

BOLETIN 1001

EDICIÓN GÉNICA DEL CAMARÓN

Elizabeth Bravo

Alrededor del 50% de la camaricultura a nivel mundial se hace con el camarón vannamei o camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*), y Ecuador es el primero exportador mundial de este crustáceo.

De acuerdo a la FAO la expansión del cultivo del camarón ha generado muchas preocupaciones ambientales y sociales, pues se construyen las piscinas en ecosistemas naturales, como bosques de manglar, aunque ahora se están expandiendo hacia humedales y tierras agrícolas (por ejemplo, donde antes había arrozceras), contaminando el agua superficial, subterránea y costeras, por infiltración de la salinidad. La corta vida de las piscinas hace que tengan que ser abandonadas en poco tiempo, bajo un estilo parecido al de roza y quema, luego se desplazan a otras áreas, dejando los suelos salinizados. Se hace un sobreuso de harinas de origen marino alterando los ecosistemas marinos. Otros balanceados se hacen de trigo, maíz y soya, utilizando tierras que deberían estar destinadas a la soberanía alimentaria. Se pone además en peligro la biodiversidad del camarón y el tipo de cría hace que sea propicio la aparición de agentes patógenos, lo que demanda el uso de biocidas. Para evitar la proliferación de algas, se usa además herbicidas. Todo esto termina en los cuerpos de agua aledaños. Y el resultado final son conflictos sociales con otros usuarios de estos ecosistemas (FAO, 2009).

La aplicación de la tecnología CRISPR en camarones es un campo completamente nuevo y experimental, y uno de sus principales problemas es la baja eficiencia de la manipulación genética. En mamíferos la tasa puede ser del 50 %, al igual que en especies modelo de insectos. En contraste, la edición genética en camarones suele enfrentarse a una baja supervivencia después de la manipulación, a lo que se suma una elevada proporción de individuos quiméricos.

Crustáceos como el camarón blanco del Pacífico, se desarrollan rápidamente, son sensibles a la manipulación y pueden sufrir lesiones o infecciones durante la microinyección, lo que reduce la supervivencia (Xu et al., 2019).

SECUENCIACIÓN COMO MATERIA PRIMA PARA LA EDICIÓN GÉNICA

Para trabajar en edición genética se debe conocer la funcionalidad de estos genes, dónde, cuándo y cómo funcionan. Para ello se debe hacer previamente estudios genómicos y transcriptómicos, sobre todo, los que están asociados con las características que se quiere alterar.

Los estudios genómicos estudian toda la información contenida en el ADN, y permiten identificar las variaciones genéticas y comprender su relación con funciones biológicas.

Los estudios transcriptómicos analizan todas las moléculas de ARN en una célula. El ARN copia la información de segmentos de ADN para sintetizar proteínas, que son las moléculas que realizan la mayoría de funciones importantes en las células. La transcriptómica se usa para aprender más acerca de la manera en que los genes se expresan en diferentes tipos de células y en diferentes momentos del desarrollo de un organismo.

En el camarón estos estudios han mostrado que el genoma del camarón es grande y complejo. El tamaño del genoma diploide del camarón vannamei es de aproximadamente 1,66 Gb y contiene alrededor de 25.600 genes codificantes, en 44 pares de cromosomas¹.

Para avanzar con las investigaciones, se están construyendo bases de datos genómicas y transcriptómicas de camarones. Varias bases de datos públicas internacionales (como los repositorios Genome y SRA del NCBI) ya incluyen secuencias genómicas y conjuntos de datos transcriptómicos de diversas especies de camarón (Wang, 2025).

En las aplicaciones de CRISPR en camarones, los investigadores suelen seleccionar los genes que están estrechamente relacionados con el carácter de interés y cuya función esté claramente definida (Miao et al., 2023).

EDICIÓN GÉNICA PARA LA CRIANZA INDUSTRIAL DE CAMARÓN

¹ En comparación, el ser humano tiene entre 20 y 25 mil genes.

En la industria camaronera, las características que más se trabaja en edición génica están ligadas al modelo de acumulación capitalista: acelerar el crecimiento y aumentar el tamaño para maximizar ganancias; resistencia a condiciones ambientales extremas para ampliar la frontera camaronera hacia lugares donde normalmente no podrían desarrollarse, y enfrentar los problemas provocados por el modelo con el que se cría el camarón industrial, como la emergencia de enfermedades virales, con más tecnología.

CONTROL / ACELERACIÓN DE LA REPRODUCCIÓN

La ablación del pedúnculo ocular es la extirpación de uno o ambos pedúnculos oculares de un crustáceo. El pedúnculo ocular es una protuberancia que separa el ojo del cuerpo, dándole al animal un mejor campo de visión. son un tipo de tentáculo especializado.

