

ARTÍCULOS

Aspectos reproductivos en peces

Reproductive aspects in fishes

Jesús Dámaso Bustamante González

ORCID: 0000-0003-2912-5352, jesusbustamantegonzalez@gmail.com

Planta Experimental de Producción Acuícola,

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAM-I)

Leticia González Núñez

ORCID: 0000-0001-7702-1465, gnle@xanum.uam.mx

Laboratorio de Endocrinología Molecular Comparada,

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAM-I)

Gerardo Figueroa Lucero

ORCID: 0000-0003-3477-0954, gfiguer@xanum.uam.mx

Planta Experimental de Producción Acuícola,

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAM-I)

Alejandro Ávalos Rodríguez

ORCID: 0000-0003-3799-2704, avalosr@correo.xoc.uam.mx

Laboratorio de Bioquímica de la Reproducción,

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco (UAM-X)

Recepción: 12/12/23. Aceptación: 14/06/24. Publicación: 23/10/24

RESUMEN

La reproducción en peces está regulada por factores ambientales, sociales y químicos, aunado a cambios constantes en la temperatura del agua, variables que tienen una gran importancia en la producción y liberación de hormonas y feromonas reproductivas. Los peces se han adaptado a la época más favorable de su estrategia reproductiva. Pero, ¿cómo perciben los factores ambientales los peces? ¿Cómo se sincronizan los machos y las hembras para el desove simultáneo? Este artículo tiene como propósito comprender cómo los peces captan los factores ambientales y cómo los traducen para poder reproducirse, información importante para optimizar la reproducción y conservación *in situ*, en centros acuícolas o de investigación.

PALABRAS CLAVE

hormonas, feromonas, reproducción

ABSTRACT

Reproduction in fishes is regulated by environmental factors, social and chemical coupled with constant changes in water temperature, variables that have great importance in the production and release of reproductive hormones and pheromones. The fishes have adapted according to the most favorable season to their reproductive strategy. But how do fish perceives environmental factors? How do males and females synchronize for simultaneous spawning? The purpose of this article is to understand how fishes capture environmental factors and how they translate them to be able to reproduce, important information to optimize reproduction and conservation *in situ*, in aquaculture or research centers.

KEYWORDS

hormones, pheromones, reproduction

Introducción

Los peces representan más del 40% de todas las especies de vertebrados y son extremadamente diversos. Al vivir en un medio acuático, son propensos a experimentar cambios cíclicos que se relacionan con procesos vitales y reproductivos, esenciales para su supervivencia. Por tal motivo, han desarrollado distintas estrategias reproductivas y mecanismos que se encargan de captar los cambios ambientales y traducirlos para generar una respuesta fisiológica adaptativa, mediante la participación del eje pineal-cerebro-hipotálamo-hipófisis-gónada. Éste es responsable de modular la síntesis de factores hipotalámicos y gonadotrofinas hipofisarias que dirigen el desarrollo gonadal y la reproducción, así como la síntesis de hormonas y feromonas que actúan como señales químicas que median la sincronía fisiológica y de comportamiento entre congéneres (Muñoz, 2009; Wootton y Smith, 2014; Zanuy et al., 2009).

Por lo anterior, este artículo tiene como propósito comprender cómo los peces captan los factores ambientales y los traducen para poder reproducirse, información que contribuye al conocimiento de la biología reproductiva en peces y que puede ser de utilidad para optimizar la reproducción y conservación *in situ* en centros acuícolas o de investigación.

Estrategias reproductivas

Los peces son un grupo de vertebrados que han adoptado diversas estrategias reproductivas en relación con su hábitat, las cuales se describen a continuación:

Gonocorismo

Tipo de reproducción sexual que presenta la mayoría de las especies de peces, donde las hembras y los machos mantienen su identidad sexual (sexos separados) durante toda su vida, es decir, cada individuo desempeña un papel único funcional (Navarro-Flores et al., 2019; Piferrer, 2009).

Hermafroditismo

Tipo de reproducción sexual en la cual los individuos desempeñan al mismo tiempo la función de hembra (producción de óvulos) y macho (producción de espermatozoides) durante su vida, ya sea de manera simultánea o secuencial (es decir, especies que cambian de sexo), dado que poseen gónadas sexuales femeninas y masculinas funcionales (ovarios y testículos, respectivamente) (Rocha y Rocha, 2024; Yamamoto y Luckenbach, 2024).

