

# Hot Science



# *Nadando entre peces y sus genes: ingeniería genética en piscicultura*

*Swimming among fish and their genes: genetic engineering  
in fish farming*

## **Resumen**

Actualmente enfrentamos el desafío de garantizar la producción sostenible de alimentos saludables y de calidad. Por esta razón, en diversos sistemas de producción alimentaria se desarrollan y aplican tecnologías que favorecen la productividad. En la piscicultura, es clave incrementar la producción, el rendimiento, el valor nutricional y la sustentabilidad de los productos, siendo fundamental la modificación genética. En este artículo se exponen los avances y aplicaciones de la ingeniería genética en piscicultura. También se discuten algunos métodos utilizados y se abordan debates éticos y ambientales. Se concluye destacando el potencial de esta tecnología para garantizar la seguridad alimentaria y sostenibilidad.

**Palabras clave:** Piscicultura, ingeniería genética, tilapia.

## **Summary**

We currently face the challenge of guaranteeing the sustainable production of healthy and quality foods. For this reason, technologies that promote productivity are developed and applied in various food production systems. In fish farming, it is key to increase product production, performance, nutritional value, and sustainability, with genetic modification essential. This article presents the advances and applications of genetic engineering in fish farming. Some methods used are also discussed and ethical and environmental debates are addressed. It concludes by highlighting the potential of this technology to guarantee food security and sustainability.

**Keywords:** fish farming, genetic engineering, tilapia.

*Leticia Félix-Cuencas*

*Jesús Josafat de León-Ramírez\**

*Samuel López-Tejeda*

*Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de  
Ingeniería, Querétaro, México.*

*\*Autor para la correspondencia:  
leonjjrmz@gmail.com*

## **Ingeniería genética en peces**

La ingeniería genética implica el uso del conocimiento y la aplicación tecnológica de la biología molecular, con la finalidad de modificar secuencias de ADN en los genomas de las especies [1]. Este campo abarca una amplia gama de enfoques, con aplicaciones destacadas en todas las etapas del ciclo de vida de un organismo: desde el nacimiento con modificaciones en la reproducción hasta su desarrollo completo. La ingeniería genética incide en la producción de alimentos mejorados, la resistencia a patógenos, mejores tasas de crecimiento y la producción de medicamentos, por mencionar algunos [2]. En lo que respecta a la producción de alimentos para el ser humano, especialmente con la creciente demanda de productos con mayor calidad nutricional, la mejora genética desempeña un papel crucial. Además, contribuye a obtener productos amigables con el ambiente a través de sistemas de producción más eficientes y sustentables.

Los primeros intentos de manipulación genética en la acuicultura se remontan a los inicios de esta actividad, hace aproximadamente 2000 años. Desde entonces, se ha llevado a cabo a través de métodos como la selección

artificial y cruza de organismos con características deseables, descartando aquellos con rasgos no adecuados a los requerimientos del acuicultor. Durante estos primeros esfuerzos, los acuicultores observaban y seleccionaban cuidadosamente los peces que mostraban los mejores rasgos para la reproducción, crecimiento rápido o mejores características físicas.

Sin embargo, este enfoque tradicional de cambio en las frecuencias genéticas del fenotipo ha sido superado por las actuales técnicas de ingeniería genética. Hoy en día, la ingeniería genética abarca desde la selección y cruce de peces con rasgos deseables, hasta la inserción de genes específicos en el ADN utilizando la biotecnología en laboratorios. Estas técnicas permiten la manipulación precisa del genoma resultando en avances significativos para la acuicultura.

Entre las mejoras logradas en peces gracias a la manipulación genética, se encuentran el aumento en la velocidad de crecimiento, una mayor eficiencia en la alimentación y conversión en ganancia en peso del organismo, resistencia a enfermedades, tolerancia a condiciones ambientales adversas como la escasez de oxígeno o bajas temperaturas, adaptabilidad a altas densidades de cultivo, reducción del estrés de la manipulación, incrementar la fertilidad; así como mejorar características para el consumo humano, como un mayor contenido de nutrientes o una mejor textura y sabor. Estas innovaciones no solo benefician a la

industria acuícola, sino que también tienen implicaciones positivas para la seguridad alimentaria global y la conservación de los recursos naturales.

Entre las especies más utilizadas en acuicultura se encuentra la tilapia (Fig. 1), peces de origen africano que pertenecen a la familia Cichlidae. Esta especie es conocida por su fácil manejo en cautiverio y altas tasas de reproducción, lo que la convierte en una opción conveniente para la producción; sin embargo, esta misma característica puede representar una desventaja debido a que la precocidad en la madurez sexual y en la etapa reproductiva de la tilapia pueden resultar en un crecimiento no homogéneo de los individuos, ya que la energía proveniente del alimento se concentra en las actividades reproductivas en lugar del crecimiento. Esta situación genera un desafío para los acuicultores, quienes ven mermado el rendimiento y la eficiencia de sus cultivos.

Para abordar esta problemática, algunas estrategias de manipulación genética se enfocan en obtener poblaciones monosexo, priorizando a los machos debido a su mayor tasa de crecimiento con respecto a las hembras; entre estas estrategias destacan:



Figura 1. Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*).



