



Abanico Boletín Técnico. Enero-diciembre, 2026; 5:1-9. Clave: e2026-5.

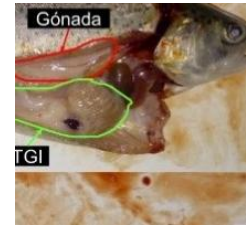
Artículo Original. Recibido:01/03/2026. Aceptado:21/06/2026. Publicado:21/10/2026.

<https://doi.org/10.21929/abanicoboletin/2026.10>

Probióticos autóctonos y su efecto en la maduración gonádica de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*)

Autochthonous probiotics and their effect on gonadal maturation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)

Ramírez-Torrez Alberto*¹ , Hernández-Hernández Héctor² ,
Monroy-Dosta Carmen¹ 



¹Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco. Departamento el Hombre y su Ambiente.

²Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. * Autor para correspondencia: José Alberto Ramírez-Torrez. Calzada del Hueso 1100, Coapa, Villa Quietud, alcaldía Coyoacán, C.P. 04960, Ciudad de México, México. E-mail: jramirezt@correo.xoc.uam.mx, luish3@yahoo.com, mmonroy@correo.xoc.uam.mx

RESUMEN

Los probióticos ofrecen diversos beneficios a la acuicultura y se aplican a nivel mundial de manera eficiente, con una visión sostenible para esta actividad, pero, algunos beneficios han sido poco estudiados, como su influencia en la reproducción; ya que estos microorganismos pueden regular la homeostasis del pez. Por lo que se genera bienestar en el organismo, y permite una mejor administración de la energía, para procesos biológicos, como la reproducción. Por ello, es importante comunicar algunos hallazgos, y las ventajas que este beneficio sobre la reproducción de los peces puede traer a la acuicultura. El objetivo fue determinar el efecto de los probióticos autóctonos sobre la actividad específica de enzimas digestivas y sobre el crecimiento. Se observó mayor actividad de las proteasas, lipasas, y la α -amilasa, y además se registró el desarrollo de gónadas de ambos sexos, en los peces alimentados con los probióticos, pero no en el grupo control.

Palabras clave: eje cerebro-estómago, cascada reproductiva.

ABSTRACT

Probiotics offer various benefits to aquaculture and are used efficiently worldwide with a sustainable approach to this industry; however, some benefits have been little studied, such as their influence on reproduction, since these microorganisms can regulate fish homeostasis. This promotes overall well-being in the organism and allows for better energy management for biological processes, such as reproduction. For this reason, it is important to share some findings and the advantages that this benefit regarding fish reproduction can bring to aquaculture. The objective was to determine the effect of autochthonous probiotics on the specific activity of digestive enzymes and on growth. Higher activity of proteases, lipases, and α -amylase was observed, and gonadal development in both sexes was also recorded in fish fed the probiotics, but not in the control group.

Keywords: brain-stomach axis, reproductive cascade.



INTRODUCCIÓN

La acuicultura es uno de los sectores de producción de alimentos de mayor crecimiento a nivel mundial; sin embargo, la intensificación de los sistemas de cultivo ha generado diversos desafíos relacionados con la salud, el bienestar y el desempeño productivo de los organismos acuáticos. En este contexto, el uso de probióticos ha surgido como una estrategia sostenible para mejorar la productividad y reducir la dependencia de compuestos químicos y antibióticos.

Los probióticos se definen como microorganismos vivos que, cuando son administrados en cantidades adecuadas y por la vía apropiada, establecen una relación benéfica con el hospedero. En la acuicultura de agua dulce, los probióticos más utilizados corresponden principalmente a bacterias ácido-lácticas y especies del género *Bacillus*, mientras que en la acuicultura marina se han empleado tanto bacterias como levaduras (Ringø *et al.*, 2022). Diversos estudios han demostrado que estos microorganismos ejercen efectos positivos sobre el hospedero y el ambiente, observándose en muchos casos una mayor eficacia de los probióticos autóctonos en comparación con los alóctonos (Hoseinifar *et al.*, 2018; Kawser *et al.*, 2022).

Los beneficios más ampliamente documentados de los probióticos están relacionados con la nutrición y la salud de los peces. Estos microorganismos pueden contribuir a la digestión mediante la producción de enzimas y nutrientes, competir con microorganismos patógenos por espacio y recursos, y modular la respuesta inmune del hospedero (Ringø *et al.*, 2020; Simón *et al.*, 2021). Como resultado, favorecen el bienestar de los peces (Carnevali *et al.*, 2017), permitiéndoles enfrentar de manera más eficiente el estrés asociado con sistemas de cultivo de alta densidad y optimizar el uso de energía para diversos procesos fisiológicos (Al-Shawi *et al.*, 2020; Markowiak y Śliżewska, 2018).