Unisexualidad

Tipo de reproducción asexual en la que todos o la mayoría de los individuos son hembras, las cuales muestran un origen híbrido interespecífico y herencia clonal (Piferrer, 2009; Rocha y Rocha, 2024).

Percepción de los estímulos ambientales

En los peces, los estímulos ambientales, como el fotoperiodo (horas luz-oscuridad) y la temperatura, son percibidos por sistemas sensoriales (retina, lóbulos olfatorios, médula espinal, órgano pineal y línea lateral) y sociales (presencia de otros organismos, proporción sexual, densidad poblacional, entre otros) a través del órgano pineal (OP) (Biran y Levavi-Sivan, 2018; Muñoz, 2009), ubicado en la superficie dorsal de la región diencefálica posterior al cerebro.

El OP es una estructura fotosensible que contiene fotorreceptores (pinealocitos) y neurales con capacidad secretora, que se encarga de percibir información proveniente del fotoperiodo, la temperatura y los factores sociales y químicos. Éste codifica en señales nerviosas (neurotransmisores) y neuroendócrinas, como la melatonina, hormona secretada por la retina, que está implicada en actividades rítmicas circadianas y estacionales relacionadas con la duración de la noche y la temperatura del agua. La acción rítmica de la enzima serotonina N-acetiltransferasa, pineal, es responsable de la síntesis de melatonina. En organismos poiquilotermos —animales cuya temperatura corporal depende de la temperatura ambiental—, estas señales les informan sobre la época del año en la que se encuentran (Muñoz, 2009; Wootton y Smith, 2014).

Participación del eje pineal-cerebro-hipotálamo-hipófisis-gónada en la reproducción de los peces

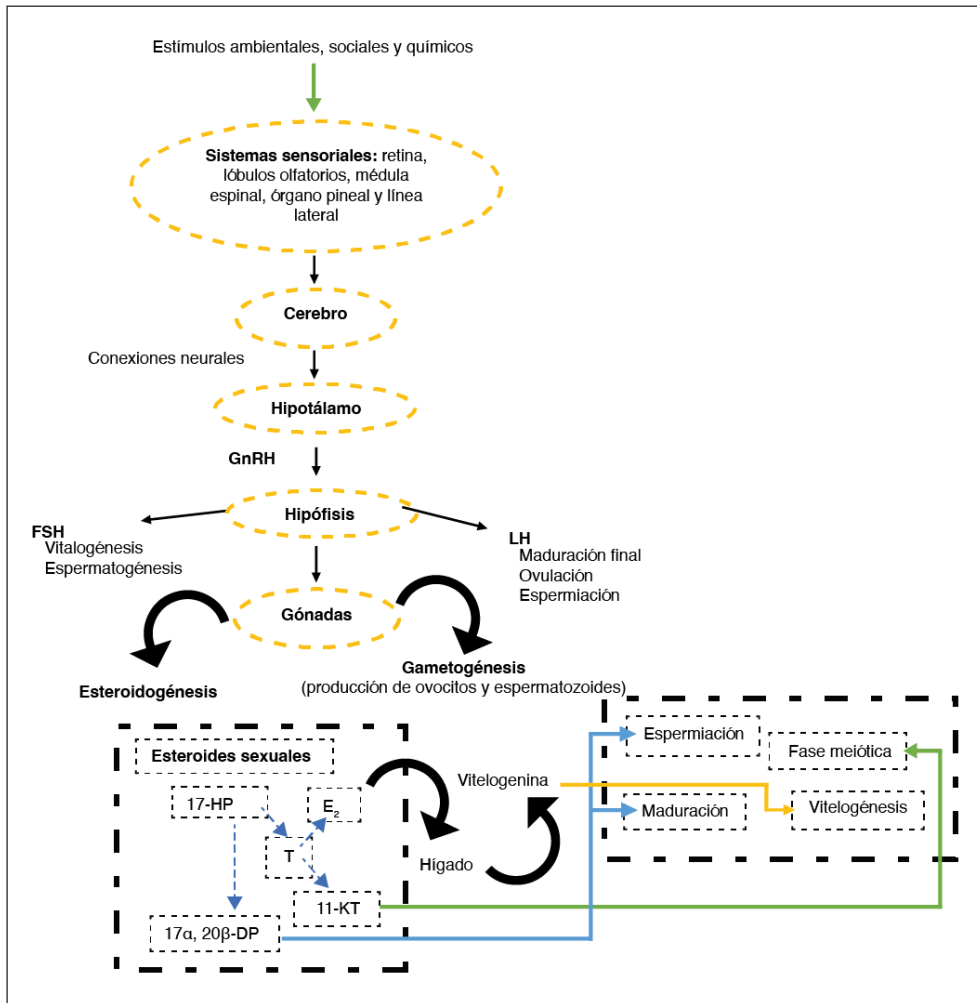
De acuerdo con lo anterior, la participación del OP es fundamental para la percepción del fotoperiodo, temperatura, factores sociales y químicos, además de la codificación a través de neurotransmisores y melatonina. Pero ¿qué sucede con la información captada por el OP?