Detrás del ojo del camarón existe un centro hormonal que inhibe la maduración reproductiva, en condiciones normales. Al retirar uno de los ojos, disminuye esa señal hormonal y la hembra entra más rápido en madurez sexual, aumentando la producción de huevos, con el fin de acelerar la reproducción de las hembras.

Esta práctica es usada rutinariamente en las hembras de camarón en casi todas las instalaciones de maduración o reproducción de camarón del mundo, tanto en las etapas de investigación como cría comercial. El objetivo de la ablación es estimular al camarón hembra para que desarrolle ovarios maduros y desove, pues se eliminan los inhibidores gonadales y promover así la maduración de las gónadas del camarón.

Pero para la industria camaronera esta práctica demanda mucha mano de obra. Entonces entra la edición génica para modificar directamente los genes que controlan la reproducción. Se han secuenciado e identificado en distintas especies de camarón genes de hormonas endocrinas que controlan la diferenciación sexual y la maduración, como la hormona inhibidora de la gónada (GIH) y el gen de la hormona de la glándula androgénica (IAG) (Ferdous et al., 2012).

La idea es inhibir la hormona inhibidora de la gónada (GIH) secretada en el pedúnculo ocular con la tecnología CRISPR, o aplicando esta tecnología a otras hormonas / proteínas involucradas en el desarrollo ovárico de las hembras.

CRECIMIENTO

El crecimiento de los crustáceos es intermitente y se centra en la muda, con músculos que exhiben una alta plasticidad, manifestada principalmente a través de la atrofia reversible inducida por la muda. A medida que los crustáceos experimentan mudas periódicas, sus músculos muestran crecimiento y atrofia cíclicos. En consecuencia, los mecanismos moleculares y genes que regulan el crecimiento muscular de los crustáceos tienen una naturaleza única.

A pesar de que se han hecho muchos esfuerzos en el estudio de los mecanismos de crecimiento de los crustáceos en los últimos años, todavía existen limitaciones en la comprensión de la interacción entre la muda y el crecimiento, la influencia de los factores ambientales, los mecanismos de regulación epigenética y el desarrollo de biomarcadores de crecimiento (Bu et al, 2025).

En ese esfuerzo por comprender algunos de estos mecanismos, Bu y sus colegas de la Universidad Hebei en China identificaron un gen que codifica una proteína estrechamente relacionada con diferencias en el crecimiento del camarón. Este gen se expresa en varios tejidos, etapas de desarrollo y periodos de muda. Utilizando el sistema CRISPR/Cas9, se manipuló este gen y se hizo evaluaciones posteriores de su crecimiento, mostrando que este gen está involucrado en incrementar el tamaño y la masa corporal de los camarones (comparado con los camarones naturales) (Bu et al., 2025).

Esto podría abrir una línea de experimentación para la biotecnología acuícola.

ENFERMEDADES

Uno de los problemas que enfrenta la industria camaronera es la enfermedad de la mancha blanca, causada por el virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV), que por muchos años hizo que Ecuador pierda su liderazgo mundial en la exportación de este marisco.

En Tailandia identificaron las proteínas que facilitan que la membrana de la célula celular del camarón se une con la proteína de la envoltura del virus, facilitando su entrada. Se ha identificado también que algunos factores de transcripción del camarón participan en el ciclo de replicación del virus dentro

de las células del camarón. A partir de estos conocimientos, se ha intentado utilizar CRISPR para inactivar estos genes y desarrollar variedades resistentes o menos susceptibles a la enfermedad (Pudgerd, et al, 2024).

En Perú en su tesis de maestría Zagarra Bermudez (2019) aplicó el sistema CRISPER/cas9 para abordar el problema del síndrome de la mancha blanca en espermatidas del camarón blanco del Pacífico. El autor señala que, aunque los análisis de los datos no son concluyentes, revelaron indicios de modificación genética en algunas muestras.

Por su parte Bayona y Dámeris (2020) aplicaron CRISPR/Cas9 en genes del camarón vannamei para enfrentar la misma enfermedad, usando un factor de transcripción que es usado por el promotor del virus de la mancha blanca. Las autoras concluyen que la generación de camarones con el gen genéticamente editados podrían ser resistentes al virus de la mancha blanca y proponen que su trabajo podría ser un punto de partida para nuevos estudios.

En relación con la resistencia a enfermedades, algunos estudios han encontrado que determinadas longitudes de microsatélites en el genoma del camarón vannamei se asocian con respuestas antivirales: los individuos portadores de repeticiones más cortas presentan mayor resistencia a los virus de la mancha blanca y de la iridiscencia (Yin et al., 2023). Esto sugiere la existencia de alelos naturales de resistencia a enfermedades en las poblaciones de camarón, que pueden aprovecharse en programas de mejoramiento asistido por marcadores moleculares.

ESTRÉS ABIÓTICO

Varios estudios de secuenciación en camarones se realizan para identificar genes relacionados con el estrés abiótico en el camarón, como alta salinidad o temperaturas.

