriormente, se determinó el porcentaje de hematocrito (hct) con ayuda de un lector circular de hematocrito siguiendo la metodología propuesta por Rawling *et al.* (2009).

Parámetros de producción

Después de obtener los datos biométricos se calcularon diversos índices de crecimiento, conforme a lo establecido en Gutiérrez-Ramírez *et al.* (2016):

$$1. \text{ Ganancia de peso (GP) del período: } GP = Pf - Pi$$

Donde Pf es peso final y Pi es peso inicial en gramos.

$$2. \text{ Ganancia de talla (GT): } GT = Tf - Ti$$

Donde Tf es talla final y Ti es talla inicial.

$$3. \text{ Tasa de Crecimiento Específica (TCE):}$$

$$TCE (\%) = \frac{\ln(Pf) - \ln(Pi)}{\text{tiempo}} \times 100$$

Donde: Pf y Pi son el peso final e inicial, t es el tiempo de cultivo y Ln es el logaritmo natural de los pesos.

$$4. \text{ Tasa de Conversión Alimenticia (TCA):}$$

$$TCA = \frac{\text{Alimento consumido (kg)}}{\text{Biomasa final del período (Kg)}}$$

$$5. \text{ Factor de Condición (K): } K = (P/L^3) \times 100$$

Donde P es el peso corporal húmedo en gramos y L es la Longitud en cm.

6. Supervivencia (S): $Supervivencia (\%) = \frac{Número\ final\ de\ peces}{Número\ inicial\ de\ peces} \times 100$

Costo-beneficio por el uso del probiótico

La presentación del Blue Booster® es una caja de 10 Kg. El costo de la caja a venta a mayoreo fue de \$2,200 pesos mexicanos (114.6 USD). Para determinar el costo-beneficio se registraron el número de recambios de agua, el volumen de agua gastado (m^3), gasto energético de la bomba (horas) y considerando el costo de energía suministrada por la compañía eléctrica nacional CFE ($Kv\ h^{-1}$) gastado en los recambios y uso de bomba.

Análisis estadístico

A todos los datos obtenidos se le realizaron pruebas de normalidad de Kolmogórov-Smirnov y homocedasticidad de Bartlett. En el caso de los parámetros que se expresan en porcentaje, se realizó la transformación del arcoseno de la raíz cuadrada previo al análisis estadístico. Posteriormente, se aplicó un contraste de medias de Student para discernir posibles diferencias significativas entre tratamientos (Zar 2010). Todos los análisis estadísticos se realizaron empleando el software STATISTICA v.7.0 (Statsoft, 2004), con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Resultados

Parámetros productivos y hematológicos en el cultivo de tilapia

El contraste de medias mostró diferencias significativas entre el tratamiento Control y el tratamiento con BB ($p < 0.05$), representado entre el peso final del TC con 384.00 g (± 80.90) y el probiótico BB con 499.00 g (± 59.60) (Fig. 1). Estos resultados indican el despliegue del crecimiento en peso a partir del día 90 con organismos de 200.00 g en peso y con una longitud final de 23.40 cm (± 1.09) del TC y 26.10 cm (± 1.36) para el tratamiento BB.

La biomasa final del TC fue de 735.60 kg (± 27.84) y la biomasa final del tratamiento con BB fue de 1,174.34 kg (± 142.0). Al final del experimento, los valores del factor de condición no mostraron diferencias significativas, mostrando valores de 2.68 para el TC y 2.77 (± 0.11) para el tratamiento con BB.

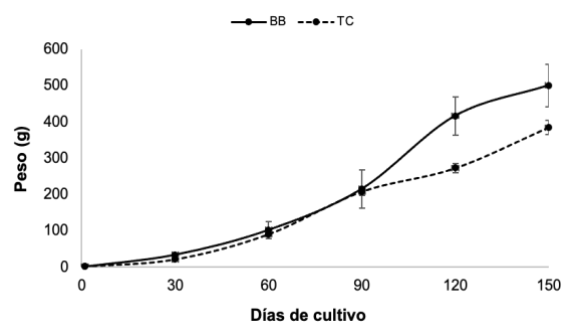


Figura 1. Valores promedio (\pm EE) del peso de los peces durante los 150 días de cultivo. Los asteriscos denotan diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento con BB y el tratamiento Control (TC), para un tiempo determinado ($p < 0.05$).