Una vez que el OP percibe los estímulos ambientales y los codifica, se estimula el hipotálamo y la hipófisis, para sintetizar factores reguladores hipotalámicos y distintas gonadotropinas químicamente relacionadas, como la hormona folículo estimulante (FSH, *Follicle-Stimulating Hormone*) y la hormona luteinizante (LH, *Luteinizing Hormone*), encargadas del desarrollo gonadal y la reproducción. Ambas se liberan a la circulación sanguínea y estimulan las gónadas para sintetizar y secretar esteroides sexuales (andrógenos, progesterona y estrógenos), responsables de controlar la espermatogénesis y la ovogénesis (figura 1, p. 4) (Arcand-Hoy y Benson, 2009; Mateos et al., 2002).

Cerebro

El cerebro en los peces es el órgano encargado de percibir estímulos a través de las señales de los lóbulos olfatorios y ópticos, médula espinal, glándula pineal y línea lateral (Biran y Levavi-Sivan, 2018). Las señales nerviosas son convertidas en señales químicas por el hipotálamo que regula la síntesis y liberación de gonadotropinas a través de numerosas neurohormonas (Yaron y Levavi-Sivan, 2011).

Figura 1
Eje pineal-cerebro-hipotálamo-hipófisis-gónada



Hormona liberadora de gonadotropina (GnRH), hormona folículo estimulante (FSH),
hormona luteinizante (LH), 17α hidroxiprogesterona (17-HP), 17β-estradiol (E₂), testosterona (T),
17α, 20β dihidroxi-4-pregne-3-ona (17α, 20β-DP), cetotestosterona (11-KT).

Imagen modificada de Mateos et al. (2002).

Se ha demostrado que la abundancia de neuropéptidos y monoaminas liberadas por el cerebro regula funciones reproductivas, como la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH, *Gonadotropin Releasing Hormone*), polipéptido activador de la enzima adenilato ciclasa pituitaria (PACAP, *Pituitary Adenylate Cyclase-Activating Polypeptide*), kisspeptinas, neuroquinina B (NKB, *Neurokinin B*), neuroquinina F (NKF, *Neurokinin F*), neuropéptido Y (NPY, *Neuropeptide Y*), grelina,

secretoneurina, leptina, hormona inhibidora de la gonadotropina (GNIH, *Gonadotropin-Inhibitory Hormone*), dopamina, serotonina, ácido gamma-aminobutírico (GABA, *Gamma-Aminobutyric Acid*), espexina, dinorfina y más (Biran y Levavi-Sivan, 2018; Ganesh, 2021).

Hipotálamo-hipófisis

El hipotálamo es el órgano neuroendocrino encargado de sintetizar varias hormonas, como GnRH, deca péptido cuya principal función es incitar la secreción de gonadotrofinas (GtH) en la hipófisis, como FSH o GtH I, que regula la vitelogénesis y la espermatogénesis, y LH o GtH II, encargada de la maduración del ovocito (Ganesh, 2021).