Figura 2. Crías de peces alimentados con hormona para reversión sexual.

1. Producción de peces estériles: la cual puede ser generada a través de irradiación, de tratamientos químicos u hormonales.
2. Producción de híbridos: en donde se llevan a cabo cruces de diferentes especies, seleccionando alguna que esté más orientada al crecimiento y no a la madurez sexual, o especies que se sepan tienen mayor porcentaje reproductivo de machos. Con lo anterior, se pueden obtener altos porcentajes de machos, pero no se asegura el 100%.
3. Reversión sexual: este método consiste en tratar a las larvas con hormonas masculinizantes, para inducir el desarrollo de características masculinas en individuos genéticamente femeninos. (Fig. 2).

De las estrategias mencionadas previamente, la reversión sexual mediante la aplicación de hormonas es la más común. Sin embargo, este método genera preocupaciones debido a las posibles consecuencias en la salud humana e implicaciones ambientales que puede provocar. Por esta razón se buscan estrategias que garanticen poblaciones monosexo sin recurrir al uso de hormonas. Ante ello, uno de los avances más exitosos en la mejora genética es la producción de individuos monosexo con material genético YY.

Esta técnica ha demostrado mejorar tanto el crecimiento como la calidad de la carne,

convirtiéndose en una opción altamente atractiva para los productores de peces. En esencia, consiste en la producción de machos de tilapia con doble cromosoma sexual Y (YY), conocidos como “supermachos”, que al ser cruzados con hembras (XX), garantizan una descendencia compuesta solo por machos (XY). Es importante mencionar que este proceso sí requiere la aplicación de hormonas en la primera etapa de reproducción (primer cruce); sin embargo, para la obtención de supermachos (segunda cruce), no es necesario el uso de las mismas, lo que asegura que a partir de esta etapa los peces que habrán de ser cultivados se encuentren libres de químicos [3] (Fig. 3). La implementación de esta técnica ha tenido un impacto significativo en la acuicultura de la tilapia. Los supermachos permiten una mayor uniformidad en el tamaño y el crecimiento, además de reducir los tiempos de cultivo y los costos asociados, lo que resulta en lotes de producción más consistentes y de alta calidad.

### **Limitantes**

La ingeniería genética en peces presenta diversas limitaciones relacionadas con la necesidad de generar mayor conocimiento y avances en la investigación; faltando aún áreas por explorar, como la identificación de genes específicos responsables de características deseables y la comprensión completa de los impactos a largo plazo. Otro desafío importante es el

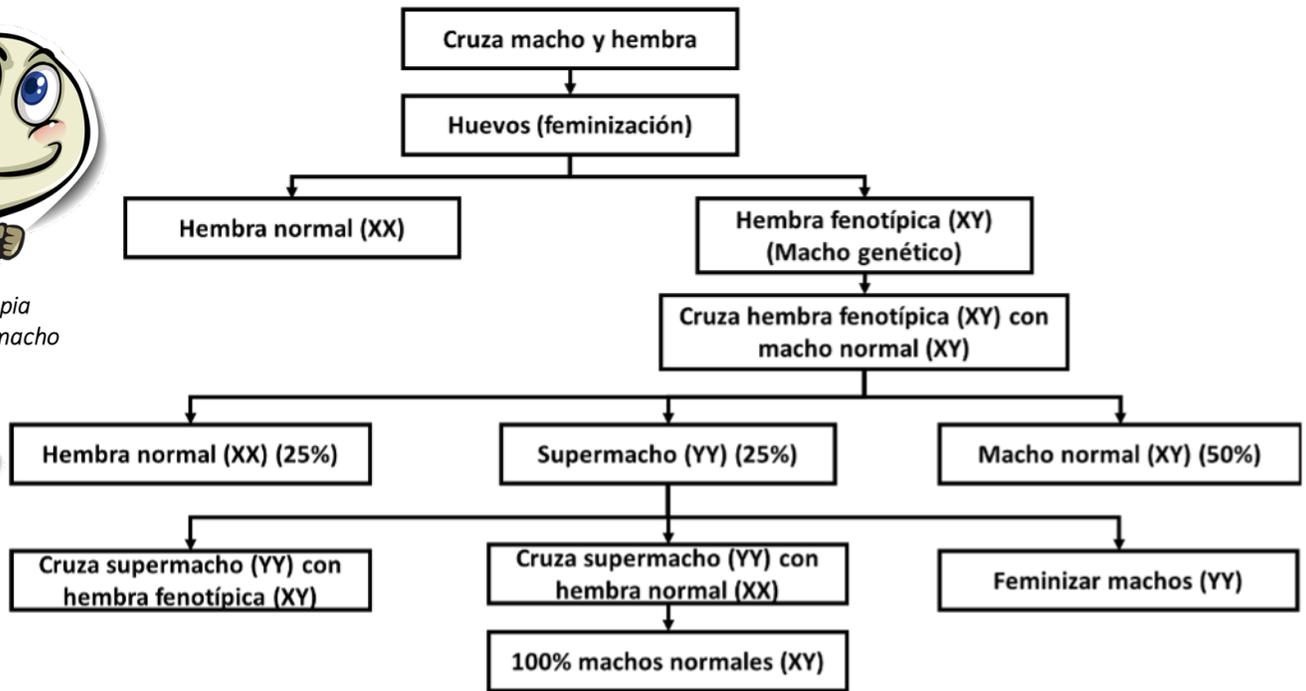


Figura 3. Diagrama de flujo para la producción de machos YY (supermachos) (modificado de [2]).