A pesar de los avances alcanzados en el conocimiento de los efectos de los probióticos sobre el crecimiento, la salud y la supervivencia de los organismos acuáticos, su influencia en la reproducción ha sido menos estudiada. La mayoría de las investigaciones se han enfocado en evaluar parámetros reproductivos de carácter técnico, como el número de huevos producidos, su viabilidad, los porcentajes de eclosión y la supervivencia de las crías (Sumón *et al.*, 2022). Sin embargo, existe escasa información sobre los mecanismos fisiológicos mediante los cuales los probióticos pueden influir en la maduración gonádica y en los procesos endocrinos asociados a la reproducción. Por ello, resulta necesario profundizar en el estudio de la relación entre los probióticos y la función reproductiva de los peces, con el fin de comprender mejor su potencial como herramienta biotecnológica para optimizar el desempeño reproductivo y la sostenibilidad de los sistemas acuícolas.



MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño experimental y manejo de los organismos

Se utilizaron 445 ejemplares juveniles de trucha arcoíris, *Oncorhynchus mykiss*, de un mes de edad y con un peso promedio de 1.8 ± 0.03 g, provenientes del Centro de Producción Acuícola de “El Zarco”, Estado de México. Los organismos fueron trasladados al Laboratorio de Producción Acuícola de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala de la Universidad Nacional Autónoma de México (FES Iztacala-UNAM), donde permanecieron en un periodo de acondicionamiento de 15 días previo al inicio del experimento. La selección de los peces se realizó de acuerdo con criterios externos de salud, tales como ausencia de deformidades, lesiones dérmicas y hemorragias.

Se empleó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos: un grupo control y tres grupos experimentales. Cada tratamiento estuvo conformado por 149 peces distribuidos en tres réplicas y mantenidos en tanques de plástico con capacidad de 160 L, conectados a sistemas independientes de recirculación de agua. Durante todo el experimento, los organismos fueron alimentados con una dieta comercial (Malta Clayton®, BioFingerling, diámetro de partícula de 1.5 mm) suministrada diariamente al 6 % de la biomasa total.

Las cepas probióticas utilizadas fueron previamente aisladas e identificadas a partir del intestino de *O. mykiss* mediante técnicas dependientes de cultivo y análisis molecular del gen 16S rRNA. Los tratamientos consistieron en la administración de *Bacillus pumilus*, *Bacillus* sp. y una mezcla de ambas cepas, mientras que el grupo control no recibió suplementación bacteriana. Las bacterias se incorporaron al alimento a una concentración de 1×10^7 UFC g⁻¹ de alimento.

El ensayo experimental tuvo una duración de ocho semanas. La administración de los probióticos se realizó de manera intermitente: durante la primera semana ningún grupo recibió bacterias; en la segunda semana los grupos experimentales fueron alimentados con la dieta suplementada, mientras que el grupo control recibió únicamente el alimento basal. Este esquema se alternó semanalmente hasta concluir el periodo experimental.

La respuesta de los organismos se evaluó mediante la determinación del crecimiento y de la actividad específica de enzimas digestivas, incluidas las proteasas totales, lipasas y α -amilasa, a las cuatro y ocho semanas de experimentación. Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza de una vía (ANOVA), con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, con el propósito de identificar diferencias entre tratamientos en la ganancia de biomasa y en la actividad enzimática.

Al finalizar el experimento, los peces permanecieron durante un mes adicional en los sistemas de recirculación bajo el mismo régimen de alimentación. Posteriormente, se practicó la eutanasia mediante una sobredosis de benzocaína, con base en las

recomendaciones descritas por Leary (2013). Se realizó la disección del 10 % de los organismos de cada tratamiento para examinar macroscópicamente los órganos internos. Finalmente, los ejemplares fueron transportados congelados a la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, donde fueron eliminados mediante incineración.

RESULTADOS

Se determinó que los peces no tuvieron ganancia significativa ($P > 0.05$) de biomasa como consecuencia del suministro de las cepas bacterias, respecto del grupo control. No obstante, la administración de probióticos autóctonos a través del alimento formulado tuvo un efecto significativo ($P < 0.05$) sobre la actividad específica de las proteasas totales, las lipasas, y la α – amilasa, comparado con el control. Una vez concluido el experimento, no se detectaron indicadores externos o internos de alguna patología asociada al cultivo en altas densidades. Durante la disección se observó la presencia de gónadas en ambos sexos, en los grupos alimentados con las bacterias probióticas autóctonas (Figura 1), pero no en los peces del grupo control.