Gónadas

Las gonadotrofinas viajan por el torrente sanguíneo hasta las gónadas. La FSH se libera de la hipófisis anterior para inducir el desarrollo del ovocito, el cual es rodeado por células foliculares (granulosa y teca) durante su maduración. En las células de la granulosa se presenta la síntesis de 17β -estradiol (E_2) a partir de su precursor, la testosterona. Cuando las condiciones ambientales son óptimas y las hembras han captado los estímulos adecuados secretan LH, hormona encargada de la síntesis de las hormonas relacionadas con la maduración del ovocito y de la ovulación, como la $17\alpha,20\beta$ -dihydroxy-4-pregnen-3-ona ($17\alpha,20\beta$ -DP) y $17\alpha,20\beta,21$ -trihydroxy-4-pregnen-3-ona (20β -S) (Ganesh, 2021; Munakata y Kobayashi, 2010).

En los testículos, FSH cumple la función de sintetizar testosterona (T) en las células de Leyding, cuyo compuesto más importante es la 11-cetotestosterona, hormona encargada de estimular en las células de Sertoli un factor no esteroideo denominado activina B, el cual es responsable de la mitosis de las espermatogonias y de su transformación en espermatozoides. Cuando las condiciones ambientales son óptimas los machos secretan LH, encargada de la síntesis de la hormona inductora de maduración, $17\alpha,20\beta$ -dihydroxy-4-pregnen-3-ona ($17\alpha,20\beta$ -DP) y $17\alpha,20\beta,21$ -trihydroxy-4-pregnen-3-ona (20β -S), vinculada directamente con el proceso de espermiogénesis, maduración y espermiación (Pankhurst, 2008; Wootton y Smith, 2014).

Reconocimiento de hembras y machos para la reproducción

Como se mencionó al inicio, la mayoría de las especies de peces tienen un modo de reproducción externo, es decir, el macho libera espermatozoides en el medio (agua) para fertilizar óvulos, los cuales son fecundados fuera del cuerpo de la hembra. Pero, en un ambiente acuático, ¿cómo se ven atraídas las hembras y los machos?, ¿cómo se reconocen?

Lo anterior se debe a la liberación de hormonas y feromonas reproductivas, las cuales permiten que las hembras y los machos se vean atraídos, se reconozcan y se lleve a cabo el desove simultáneo, expulsión de ovocitos por parte de la hembra y de espermatozoides por parte de los machos (Kidd et al., 2013).

Los peces liberan hormonas y feromonas a través de las branquias, piel, orina, heces o gametos. Por tal motivo, éstas necesitan ser solubles en agua para tener un potencial que actúe como odorante (producción de olor, aroma). No obstante, los peces no tienen un sistema olfativo accesorio ni un órgano vomeronasal, aunque sí cuentan con tres tipos de células receptoras olfativas: ciliadas, microvellosas y criptas (Hubbard, 2018).

Algunos ejemplos de hormonas y feromonas reproductivas en peces teleósteos que influyen en la reproducción y el comportamiento, de acuerdo con Kidd et al. (2013) y Hubbard (2018), son 17β -estradiol (E_2), prostaglandina $F_{2\alpha}$ y 11-cetotestosterona; feromona preovulatoria femenina $17\alpha, 20\beta$ -dihidroxi-4-pregnen-3-ona; feromona urinaria masculina 5β -pregnane- $3\alpha, 17\alpha, 20\beta$ -triol-3-glucuronato; feromona urinaria femenina L-quinurenina (2-amino-4-(2-aminofenil)-4-ácido oxobutónico), y feromona masculina espermiante $17\alpha, 12\alpha, 24$ trihidroxi- 5α -colan-3-ona 24-sulfato (3-keto-petromyzonol sulfato o 3kPZS).

Conclusión

Los peces han adoptado diversas estrategias reproductivas que varían entre familias, especies y hábitats, las cuales les han permitido sobrevivir y reproducirse cuando las condiciones son favorables. Por ello, la comprensión de los mecanismos que regulan la función reproductiva es esencial para optimizar la reproducción y conservación *in situ* en centros acuícolas o de investigación.

Este tipo de estudios contribuyen al conocimiento de la biología reproductiva en peces y aportan información básica de gran interés para el control ambiental y hormonal de la reproducción.