La tasa de conversión alimenticia final registrada fue de 1.56 (± 0.03) para el TC y de 1.43 (± 0.05) para el tratamiento BB, mientras que la supervivencia observada fue de 73.0 % para el TC y 94% para el tratamiento BB. Finalmente, el índice de hematocrito determinado como indicador de bienestar y de respuesta inmune, mostró un promedio en el tratamiento BB de 44.3% en comparación con el TC con un 36.1% ($p < 0.05$).

Efecto de BB en los parámetros de la calidad del agua

Los valores promedio de los parámetros de la calidad del agua estuvieron dentro de los rangos óptimos para el cultivo de tilapia (*Oreochromis* sp) mostrando diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre las variables pH, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, potencial de oxidoreducción, amonio y transparencia entre el TC y BB. Tabla 1. El parámetro físico de temperatura del agua no evidenció diferencias

significativas entre tratamientos ($p > 0.05$), mostrando valores promedio de $29.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (± 0.99) para el tratamiento Control y $29.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (± 0.75) para el tratamiento BB. La tabla 1 muestra los valores promedio de estos parámetros fisicoquímicos para ambos tratamientos.

Costo-beneficio del Blue Booster® en el cultivo de tilapia

La comparación en términos de costo-beneficio indica que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el tratamiento Control y el tratamiento BB en el número de los recambios realizados por estanque de geomembrana, volumen de agua gastada, el uso de horas bomba sumergible y el costo energético (Tabla 2), observándose que la aplicación del Blue Booster® en el agua de los estanques de cultivo de tilapia, redujo considerablemente todos estos parámetros. La cantidad total de Blue Booster® suministrado durante el experimento fue de 7.650 Kg.

Tabla 1. Parámetros de la calidad del agua evaluados en los tratamientos durante el cultivo de tilapia en la Piscigranja El Usumacintae.

Parámetros fisicoquímicos	TC	BB
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	29.80 ± 0.99^a	29.50 ± 0.75^a
pH (H^+)	8.46 ± 0.20^a	8.25 ± 0.21^b
Oxígeno disuelto (mg L^{-1})	4.62 ± 2.02^a	6.71 ± 2.09^b
Sólidos disueltos totales (ppm)	296.00 ± 38.0^a	199.0 ± 29.3^b
Potencial de óxido-reducción (mV)	98.60 ± 31.1^a	148.0 ± 39.0^b
Amonio (NH_4^+) (mg L^{-1})	0.50 ± 0.20^a	0.25 ± 0.19^b
Transparencia (cm)	15.40 ± 11.5^a	27.1 ± 19.6^b

Valores promedio \pm desviación estándar. Letras diferentes en los superíndices de los tratamientos para un mismo parámetro indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Tratamientos: TC, sin probiótico, BB, adición del probiótico comercial Blue Booster® (*Saccharomyces cerevisiae*) en el agua del cultivo.

Tabla 2. Costo-beneficio evaluado en los tratamientos durante el cultivo de tilapia en la Piscigranja El Usumacintae.

Parámetros de costo-beneficio	TC	BB
No. de recambios	35 ± 1.87^a	7 ± 0.87^b
Volumen de agua utilizada (m^3)	1530 ± 24.3^a	179 ± 13.1^b
Uso de bomba (h)	149 ± 18.1^a	21 ± 10.4^b
Costo energético CFE (5.8Kv h^{-1})	999 ± 32.5^a	160 ± 11.2^b

Valores promedio \pm desviación estándar. Letras diferentes en los superíndices representan diferencias significativas ($p < 0.05$). Tratamientos (TC y BB), adición del probiótico comercial Blue Booster® *Saccharomyces cerevisiae* en el agua del cultivo.