TGI: tracto gastrointestinal.

Figura 1. *Oncorhynchus mykiss* de cinco meses de edad, alimentadas con probióticos autóctonos, con gónadas desarrolladas

DISCUSIÓN

En los últimos años, los probióticos han sido ampliamente estudiados como una herramienta para promover la sostenibilidad de la acuicultura, debido a sus efectos positivos sobre la salud, el crecimiento y el bienestar de los organismos cultivados ([Hasan](#)



& Banerjee, 2020). Particularmente, la microbiota autóctona ha despertado un creciente interés como fuente potencial de probióticos, ya que diversos estudios han demostrado que estas bacterias suelen generar respuestas más favorables que las cepas alóctonas, probablemente debido a la estrecha relación evolutiva que mantienen con su hospedero (Caipang *et al.*, 2020; Hoseinifar *et al.*, 2016; Wuertz *et al.*, 2021).

Los beneficios atribuidos a los probióticos incluyen la inhibición de microorganismos patógenos, la modulación de la respuesta inmune y la mejora de los procesos digestivos mediante la producción de enzimas extracelulares (El-Saadony *et al.*, 2021; Ray *et al.*, 2012). Estos efectos contribuyen a disminuir diferentes tipos de estrés y favorecen el bienestar de los peces (Mohapatra *et al.*, 2013; Nathanailides *et al.*, 2021), lo que permitió una utilización más eficiente de la energía disponible. Dado que la reproducción constituye uno de los procesos fisiológicos con mayor demanda energética en los peces (Volkoff & London, 2018), es razonable plantear que una mejora en la digestión y asimilación de nutrientes podría influir positivamente sobre el desarrollo gonadal.

En estudios de investigación, aunque no se detectaron diferencias significativas en la ganancia de biomasa, los organismos tratados desarrollaron gónadas, lo que sugiere una posible reasignación de recursos energéticos hacia la función reproductiva en lugar del crecimiento somático. Este comportamiento coincide con lo descrito para numerosos peces, en los que el inicio de la maduración sexual suele acompañarse de una disminución en la tasa de crecimiento corporal (Gjerde, 1986; Saborido-Rey, 2016).

Diversos estudios respaldan la hipótesis de que los probióticos pueden influir directamente sobre la reproducción de los peces. Por su parte, Gioacchini *et al.* (2010) demostraron que la administración de *Lactobacillus rhamnosus* IMC 501® incrementó el índice gonadosomático y la expresión de genes relacionados con la esteroidogénesis y la vitelogénesis en *Danio rerio*. De manera similar, Safari *et al.* (2022) observaron un aumento en la expresión de receptores de la hormona folículo estimulante en respuesta a diferentes concentraciones de *Lactobacillus casei*, mientras que Vélchez *et al.* (2015) reportaron una regulación positiva de genes asociados con la espermatogénesis en la anguila europea. En conjunto, estos estudios sugieren que los probióticos pueden actuar más allá de la nutrición, ya que pueden modular mecanismos endocrinos involucrados en la reproducción.

Los resultados observados en el presente estudio son consistentes con los reportes de Avella *et al.* (2012), quienes demostraron que *L. rhamnosus* aceleró la maduración sexual del pez cebra, y redujo significativamente el tiempo requerido para alcanzar la etapa reproductiva. De manera semejante, las truchas arcoíris alimentadas con probióticos desarrollaron gónadas aproximadamente a los cinco meses de edad, una edad considerablemente menor a la reportada para la madurez sexual de esta especie. Asimismo, observaciones realizadas en otros organismos acuáticos, como *Procambarus*



sp. y *Chirostoma* sp., sugieren que este fenómeno podría extenderse a diferentes grupos taxonómicos cuando se emplean probióticos autóctonos.

Aunque los mecanismos responsables de estos efectos aún no se comprenden completamente, existe evidencia que relaciona el estado nutricional con la activación del eje cerebro-hipófisis-gónada. En este sentido, una mayor digestión y absorción de nutrientes podría favorecer la síntesis de hormonas reproductivas y estimular los procesos de gametogénesis y maduración gonadal. Esta hipótesis coincide con lo propuesto por Akbari *et al.* (2020), quienes reportaron mejoras significativas en el desempeño reproductivo de hembras maduras de *Oncorhynchus mykiss* alimentadas con un consorcio bacteriano comercial.

