


## El Hermafroditismo en peces, una oportunidad en la acuicultura

María de Jesús Contreras-García<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>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

**Autor de correspondencia:** 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](mailto:contrer_mar@hotmail.com).

**Cite:** Contreras-García MJ (2024) El Hermafroditismo en peces, una oportunidad en la acuicultura. *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

### 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 venta ja 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

En los metazoos se producen transiciones evolutivas en lo que respecta a la reproducción (Kiontke et al., 2004). El modelo de determinación genotípica del sexo (DGS), considerado un sistema ancestral monofilético, está determinado por los cromosomas sexuales. Por otro lado, el modelo de determinación ambiental del sexo (ESD) opera durante periodos sensibles de modificación sexual, dada la inusual plasticidad del sistema bipotencial de determinación del sexo. Este sistema incluye diversos mecanismos que controlan la decisión del desarrollo gonadal por vías genéticas, influencias ambientales (factores sociales) y regulaciones epigenéticas (luz, pH o temperatura) (Capel, 2017; Chong et al., 2013). La diferenciación sexual es un proceso muy flexible en el que intervienen numerosos acontecimientos fisiológicos y que culmina en la morfogénesis de un ovario o un testículo a partir de una gónada indiferenciada (Heule et al., 2014).

La gran mayoría de los animales son gonocóricos, con gametos masculinos y femeninos producidos por individuos diferentes de forma constante a lo largo de su vida reproductiva. Mientras que los hermafroditas están aparentemente programados para cambiar de sexo durante su desarrollo (Le Page *et al.*, 2010). Existen dos clases de hermafroditas; los hermafroditas simultáneos, que funcionan como macho y hembra al mismo tiempo con posibilidad de autofecundación, y los hermafroditas secuenciales, que suelen describirse como protándricos (cambio de macho a hembra) o protogínicos (cambio de hembra a macho) sin posibilidad de autofecundación. En los animales hermafroditas secuenciales, los gametos masculinos y femeninos pueden producirse a partir de una única gónada llamada ovotestis o a partir de testículos y ovarios separados (Davison, 2006; Leonard, 2018).

El hermafroditismo funcional ocurre en más de 450 especies de 156 géneros; en 41 familias de 17 órdenes de teleósteos (Kuwamura et al., 2020) y se distribuye principalmente en latitudes bajas, precisamente donde se da la mayor abundancia de peces teleósteos. Según Kuwamura et al. (2020), el hermafroditismo protógino es el tipo más abundante, con al menos 305 especies, el 66% de las especies hermafroditas. Los peces protogínicos viven principalmente en hábitats poco profundos por debajo de los 200 m, en arrecifes y aguas cálidas de regiones tropicales, mientras que los peces protándricos no tienen hábitats específicos (Pla, 2019).

Entre los peces hermafroditas, existe una gran variedad de especies que sustentan pesquerías en diversas regiones y que cada vez con mayor frecuencia son reportadas como especies cuyas capturas se han reducido. Ahora bien, se plantean varias preguntas cuando hay que cultivar estas especies. En términos acuícolas, ¿el ser hermafrodita representa una ventaja o una desventaja? Para responder a estas preguntas, diferentes estudios se han centrado en identificar modelos que expliquen los detalles del cambio de sexo. En algunos organismos, esta transición sexual se produce debido a compensaciones de crecimiento, supervivencia y reproducción (Schärer, 2009).

La evolución del hermafroditismo se ha explicado mediante dos hipótesis principales: el modelo de baja densidad para el hermafroditismo simultáneo y el modelo de ventaja de tamaño para el hermafroditismo secuencial (Ghiselin, 1969). El modelo de ventaja del tamaño es el que mejor explica el hermafroditismo secuencial, y predice que el cambio de sexo se producirá cuando el éxito reproductivo de un sexo aumente con el tamaño o la edad (Bonduriansky, 2014; Kazancioğlu & Alonzo, 2010; Réale et al., 2010; Warner, 1975). En el caso de las especies hermafroditas simultáneas, es el modelo de baja densidad el que mejor lo explica, sugiriendo que este sistema sexual está asociado a la baja probabilidad de encontrar

pareja (Ghiselin, 1969; Tomlinson, 1966). En un contexto filogenético se sugiere que la eficiencia de un organismo en la búsqueda de pareja puede influir en la evolución de su sistema reproductivo, lo que significa que, en organismos sésiles o con poco movimiento e incluso con movimiento libre, la reproducción podría representar una desventaja para su especie, dados los altos costos energéticos en su búsqueda de pareja; es por ello que el hermafroditismo puede asegurar la reproducción, evitando la pérdida de tiempo, tanto en la búsqueda de alimento como en la búsqueda de pareja (Puurtinen, 2002).