Referencias

- Arcand-Hoy, L. D. y Benson, W. H. (2009). Fish reproduction an ecologically relevant indicator of endocrine disruption. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 17(1), 49-57. <https://doi.org/10.1002/etc.5620170108>
- Biran, J. y Levavi-Sivan, B. (2018). Endocrine of reproduction, fish. *Encyclopedia of Reproduction*, 6, 362-368. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.20579-7>
- Ganesh, C. B. (2021). The stress – reproductive axis in fish: the involvement of functional neuroanatomical systems in the brain. *Journal of Chemical Neuroanatomy*, 112, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2020.101904>
- Hubbard, P. C. (2018). Pheromones, fish. *Encyclopedia of Reproduction*, 6, 458-464. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.20592-X>
- Kidd, M. R., O'Connell, L. A., Kidd, C. E., Chen, C. W., Fontenot, M. R., Williams, S. J. y Hofmann, H. A. (2013). Female preference for males depends on reproductive physiology in the African cichlid fish *Astatotilapia burtoni*. *General and Comparative Endocrinology*, 180(1), 56-63. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2012.10.014>
- Mateos, J., Mañanos, E., Carrillo, M. y Zanuy, S. (2002). Regulation of follicle-stimulating hormone (FSH) and luteinizing hormone (LH) gene expression by gonadotropin-releasing hormone (GnRH) and sexual steroids in Mediterranean Sea bass. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 132(1), 75-86. [https://doi.org/10.1016/S1096-4959\(01\)00535-8](https://doi.org/10.1016/S1096-4959(01)00535-8)
- Munakata, A. y Kobayashi, M. (2010). Endocrine control of sexual behavior in teleost fish. *General and Comparative Endocrinology*, 165(3), 456-468. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2009.04.011>
- Muñoz Cueto, J. A. (2009). Cerebro y reproducción en peces: bases neurales y neuroendocrinas. En M. A. Carrillo Estévez (coord.), *La reproducción de los peces: aspectos básicos y sus aplicaciones en la acuicultura* (pp. 27-96). Fundación Observatorio Español de Acuicultura. <https://www.observatorio-acuicultura.es/recursos/publicaciones/la-reproduccion-de-los-peces-aspectos-basicos-y-sus-aplicaciones-en>
- Navarro-Flores, J., Ibarra-Castro, L., Martínez-Brown, J. M. y Zavala-Leal, O. I. (2019). Hermafroditismo en peces teleósteos y sus implicaciones en la acuicultura comercial. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 54(1), 1-10. <http://dx.doi.org/10.22370/rbmo.2019.54.1.1427>
- Pankhurst, N. W. (2008). Gonadal steroids: functions and patterns of change. En M. A. Rocha, Arukwe, A. y Kapoor, B. G. (eds.), *Fish reproduction* (pp. 67-111). Science Publishers. <https://doi.org/10.1201/b10747>

- Piferrer, F. (2009). Determinación y diferenciación sexual en los peces. En M. A. Carrillo Estévez (coord.), *La reproducción de los peces: aspectos básicos y sus aplicaciones en la acuicultura* (pp. 249-336). Fundación Observatorio Español de Acuicultura. <https://www.observatorio-acuicultura.es/recursos/publicaciones/la-reproduccion-de-los-peces-aspectos-basicos-y-sus-aplicaciones-en>
- Rocha, M. J. y Rocha, E. (2024). The diversity of reproductive styles exhibited by fish. *Encyclopedia of Fish Physiology*, 1, 567-590. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90801-6.00168-3>
- Wootton, R. J. y Smith, C. (2014). *Reproductive Biology of Teleost Fishes*. Wiley Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118891360>
- Yamamoto, Y. y Luckenbach, A. (2024). Sex determination and gonadal sex differentiation. *Encyclopedia of Fish Physiology*, 1, 552-566. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90801-6.00052-5>
- Yaron, Z. y Levavi-Sivan, B. (2011). Endocrine regulation of fish reproduction. En A. P. Farrell (ed.), *Encyclopedia of fish physiology. From genome to environment* (pp. 1500-1508). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374553-8.00058-7>
- Zanuy, S., Carrillo, M., Rocha, A. y Molés, G. (2009). Regulación y control hormonal del proceso reproductor de los teleósteos. En M. A. Carrillo Estévez (coord.), *La reproducción de los peces: aspectos básicos y sus aplicaciones en la acuicultura* (pp. 99-172). Fundación Observatorio Español de Acuicultura. <https://www.observatorio-acuicultura.es/recursos/publicaciones/la-reproduccion-de-los-peces-aspectos-basicos-y-sus-aplicaciones-en>