A pesar de estos avances, aún existe una importante falta de información acerca de las rutas moleculares mediante las cuales los probióticos influyen en la reproducción de los peces. Por ello, futuras investigaciones deberán enfocarse en evaluar la expresión de genes clave relacionados con la regulación endocrina de la reproducción, tales como *kiss1*, *kiss1r*, hormona folículo estimulante, hormona luteinizante y vitelogenina, así como cuantificar los niveles hormonales asociados con estos procesos. De igual forma, será necesario determinar si las bacterias probióticas producen metabolitos capaces de actuar como señales que estimulen el eje cerebro-gónada. La comprensión de estos mecanismos permitiría desarrollar estrategias biotecnológicas que reduzcan la dependencia de tratamientos hormonales para inducir la reproducción, incrementen el bienestar animal y contribuyan al desarrollo de sistemas acuícolas más sostenibles.

CONCLUSIÓN

La suplementación de *Bacillus pumilus* y *Bacillus* sp. a una concentración de 1×10^7 células g^{-1} de alimento formulado promovió el desarrollo gonádico en *Oncorhynchus mykiss*, lo que sugiere un posible efecto de estas bacterias sobre los procesos fisiológicos asociados a la reproducción. Aunque la administración de los probióticos no produjo incrementos significativos en la ganancia de biomasa, sí generó un aumento significativo en la actividad específica de proteasas, lipasas y α -amilasa, lo que indica una mejora en la capacidad digestiva de los organismos. Estos resultados sugieren que la energía y los nutrientes derivados de una mayor actividad enzimática podrían haberse destinado preferentemente al desarrollo gonadal en lugar del crecimiento somático. En conjunto, los hallazgos demuestran el potencial de los probióticos autóctonos como herramientas biotecnológicas para favorecer la función reproductiva de la trucha arcoíris y respaldan la necesidad de profundizar en el estudio de los mecanismos fisiológicos y moleculares involucrados.



REFERENCIAS

- AL-SHAWI, SG, Dang DS, Yousif AY, Al-Younis ZK, Najm TA, Matarneh SK. 2020. The potential use of probiotics to improve animal health, efficiency, and meat quality: a review. *Agriculture*. 10:e452. <https://doi.org/10.3390/agriculture10100452>
- AKBARI N, E, Falahatkar B, Sajjadi MM. 2020. Dietary supplementation of probiotics and influence on feed efficiency, growth parameters and reproductive performance in female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) broodstock. *Aquaculture Nutrition*. 26:98-108. <https://doi.org/10.1111/anu.12970>
- AVELLA MA, Place A, Du S-J, Williams E, Silvi S, Zohar Y, Carnevali O. 2012. *Lactobacillus rhamnosus* accelerates zebrafish backbone calcification and gonadal differentiation through effects on the GnRH and IGF systems. *PLoS ONE*. 7:e45572. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045572>
- CAIPANG CMA, Suharman I, Avillanosa AL, Bargoyo VT. 2020. Host-derived probiotics for finfish aquaculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 430:e012026. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/430/1/012026>
- CARNEVALI O, Maradonna F, Gioacchini G. 2017. Integrated control of fish metabolism, wellbeing and reproduction: The role of probiotic. *Aquaculture*. 472:144-155. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.03.037>
- EL-SAADONY MT, Alagawany M, Patra AK, Kar I, Tiwari R, Dawood MAO, Dhama K, Abdel-Latif HMR. 2021. The functionality of probiotics in aquaculture: An overview. *Fish y Shellfish Immunology*. 117:36-52. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.07.007>
- GIOACCHINI G, Maradonna F, Lombardo F, Bizzaro D, Olivotto I, Carnevali O, 2010. Increase of fecundity by probiotic administration in zebrafish (*Danio rerio*). *Reproduction*. 140:953–959. <https://doi.org/10.1530/REP-10-0145>
- GJERDE B. 1986. Growth and reproduction in fish and shellfish. *Aquaculture*. 57(1):37-55. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(86\)90179-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(86)90179-1)
- HASAN KN, Banerjee G. 2020. Recent studies on probiotics as beneficial mediator in aquaculture: a review. *The Journal of Basic and Applied Zoology*. 81:53. <https://link.springer.com/article/10.1186/s41936-020-00190-y>