Discusión

Diversas investigaciones han demostrado que el uso de probióticos en la piscicultura de la tilapia confiere efectos positivos en el crecimiento, ganancia en peso, inmunidad, resistencia a las enfermedades y en la supervivencia (Cano-Lozano *et al.* 2022). En el presente estudio, se observó que con la adición del probiótico comercial Blue Booster® *Saccharomyces cerevisiae* en el agua durante el ciclo de cultivo, incrementaron los valores promedio de los parámetros de crecimiento, producción y hematológicos en los peces cultivados en comparación con el tratamiento Control. Lo anterior, concuerda con lo determinado por Pineda *et al.* (2020) con el incremento del crecimiento y la supervivencia de la tilapia roja *Oreochromis* sp después de haber aplicado *S. cerevisiae* proveniente del probiótico Levapan®, así como el incremento en peso en etapa de alevines de *O. niloticus* con la ingesta de una dieta enriquecida con dicha levadura (Hassaan *et al.* 2018).

Por otra parte, Ran *et al.* (2015) demostraron que el uso del producto Actisaf® a base de *S. cerevisiae* contribuyó en el bienestar y el crecimiento de la tilapia del Nilo influenciando en el fortalecimiento de su sistema inmune con la modificación de la morfología de las microvellosidades del intestino, en la reducción de la expresión genética de proteínas de estrés como la hsp70 y en la disminución de la actividad de la fosfatasa

alcalina en el intestino de los peces. En este sentido, se ha reportado que la levadura *S. cerevisiae* tiene la capacidad de adherirse y desarrollarse en el mucus intestinal del huésped (Ringo *et al.* 2010), segregando a través de su pared celular compuestos complejos como los manano-oligosacáridos que impiden químicamente el establecimiento de bacterias patógenas (Torrecillas *et al.* 2014), las poliaminas que coadyuvan en los procesos de expresión genética y promueven la homeostasis (Reyes-Becerril *et al.* 2011) y enzimas peptídicas que contribuyen en la degradación del alimento consumido mejorando la asimilación de los nutrientes y con ello, el buen funcionamiento del sistema digestivo de los peces (Baloch, 2015, Mugwanya *et al.* 2022). Por otra parte, es importante resaltar que, aunque no se encontraron diferencias en el factor de condición (K) con el uso de los probióticos, sí se observó el impacto positivo en el bienestar de las tilapias para ambos tratamientos con la implementación de las buenas prácticas de producción en la granja productora, derivado de su proceso de certificación. En estudios previos, se ha demostrado que el factor de condición (K) este ligado al comportamiento de la biología de las poblaciones de los peces, así como a su grado de bienestar influenciado por la nutrición, estrés, contaminantes y presencia de enfermedades.

Se pudo observar que la calidad del agua en los estanques de geomembrana en donde se aplicó el tratamiento con levadura Blue Booster[®], se mantuvo entre los intervalos óptimos para el cultivo de tilapia, en las variables de temperatura, pH, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, potencial de óxido reducción, amonio y transparencia. La temperatura del agua fue una variable que no se pudo controlar mostrando variaciones en sus promedios entre el Control y el tratamiento con levadura Blue

Booster, pero aun así se logró mantener dentro de los intervalos esperados en el cultivo de peces en aguas dulce. Es importante mencionar, que la temperatura es uno de los parámetros más importantes y limitantes en los procesos productivos, ya que afecta las actividades metabólicas, crecimiento, alimentación, reproducción y el comportamiento en general de los organismos acuáticos (Meyer 2004).