No se dispone de información para comprender la evolución de los sistemas sexuales, pero se sugiere que podrían ser sensibles a factores ecológicos, como la densidad de población, la probabilidad de encuentro o la duración de la vida reproductiva, entre otros (William, 1975). Se carece de una secuencia evolutiva plausible para las transiciones entre estos sistemas reproductivos en animales, proponiéndose que el cambio de sexo en metazoos es el resultado de la selección reproductiva donde el genotipo puede producir diferentes fenotipos en respuesta a diferentes condiciones ambientales, propiciando un mayor éxito reproductivo (Leonard, 2013). Se sugiere que los sistemas sexuales son evolutivamente muy antiguos y, por lo tanto, se han mantenido estables a lo largo de cientos de millones de años y una amplia variedad de condiciones ecológicas. Sin embargo, no está claro qué factores contribuyen a esta estabilidad y tampoco están claros los caminos evolutivos que conducen del gonocorismo a los distintos tipos de hermafroditismo (Leonard, 2013). Se ha sugerido que el rol sexual en hermafroditas secuenciales puede ser una elección puramente conductual y puede implicar un cambio de sexo único o más de uno, dependiendo de las variables ambientales. No es característico de filos o clases, pero sí de muchas familias de peces (Delph, 2009; Leonard, 2018).

En el caso de los peces protándricos, el cambio de sexo se produce en especies sociales y polígamas y está muy extendido en 15 familias de peces, donde los machos grandes utilizan la defensa territorial agresiva para monopolizar el apareamiento con las hembras dejando a los machos pequeños en desventaja reproductiva, lo que les lleva a la selección protogínica, reproduciéndose inicialmente como hembras mientras son pequeños, aumentando su éxito reproductivo a lo largo de su vida cambiando de sexo a macho y reproduciéndose con múltiples hembras más adelante a medida que alcanzan mayor tamaño (Warner, 1984; Warner & Swearer, 1991). En la lubina (*Dicentrarchus labrax*), los machos dominantes defienden las zonas de desove y la pérdida del desove estimula el cambio de sexo, que suele realizar la hembra más grande del grupo social, lo que implica cambios drásticos en el comportamiento, la anatomía y la coloración (Warner & Swearer, 1991). En estos peces, el cambio puede depender de la edad, el sexo, la densidad y la proporción de sexos en el momento del desove (Bhandari *et al.*, 2003). Seis familias de peces se incluyen en las especies protándricas, en las que el cambio de sexo está menos explicado y comprendido, ya que estas especies carecen de una estructura social definida, por lo que se desconoce qué desencadena el cambio de sexo. Generalmente se asocia a especies monógamas o de apareamiento aleatorio sin defensa del territorio por parte del macho ni competencia espermática. El cambio de sexo es adaptativo debido a la relación positiva entre la fecundidad femenina y el tamaño corporal, por lo que el momento del cambio de sexo debería maximizar el éxito reproductivo. Se cree que la fertilidad de las hembras aumenta más rápidamente con el tamaño que la de los machos, y las hembras más grandes tienden a tener un mayor éxito reproductivo que los machos del mismo tamaño; por lo tanto, es más beneficioso para los individuos reproducirse como machos mientras son pequeños y como hembras cuando son más grandes. Aquí no está claro si el cambio de sexo

está impulsado por la edad o el tamaño del pez (Guiguen *et al.*, 1994; Kazancioğlu & Alonzo, 2010; Munday *et al.*, 2006; Thomas *et al.*, 2018; Warner, 1975).

Se ha documentado que el hermafroditismo en el medio dulceacuícola se presenta en el 3% de las especies, considerando que la mitad de las especies de peces se distribuyen en este medio, desconociéndose la causa de este hecho. Sin embargo, las explicaciones de este fenómeno residen en aspectos morfológicos, ya que los peces de agua dulce desovan unos pocos huevos demersales de gran tamaño. Por el contrario, los peces marinos producen de cientos a millones de pequeños huevos pelágicos (Freedman & Noakes, 2002), lo que afecta a las diferencias en el éxito reproductivo entre sexos, por lo que no se favorece el hermafroditismo en entornos de agua dulce (Sadovy & Liu, 2008).