HOSEINIFAR SH, Sun Y-Z, Wang A, Zhou Z. 2018. Probiotics as means of diseases control in aquaculture, a review of current knowledge and future perspectives. *Frontiers in Microbiology*. 9:e2429. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02429>

HOSEINIFAR SH, Ringø E, Shenavar MA, Esteban MÁ. 2016. Probiotic, prebiotic and synbiotic supplements in sturgeon aquaculture: A review. *Reviews in Aquaculture*. 8(1): 89-102. <https://doi.org/10.1111/raq.12082>

KAWSER AQMR, Islam T, Alam MS, Rahman MM, Salam MA. 2022. Mechanisms of the beneficial effects of probiotic *Bacillus* spp. In Aquaculture. *In Bacilli in Agrobiotechnology*. Pp. 453-486. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85465-2_20

LEARY SL. 2013. AVMA guidelines for the euthanasia of animals. 2013 edition. *American Veterinary Medical Association*. ISBN 978-1-882691-21-0.

MARKOWIAK P, Śliżewska K. 2018. The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition. *Gut Pathogens*. 10:21. <https://doi.org/10.1186/s13099-018-0250-0>

MOHAPATRA S, Chakraborty T, Kumar V, DeBoeck G, Mohanta KN. 2013. Aquaculture and stress management: A review of probiotic intervention: Stress management by probiotics administration. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 97(3):405-430. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2012.01301.x>

NATHANAILIDES C, Kolygas M, Choremi K, Mavraganis T, Gouva E, Vidalis K, Athanassopoulou F. 2021. Probiotics Have the Potential to Significantly Mitigate the Environmental Impact of Freshwater Fish Farms. *Fishes*. 6(4):76. <https://doi.org/10.3390/fishes6040076>

RAY AK, Gosh KS, Ringø E. 2012. Enzyme-producing bacteria isolated from fish gut: a review. *Aquaculture Nutrition*. 18:465-492. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2012.00943.x>

RINGØ E, Li X, Doan H, Ghosh K. 2022. Interesting probiotic bacteria other than the more widely used lactic acid bacteria and bacilli in finfish. *Frontiers in Marine Science*. 9:e848037. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.848037>



RINGØ E, Van Doan H, Lee SH, Soltani M, Hoseinifar SH, Harikrishnan R, Song SK. 2020. Probiotics, lactic acid bacteria and bacilli: Interesting supplementation for aquaculture. *Journal of Applied Microbiology*. 129:116–136.

<https://doi.org/10.1111/jam.14628>

SABORIDO-REY F. 2016. Fish Reproduction. En J. K. Cochran, H. J. Bokuniewicz, P. L. Yager (Eds.), *Encyclopedia of Ocean Sciences*. Third Edition. Pp. 232-245. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09708-6>

SAFARI R, Imanpour M R, Hoseinifar S H, Faheem M, Dadar M, Van Doan H. 2022. Effects of dietary *Lactobacillus casei* on the immune, growth, antioxidant, and reproductive performances in male zebrafish (*Danio rerio*). *Aquaculture Reports*: 25:e101176. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101176>

SIMÓN R, Docando F, Nuñez-Ortiz N, Tafalla C, Díaz-Rosales P. 2021. Mechanisms used by probiotics to confer pathogen resistance to teleost fish. *Frontiers in Immunology*. 12:e653025. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.653025>

SUMÓN MAA, Molla MHR, Hakeem IJ, Ahammad F, Amran RH, Jamal MT, Gabr MH, Islam MdS, Alam MdT, Brown CL, Lee E-W, Moulay M, Asseri AH, Opo FADM, Alsaiani AA, Hasan MdT. 2022. Epigenetics and probiotics application toward the modulation of fish reproductive performance. *Fishes*. 7:e189. <https://doi.org/10.3390/fishes7040189>

VÍLCHEZ MC, Santangeli, S, Maradonna F, Gioacchini G, Verdenelli C, Gallego V, Peñaranda DS, Tveiten H, Pérez L, Carnevali O, Asturiano JF. 2015. Effect of the probiotic *Lactobacillus rhamnosus* on the expression of genes involved in European eel spermatogenesis. *Theriogenology*. 84(8):1321-1331. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.07.011>

VOLKOFF H, London S. 2018. Nutrition and reproduction in fish. En *Encyclopedia of Reproduction*. Pp. 743-748. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.20624-9>

WUERTZ S, Schroeder A, Wanka K. M. 2021. Probiotics in fish nutrition—long-standing household remedy or native nutraceuticals? *Water*. 13(10):1348. <https://doi.org/10.3390/w13101348>