Con respecto a la concentración de oxígeno disuelto en el agua, este varió entre el Control y el tratamiento con levadura, incrementando los valores arriba de 5 mg L^{-1} , según Alcántar-Vázquez *et al.* (2014) para el cultivo de tilapias. El oxígeno disuelto es fundamental en los sistemas cultivos pues condiciona, el comportamiento y el crecimiento de los organismos (Wetzel 2001). Para la especie de *O. niloticus* que es tolerante a bajas concentraciones de oxígeno ($\approx 3 \text{ mg L}^{-1}$), aunque a temperaturas superiores a los $30 \text{ }^\circ\text{C}$ aumenta su consumo durante el día, mientras que a concentraciones menores 5 mg L^{-1} hacen que el metabolismo disminuya y por ende el consumo de alimento y la saciedad, de modo que el crecimiento individual se hace más lento (Pandit y Nakamura 2010). Por tanto, es probable que, en nuestro estudio, esto haya ocurrido en los meses de incremento de temperatura (abril, mayo, junio, julio y agosto). El pH presentó un ligero incremento con tendencia alcalina en ambos tratamientos, esto concuerda con los intervalos para el cultivo de tilapia según (Asain *et al.* 2011); siendo ligeramente menor en el tratamiento con Blue Booster[®]. Los sólidos disueltos son una medida muy importante para el bienestar de los peces, las aguas completamente transparentes generan estrés en los peces y las extremadamente ricas en sólidos suspendidos pueden causar problemas de respiración y branquiales (Pariisse 2018). Los sólidos

disueltos totales (STD) para el tratamiento Control y para el tratamiento con Blue Booster[®] se mantuvieron en niveles altos. Es importante mencionar que cuando los sólidos disueltos se muestran por arriba de 100 mg L⁻¹ la concentración de oxígeno disuelto disminuye y el fitoplancton hace que el agua sea dura con alta concentración de minerales y materia orgánica (Coreas-Madrid *et al.* 2018).

Los valores promedio de amonio (NH₄⁺) para el tratamiento con levadura Blue Booster[®] no sobrepasaron la concentración de 0.2 mg L⁻¹, y no presentaron riesgo para los organismos según lo indicado por González *et al.* (2010); sin embargo, para el tratamiento Control este parámetro estuvo por arriba de 0.5 mg L⁻¹, esto demuestra que con la adición de la levadura *S. cerevisiae* reduce los niveles de amonio en la columna de agua según Mantilla *et al.* (2016), modificando la comunidad microbiana relacionada con el ambiente donde éste se desarrolla. Los valores promedio de la transparencia para el tratamiento Control estuvieron por debajo de los 25 a 35 cm de visibilidad mencionados como óptimos por González y Mejía (2012), observándose algas verdes no filamentosas; mientras que para el tratamiento Blue Booster[®] tuvo un promedio de 27 cm mejorando las condiciones para el crecimiento de los organismos. Con la adición de *S. cerevisiae* mostró que estos resultados son relevantes para la mejora de los parámetros de la calidad del agua, lo cual apoya el concepto de su uso en los cultivos de peces. En este sentido, el costo-beneficio por el uso del probiótico comercial Blue Booster[®] tiene un efecto directo en el mejoramiento de la calidad del agua, es decir, mientras más tiempo se mantiene el agua dentro de los parámetros recomendados para el cultivo de tilapia, se requerirá un menor trabajo operativo en los estanques de geomembrana.

Conclusiones

En el presente trabajo se observó que los mejores resultados en variables de crecimiento y parámetros hematológicos evaluados durante el cultivo de tilapia en la Piscigranja El Usumacintae se obtuvieron aplicando el probiótico comercial Blue Booster[®]. La inclusión del probiótico comercial mejoró y mantuvo los parámetros de pH, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, potencial de óxido reducción, amonio y transparencia. Las Buenas Prácticas de Producción en el cultivo de tilapia ayudan en la obtención de mejores resultados en los parámetros de crecimiento, producción, hematológicos y de calidad del agua, lo cual colabora con un mejor funcionamiento del probiótico. Los tiempos de cultivo se redujeron con el uso de la levadura y el costo beneficio obtenido justifica la compra del probiótico.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Literatura citada