económico, ya que la implementación de ingeniería genética en peces requiere una inversión considerable en infraestructura, equipos de alta tecnología y personal capacitado, lo cual pueden ser prohibitivo para muchos productores. Además, la percepción de los consumidores juega un papel crucial en la aceptación de los productos de la ingeniería genética en la industria piscícola. La falta de información adecuada puede suscitar preocupaciones y desconfianza en relación con la ingeniería genética aplicada a los peces.

### Consideraciones éticas

Los avances científicos en ingeniería genética han planteado preocupaciones de índole moral, cultural y religioso. En respuesta a esto, surge la bioética como un puente que conecta la conciencia moral con los avances tecnológicos y los nuevos descubrimientos, necesitando normar estas investigaciones científicas y avances tecnológicos. Aunado a esto, la sociedad actual muestra una creciente preocupación por el bienestar animal y los ecosistemas, teniendo como ejemplo las deformaciones corporales en peces transgénicos, como ha sucedido con el salmón. Dicha preocupación lleva a abordar con responsabilidad las implicaciones

de la manipulación genética en la acuicultura, por lo que es esencial actuar con gran responsabilidad.

Por lo anterior, es necesario contar con un profundo conocimiento de la especie y sus características biológicas y ecológicas, así como plantear análisis de riesgo frente a las posibles consecuencias que podrían derivarse de la introducción de organismos no nativos y que genéticamente fueron mejorados en el medio natural. El llamado a la responsabilidad en la manipulación genética de especies acuícolas no solo busca garantizar la salud y bienestar de los animales involucrados, sino también preservar la integridad y equilibrio de los ecosistemas donde estas especies coexisten.

### Perspectiva

Por lo mencionado anteriormente, y con el propósito de ampliar el conocimiento científico sobre estas herramientas, mejorar la calidad de los productos básicos destinados al consumo humano y al mismo tiempo garantizar el bienestar de las especies cultivadas, en la actualidad y en todo el mundo se están llevando a cabo investigaciones enfocadas en cumplir con la generación de alimentos de alta calidad y con altos rendimientos [4, 5], adaptados a las



Figura 4. Proyecto de mejoramiento de líneas genéticas en zonas semidesérticas.

condiciones específicas de cada sitio de producción. Proyectos que demuestran el compromiso con la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías para mejorar los sistemas de producción alimentaria (Fig. 4). Se espera que estos esfuerzos continúen en el futuro, con un enfoque cada vez mayor en la mejora genética de las especies acuícolas y el fortalecimiento de la seguridad alimentaria [6].

### Conclusión

La acuicultura está tratando de innovar hacia la sustentabilidad, buscando alcanzar mayores rendimientos con menor impacto en el ambiente. Sin embargo, es indispensable considerar la regulación y aspectos éticos para la implementación de estrategias que nos ayuden a enfrentar los retos de hoy en día y con ello, ayudar en la disminución del hambre y la malnutrición, cuyas problemáticas exigen la adopción de medidas novedosas, convirtiendo a la ingeniería genética en una herramienta esencial. **iBIO**

### Referencias

- [1] Lanigan, T. M., Kopera, H. C., y Saunders, T. L. (2020). Principles of genetic engineering. *Genes*, 11(3), 291. <https://doi.org/10.3390/genes11030291>
- [2] Guerrero-Caicedo, R. G. (2021). Conflictos éticos de la ingeniería genética. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(1), 77-82. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202021000100077&lng=es&t-Ing=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202021000100077&lng=es&t-Ing=es)
- [3] Alcántar-Vázquez, J.P., Santos-Santos, C., Moreno de la Torre, R. y Antonio-Estrada, C. (2013). Manual para la producción de supermachos de Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). UNPA-PIFI, Oaxaca, México.
- [4] Jiang, D. N., Peng, Y. X., Huang, Y. Q., Kuang, Z. Y., Yang, K. S., Mustapha, U. F., ... & Li, G. L. (2020). A new method to produce YY super-male Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by using naturally sex-reversed XY female. *Journal of Fisheries of China*, 44, 1862-1872. <https://doi.org/10.11964/jfc.20191112084>
- [5] Liaqat, S., Hussain, M., Malik, M. F., y Aslam, A. (2021). Genome Based Research in Aquaculture. *Journal of Bioresource Management*, 8 (1), 7. <https://doi.org/10.35691/JBM.1202.0166>
- [6] FAO (2022). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo: adaptación de las políticas alimentarias y agrícolas para hacer las dietas saludables más asequibles. Roma 2022. Pag. 2.