Aunque el camarón se puede cultivar bajo una amplia gama de salinidades, en un estudio hecho por institutos de la Academia China de Ciencia, encontraron que diferentes familias, mostraban varias tolerancias a la alta salinidad. Para conocer los mecanismos que expliquen las diferencias encontradas en familias tolerantes y susceptibles, hicieron un análisis de transcriptoma comparativo, e identificaron varios genes responsables de esas diferencias. El estudio identificó algunas vías o genes asociados con la tolerancia del camarón a la alta salinidad. Los genes identificados dieron pistas para desentrañar el

mecanismo molecular de la tolerancia del camarón a la alta salinidad (Luo et al., 2022)

EPÍLOGO

Como sucede con otros organismos genéticamente editados, estos pueden incluir varios de los riesgos inherentes de la edición génica, incluyendo:

Efectos fuera del objetivo (off-target), por ejemplo, que el ARN guía identifique secuencias de ADN parecidas, pero no iguales a la buscada, y la enzima CRISPR las corta o modifica.

Se puede producir además grandes reordenamientos de ADN por pérdidas masivas de material genético, inversiones o uniones anormales, tras la ruptura del ADN.

Respuestas negativas de las defensas naturales de la célula frente al daño celular, generando proteínas toxicidad o favoreciendo el crecimiento de células dañinas.

Efectos pleiotrópicos, que ocurre cuando se producen mutaciones en un gen que controlar varias funciones en la célula. Esta mutación puede producir diversas respuestas impredecibles.

Efectos a largo plazo desconocidos, pues al ser tecnologías experimentales, aún no se comprenden totalmente cómo van a comportarse los organismos editados a largo plazo.

Adicionalmente no se conoce cómo pueden interactuar estos organismos editados en sistemas tan artificiales como son las piscinas camaroneras.

Finalmente queda la pregunta de cuál será la respuesta de los consumidores.

REFERENCIAS

Bu Y.K., Liu Y.J., Wang R.X., Wang S.P., Zhang C.Y., Zhang X., Sun Y.Y., and Zhang J.Q., 2025, CRISPR/Cas9-mediated deletion of Mmd2 gene affects the growth of *Exopalaemon carinicauda*, *Aquaculture*, 599: 742127.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.742127>

Esquén Bayona, Dámaris A. (2020). Edición genómica en el “langostino blanco” *Litopenaeus vannamei* mediada por el sistema CRISPR/Cas9 dirigida al gen LvYY1 implicado en la infección del virus de la mancha blanca. Tesis de Maestría. Universidad de Tumbes.

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNTU_2f44f48783f9b725b5ee2491130e0697

FAO. 2009. *Penaeus vannamei*. In Cultured aquatic species fact sheets. Text by Briggs, M. Edited and compiled by Valerio Crespi and Michael New. CD-ROM (multilingual).

Ferdous M.A., Islam S.I., Habib N., Almehmadi M., Allahyani M., Alsaiani A.A., and Shafie A., 2022, CRISPR-Cas genome editing technique for fish disease management: current study and future perspective, *Microorganisms*, 10: 2012.

<https://doi.org/10.3390/microorganisms10102012>

Luo Z., et al, (2022). Comparative transcriptome analysis reveals the adaptation mechanism to high salinity in *Litopenaeus vannamei*, *Frontiers in Marine Science*, 9: 864338.

<https://doi.org/10.3389/fmars.2022.864338>

Miao M., et al (2023). CRISPR/Cas9-mediated gene mutation of *EcIAG* leads to sex reversal in the male ridgetail white prawn *Exopalaemon carinicauda*, *Frontiers in Endocrinology*, 14: 1266641. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1266641>

Pudgerd A., et al (2024). Genome editing of WSSV CRISPR/Cas9 and immune activation extends the survival of infected *Penaeus vannamei*. *Nature* 14:26306.

<https://doi.org/10.1038/s41598-024-78277-7>

Wang H.M. (2025). CRISPR-based genome editing in shrimp and its potential in aquaculture, *International Journal of Aquaculture*, 15(2): 45-56

<https://doi:10.5376/ija.2025.15.0006>

Xu X., Cao X., and Gao J., 2019, Production of a mutant of large-scale loach *Paramisgurnus dabryanus* with skin pigmentation loss by genome editing with CRISPR/Cas9 system, *Transgenic Research*, 28: 341-356.

<https://doi.org/10.1007/s11248-019-00125-6>

Zagarra Bermudez Y.M. (2019). Implementación del sistema CRISPR/cas9 dirigida de receptores del virus del síndrome de la mancha blanca en espermatidas del langostino *Litopenaeus vannamei*. Tesis de Maestría. Universidad de Tumbes.

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNTU_7cd1bdfc03fdfe3fa3f30616ced3da2/Description#tabnav