- Albuquerque DM, Marengo ni NG, Mahl I, Moura MC de, Rodríguez-Rodríguez MDP, Ribeiro RP (2014) *Bacillus* em dietas para alevinos de tilápia do nilo, variedade Gift. Revista Bioscience 31(2).<https://doi.org/10.14393/BJ-v31n2a2015-22506>.
- Alcántar J, Santos C, Moreno R, Antonio C. (2014). Manual para la producción de supermachos de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). UNPA-PIFI, Oaxaca. México, 81.
- APROMAR (2020) Asociación Empresarial de Productores de Cultivos Marinos. La acuicultura en España. <http://www.apromar.es/content/informes-anauales>.
- Arsène MMJ, Davares AKL, Viktorovna PI, Andreevna SL, Sarra S, Khelifi I, Sergueïevna DM (2022) The public health issue of antibiotic residues in food and feed: Causes, consequences, and potential solutions. Veterinary World 15(3): 662-671. doi: 10.14202/vetworld.2022.662-671.
- Asain HA, Fernández DB, Reta MJL, Suárez SCA (2011) Manual de acuicultura para la producción de mojarra tilapia (*Oreochromis spp*). Colegio de Postgraduados. Montecillos, Texcoco, Estado de México.
- Baloch AR, Zhang XY, Schade R. IgY. (2015). Technology in aquaculture a review. Reviews in Aquaculture 7(3):153-160. doi:10.1111/raq.12059
- Bermúdez M, Lucas A, Marcillo G, Vélez-Chica E, Cruz-Quintana J, Mesias Y, Vásconez A, Espinoza-Vera Y, Piaguage MM, Santana-Piñeros EA (2020) Effect of two commercial probiotics on weight gain, hematological parameters and intestinal histology in the Pacific fat sleeper *Dormitator latifrons*. Aquatechnica 23-30.
- Bondad-Reantaso MG, MacKinnon B, Karunasagar I, Fridman S, Alday-Sanz V, Brun E, Le Groumellec M, Li A, Surachetpong W, Karunasagar I, Hao B, Dall'Occo A, Urbani R, Caputo A (2023) Revisión de alternativas al uso de antibióticos en acuicultura Reviews in Aquaculture 15(4): 1421-1451. doi:10.1111/raq.12786
- Cano-Lozano JA, Díaz LMV, Bolívar JFM, Hume ME Pardo RYR (2022) Probióticos en cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*): condiciones potenciales de cultivo de probióticos *Lactococcus lactis*. Revista de Bociencia y Bioingeniería 133 (3), 187-194.
- Castañeda Guillot, C. (2018). Probióticos, puesta al día: an update. Revista cubana de *pediatría*, 90(2), 286–298. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75312018000200009
- Coreas-Madrid, A., Gutiérrez-Salguero, J., Rodríguez-Urrutia, E., & Flores-Tensos, J. (2022). Evaluación de diferentes densidades de siembra de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en estanques artesanales de agua dulce en San Luis Talpa, La Paz, El Salvador. Revista Agrociencia, 5 (21), 16–23. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10602311>
- FAO (2020) Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO “El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018”. Roma, Italia.
- Goh JX, Tan LT, Law JW, Ser HL, Khaw KY (2022) Harnessing the potentialities of probiotics, prebiotics, symbiotics, paraprobiotics, and postbiotics for shrimp farming. Reviews Aquaculture 14(3):1-80. doi:10.1111/raq.12659
- González Salas, R, Vidal del Río MM, Pimienta-Concepción I (2021) Uso intensivo de antibióticos profilácticos en la acuicultura: un problema creciente para la salud humana y animal. Universidad y Sociedad 13(S2): 204-210. Recuperado a partir de <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2304>

González C, Mejía D, JB (2012) Manual de Procedimientos de Producción de Tilapia, Impresos Múltiples, Washington D.C., Estados Unidos.

González R, Romero O, Valdivié M (2010) Evaluación de la calidad del agua y su influencia en el cultivo de la tilapia. Recuperado de http://www.panoramaacuicola.com/articulos_y_entrevistas/2009/03/20/evaluacion_de_la_calidad_del_agua_y_su_influencia_en_el_cultivo_de_la_tilapia.

