

7. Agentes patógenos en cultivos de camarón y tilapia: un riesgo para la subsistencia de la producción acuícola en México



SONIA ARACELI SOTO RODRÍGUEZ*

RODOLFO LOZANO OLVERA**

FRANCIS ISELA MARRUJO LÓPEZ***

KARLA GUADALUPE AGUILAR RENDÓN*

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.07>

Resumen

El capítulo analiza los principales agentes bacterianos que afectan los cultivos de camarón blanco del Pacífico (*Penaeus vannamei*) y tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) en México, destacando el impacto económico y social de estas enfermedades en la acuicultura nacional. Se describen brotes infecciosos relevantes que permitieron publicar nuevas enfermedades en México, como la Enfermedad de Rojos Vivos (BRS), causada por cepas patógenas de *Vibrio harveyi* y la enfermedad de la necrosis aguda del hepatopáncreas (AHPND), provocada por cepas toxigénicas de vibrios, como *Vibrio parahaemolyticus* y *Vibrio campbellii*, que han generado altas mortalidades en el cultivo de camarón. En tilapia, se documenta la presencia de patógenos bacterianos de peces como *Aeromonas dhakensis*, *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus iniae* y *Francisella noatunensis*, resaltando a *A. dhakensis*, bacteria altamente patógena y aislada de tilapias cultivadas en presas del noroeste de México, así como la alta prevalencia de *S. agalactiae*

* Doctora en Ciencias en Biotecnología Marina. Profesora-investigadora titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0760-4029> ; correspondencia: ssoto@ciad.mx

** Licenciado en Médico veterinario zootecnista. Técnico titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9650-1525>

*** Ingeniera Pesquera en Recursos Acuáticos por la Universidad Autónoma de Nayarit, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4854-2739>

**** Maestra en Ciencias con especialidad en Acuicultura por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4688-4657>

en cultivos del suroeste mexicano. Se describen los métodos de diagnóstico utilizados en el CIAD, incluyendo la necropsia, análisis bacteriológicos, la histopatología, la montura húmeda y técnicas moleculares como PCR y la secuenciación genómica. El capítulo resalta la importancia de una vigilancia sanitaria constante durante los cultivos, el diagnóstico temprano y la caracterización molecular de los agentes patógenos para implementar estrategias de contención y mejorar la sostenibilidad de la producción acuícola. Además, se destaca el papel del CIAD en la investigación aplicada y el desarrollo de herramientas diagnósticas que apoyan y fortalecen al sector productivo.

Palabras clave: *tilapia y camarón, enfermedades bacterianas, sistemas acuícolas.*

Introducción

Los organismos cultivados más importantes en México, por su alto valor comercial y por su incidencia social, son el camarón blanco del Pacífico (*Penaeus vannamei*) y la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*). Ambos cultivos generan empleo para cientos de personas de las zonas costeras. México es el séptimo productor a nivel mundial de camarón y, aunque la producción anual ha mostrado una tendencia a aumentar, la actividad ha sufrido graves pérdidas debido a las enfermedades infecciosas. Entre las enfermedades listadas por la *World Organization Aquatic Health* (WOAH) reportadas en México se encuentran la enfermedad viral infecciosa hipodérmica y hematopoyética (IHNV) [Syn = penstýldensovirus (PstDV1)] en 1989; la hepatopancreatitis necrotizante (NHP) causada por la bacteria tipo Rickettsia *Hepatobacterium penaei* en 1992; el Síndrome de Taura (TSV) de origen viral en 1995; la enfermedad de la mancha blanca (WSSV), también viral en 1999; la Enfermedad de Rojos Vivos (BRS, no listada en WOAH) causada por *Vibrio harveyi* en 2010 y la necrosis aguda del hepatopáncreas (AHPND) causada por *Vibrio parahaemolyticus* en 2013.

Respecto a la tilapia, México ocupa el noveno lugar en la producción acuícola mundial. Actualmente, la tilapia se ha convertido en una importante fuente de proteína en países tropicales, sin embargo, también es sus-

ceptible a patógenos. Entre las bacterias más peligrosas a nivel mundial, y también reportadas en México para la tilapia cultivada, está *Francisella noatunensis* subsp. *orientalis*, *Aeromonas dhakensis*, *Streptococcus iniae* y *Streptococcus agalactiae*. Adicionalmente, los patógenos *Aeromonas hydrophila*, *Edwardsiella ictaluri* y *Aeromonas veronii* han sido reportados en otros países (Dong et al., 2015).