Entre las especies de peces costeros y de fondo que muestran protandria, como algunos espáridos, *Centropomus undecimalis* y *Lates calcarifer*, se sabe relativamente poco sobre sus sistemas sociales y de apareamiento, pero se considera que el apareamiento es aleatorio, son especies que viven en grandes cardúmenes y se infiere que una mayor fecundidad está asociada a un mayor tamaño de las hembras podría ser importante, así como los peces anémona que también exhiben protandria, el pez más grande es una hembra que parece aprovechar la relación general en peces hembra entre gran tamaño y alta fecundidad y el confinamiento en el hábitat a una única pareja reproductora (Warner, 1984). Otros estudios revelan que diferentes sistemas sexuales exhiben diferentes estrategias vitales que permiten a las especies con hermafroditismo secuencial maximizar la aptitud como segundo sexo (Benvenuto *et al.*, 2017), especialmente las especies protóginas (Pla *et al.*, 2021).

El control del sexo representa una de las áreas más importantes y específicas de la investigación en acuicultura debido a su impacto en la producción de crías, la

productividad y la economía (Budd *et al.*, 2015). Los diferentes sistemas sexuales representan una ventaja adaptativa, reforzada por su extraordinaria y única plasticidad de desarrollo (Uller *et al.*, 2020), por lo tanto, el hermafroditismo debe abordarse desde la perspectiva reproductiva, el crecimiento diferenciado y los comportamientos de ambos sexos, ya que todos estos temas repercuten en los resultados de producción. En acuicultura, la cría de especies que presentan la condición hermafrodita no es del todo desventajosa. Aunque es difícil tener una población totalmente masculina o femenina en cautiverio para la reproducción, también es posible lograr el cambio temprano mediante terapias hormonales, maximizando el uso de las instalaciones acuícolas sin tener que esperar a que el cambio se produzca de forma natural. Al ser especies de desove principalmente pelágico, la fecundidad es alta y, por lo tanto, una hembra, aunque sea pequeña, puede producir suficientes huevos viables para que el espacio sea eficiente. Como experiencia personal, se puede mencionar que en el caso del robalo común (*Centropomus undecimalis*), una hembra de 2 a 5 kg de peso puede producir alrededor de 1 millón de huevos por kilogramo; por lo tanto, la reversión sexual temprana permite que hembras de 500 g produzcan hasta medio millón de huevos en un desove. En el caso del barramundi, una especie hermafrodita ampliamente cultivada en el sudeste asiático y Australia, las hembras reproductoras son extremadamente valiosas debido tanto al mantenimiento requerido como al extenso tiempo de espera hasta que un pez cambia de sexo (aproximadamente 4 o más años de edad), además de la alta fecundidad de las hembras de la especie (2-32 millones de huevos dependiendo del tamaño (Budd *et al.*, 2015).

Otras ventajas del hermafroditismo en acuicultura están relacionadas con las diferencias fisiológicas entre sexos. Entre estas diferencias se pueden considerar aquellas especies en las que uno de los sexos presenta una mayor tasa de crecimiento. Si este es el

caso, mantener poblaciones compuestas por organismos del sexo con esta ventaja sería una estrategia exitosa para la engorda. En el caso de que el segundo sexo (obtenido por cambio de sexo) sea el que presenta esta ventaja, la inducción temprana al sexo de mayor crecimiento puede ser una herramienta valiosa para conseguir un buen rendimiento en el crecimiento.

Es bien sabido que el comportamiento agresivo en los peces tiende a estar asociado a uno u otro sexo, a veces en defensa de la comida, el territorio, el nido o la pareja. Estos comportamientos agresivos tienden a deprimir la producción en las instalaciones acuícolas, generando grupos de peces dominantes con mayor crecimiento y peces subordinados con bajo crecimiento (Arnott & Elwood, 2009;

Damsgård *et al*, 2012). Esto puede evitarse seleccionando un género que no presente estos comportamientos, lo que permite una mayor producción.

Los meros y los robalos son grupos de peces hermafroditas con un gran potencial en acuicultura. Sin embargo, se necesita más información sobre el manejo adecuado del sexo que presenta el mayor beneficio para los productores; ya sea para una mayor obtención de gametos o un mejor desempeño en el crecimiento, el hermafroditismo bien manejado será una herramienta ventajosa para la industria.

## Literatura citada

- 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, Chopelet 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](http://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](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>

- Puurttinen 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>