Gutiérrez-R LA, David RCA, Montoya COI, Betancur GE (2016) Efecto de la inclusión en la dieta de probióticos microencapsulados sobre algunos parámetros zootécnicos en alevinos de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). Revista de Salud Animal 38(2): 112-119. Recuperado en 03 de noviembre de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-570X2016000200007&lng=es&tlng=es

Hassaan MS, Mahmoud SA, Jarmolowicz S, El-Haroun ER, Mohammady EY, Davies SJ. (2018) Effects of dietary baker's yeast extract on the growth, blood indices and histology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L) fingerlings. Aquaculture Nutrition 24: 1709-1717. doi: 10.1111/anu.12805

Javaheri S, Shore NS, Rose B, Kazemi H (1982) Compensatory hypoventilation in metabolic alkalosis. CHEST 81(3):296-301

Javahery S, Nekoubin H, Moradlu AH (2012) Effect of anaesthesia with clove oil in fish. Fish physiology and biochemistry, 38, 1545-1552.

Mantilla CHL, Vellojín FJ, García PD, Pertúz BV (2016) Desempeño del crecimiento y sobrevivencia de larvas de *Oreochromis sp.* utilizando un probiótico en el alimento. Revista Colombiana de Biotecnología XVIII (1):90-94.

Meyer D (2004) Introducción a la acuicultura. Honduras: Zamorano. 144 p.

Molina A (2019) Probióticos y su mecanismo de acción en alimentación animal. Agronomía mesoamericana: órgano divulgativo del PCCMCA, Programa Cooperativo Centroamericano de Mejoramiento de Cultivos y Animales, 601–611. <https://doi.org/10.15517/am.v30i2.34432>

Mugwanya M, Dawood MAO, Kimera F *et al.* (2022) Actualización del papel de los probióticos, prebióticos y simbióticos para la acuicultura de tilapia como candidatos principales para la sostenibilidad alimentaria: una revisión. Probióticos y Antimicrobianos. *Prot.*14:130-157. <https://doi.org/10.1007/s12602-021-09852-x>

Pandit NP, Nakamura M (2010) Effect of high temperature on survival, growth and feed conversion ratio of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Our Nature 8(1).

Parisse G (2018) El acuario tropical de agua dulce. Parkstone International.

Pineda S HR, Palacio MRA, Londoño FLF (2020) Efecto de *Saccharomyces cerevisiae* en la salud digestiva de la poslarva de tilapia roja *Oreochromis sp.* Revista De Investigaciones Veterinarias Del Perú, 31(2) e17935. <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i2.17935>

Rawling M.D., Merrifield D.L., Davies S.J. (2009). Preliminary assessment of dietary supplementation of Sangrovit® on red tilapia (*Oreochromis niloticus*) growth performance and health. Aquaculture, 294: 118–122

Ran C, Huang L, Liu Z, Xu L, Yang Y, Tacon P, et al. (2015) A Comparison of the Beneficial Effects of Live and Heat-Inactivated Baker's Yeast on Nile Tilapia: Suggestions on the Role and Function of

- the Secretary Metabolites Released from the Yeast. PLoS ONE 10(12): e0145448. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145448>
- Reyes-Becerril M, Tovar-Ramírez D, Ascencio-Valle F, Civera-Cerecedo R, Gracia-López V, Barbosa-Solomieu V, et al. (2011) Effects of dietary supplementation with probiotic live yeast *Debaryomyces hansenii* on the immune and antioxidant systems of leopard grouper *Mycteroperca rosacea* infected with *Aeromonas hydrophila*. Aquaculture Research 42:1676–1686.
- Ringo E, Olsen RE, Gifstad TØ, Dalmo RA, Amlund H, Hemre GI, Bakke AM (2010) Prebiotics in aquaculture: a review. Aquaculture Nutrition 16(2): 117- 136.
- Senok AC, Ismael AY, Botta GA (2005) Probióticos: hechos y mitos. Clinical Microbiology and Infection.
- Silva VV, Salomão RAS, Mareco EA, Dal Pai M, Santos VB (2021) El aditivo probiótico afecta el crecimiento muscular de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Investigación en acuicultura 52: 2061-2069. <https://doi.org/10.1111/are.15057>
- Torrecillas S, Montero D, Izquierdo M (2014) Improved health and growth of fish fed mannan oligosaccharides: potential mode of action. Fish Shellfish Immunology 36(2): 525-544.
- Umu ÖC, Rudi, Diep DB (2017) Modulación del microbiota intestinal por fibras prebióticas y bacteriocinas. Microbial Ecology Health and Disease 24p.
- Wetzel RG (2001) Limnology. Lake and River Ecosystems, Third Edition Academic Press, USA, 1006 p.
- Yu Y, Zhang Z., Zhao F., Liu H., Yu L, Zha J, Wang G. (2019) Probiotic potential of *Bacillus velezensis* JW: antimicrobial activity against fish pathogenic bacteria and immune enhancement effects on *Carassius auratus*. Fish Shellfish Immunology 78: 322-330. DOI:10.1016/j.fsi.2018.04.055.
- Zar J (2010) Biostatistical Analysis (5th ed. pp:994) Englewood Cliff, NJ: Prentice Hall.

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 promisorias 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.

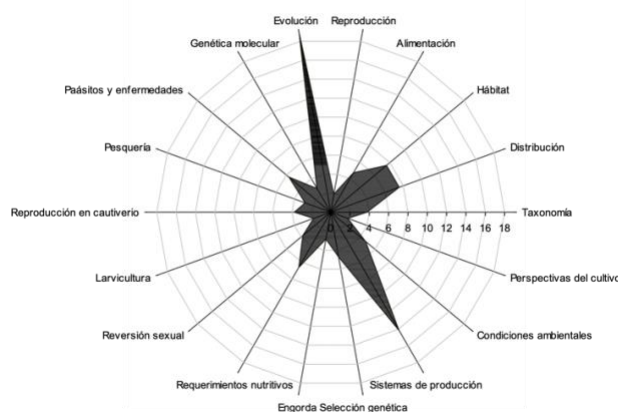


Figura 1. Diagrama de radar para las citas empleadas en cada uno de los temas descritos. Algunas citas fueron empleadas más de una vez. El número total de estudios analizados es 92, pero el número de citas realizadas (sin contar repeticiones de una misma cita en un mismo tema) es de 106.

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).

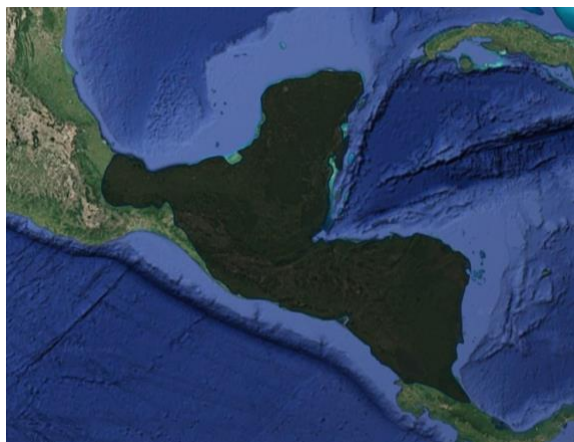


Figura 2. Distribución original de *M. urophthalmus* basada en reportes de diversos autores.

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 folículo 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.

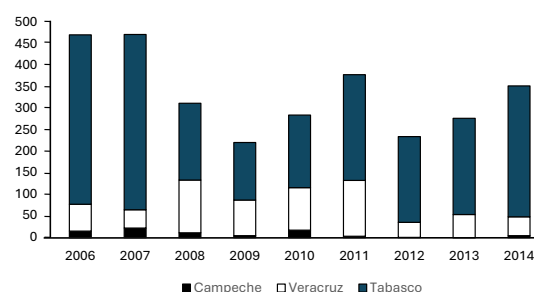


Figura 3. Valores reportados de producción (ton) de castarrica para 2006-2014, según CONAPESCA (2021). Posterior a esta fecha, los volúmenes se reportan genéricamente como mojarras, incluyendo valores de producción de tilapia.

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., parasito de la mojarra castarrica *Cichlasoma urophthalmus* (Günter, 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-Madrugal 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 (*Mayaberos 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.