Los métodos para el diagnóstico de enfermedades bacterianas en camarones y peces incluyen análisis bacteriológicos, bioquímicos, histopatológicos, genómicos y moleculares por PCR (reacción en cadena de la polimerasa) y rt-PCR (PCR en tiempo real). El diagnóstico correcto de las enfermedades involucra la integración de todos esos análisis para identificar el agente causal y los factores de riesgo. Este trabajo presenta específicamente enfermedades causadas por agentes bacterianos que afectan los cultivos de camarón y tilapia en algunas zonas de México.

Métodos

Los animales con sospecha de enfermedad son transportados con agua del estanque al laboratorio. Algunos signos clínicos asociados a enfermedades en camarones incluyen cambios de coloración en la cutícula o musculatura, letargia, nado errático, ausencia de alimento en tracto digestivo, decoloración del hepatopáncreas, entre otros (Lightner, 1996; Soto-Rodríguez et al., 2010; Lozano-Olvera et al., 2024). En peces los signos clínicos como el comportamiento anormal, la anorexia, el nado errático o letárgico, cambios de coloración en la piel o lesiones como descamación, hemorragias, úlceras, el abdomen abultado, el prolapso anal o la exoftalmia son indicativos de infecciones bacterianas (Soto-Rodríguez et al., 2013; Soto-Rodríguez et al., 2018; WOA, 2023).

Necropsia y fijación

Previo a la necropsia, los animales deberán ser sacrificados mediante sobredosis de anestésicos como triclaína o eugenol (de Souza Valente, 2022) para

minimizar el sufrimiento (WOAH, 2023). Una necropsia minuciosa identifica la mayor cantidad de alteraciones en órganos internos, las cuales deben ser registradas en el historial clínico.

Dependiendo del tamaño, los camarones se pueden preservar completos o en secciones (Lightner, 1996); mientras que, en los peces, generalmente es necesario realizar una disección de sus órganos. Secciones de órganos y tejidos como el hígado, bazo, riñón, cerebro, y la sangre son comúnmente usadas para el estudio de infecciones. Sin embargo, también la piel, estómago, intestino, branquias o músculo pueden ser susceptibles de infección bacteriana. Por lo que, con base en la necropsia se debe identificar, seleccionar y analizar los tejidos sospechosos de infecciones mediante diferentes herramientas de diagnóstico (incluidos: métodos moleculares, bacteriológicos, histológicos y montura húmeda) para lograr una mayor comprensión del padecimiento.

Métodos moleculares

A partir de muestras de agua, sedimento, heces, aislados bacterianos, tejidos frescos, congelados o bien preservados en etanol 96°, se extrae el ADN o ARN para su análisis por diferentes tipos de PCR, utilizando cebadores específicos (WOAH, 2023). En ocasiones, también se realiza la secuenciación masiva del genoma completo de cepas bacterianas seleccionadas a partir de análisis bacteriológicos.

Métodos bacteriológicos

Muestras de órganos y tejidos son disectadas bajo condiciones de esterilidad para su cultivo en medios microbiológicos generales y/o selectivos. El número de unidades formadoras de colonias (UFCs) son cuantificadas mediante dilución serial (Soto-Rodríguez et al., 2010). Las colonias dominantes son aisladas para su caracterización bioquímica y susceptibilidad a antibióticos. Colonias representativas de cada aislado son crio preservadas a -80°C (Ghera, 1994) para su caracterización molecular.

Método histológico

Organismos completos o secciones de tejidos son preservados mediante una inyección con formalina neutra al 10% o solución Bouin's en el caso de peces. Mientras que la solución Davidson AFA (ácido acético, formaldehído, alcohol) es empleada para una preservación adecuada de los crustáceos (Lightner, 1996). Entre 24 a 48 h estos son mantenidos en una solución fijadora (1:10) antes del procesamiento histológico de rutina.

Montura húmeda

La montura húmeda de tejidos animales es una herramienta presuntiva que es ampliamente usada *in situ* en las unidades de producción (Gomes et al., 2010; Lozano-Olvera et al., 2024). Se basa en la observación microscópica de secciones frescas de tejido animal sobre un portaobjeto con una gota de agua (Lightner, 1996).

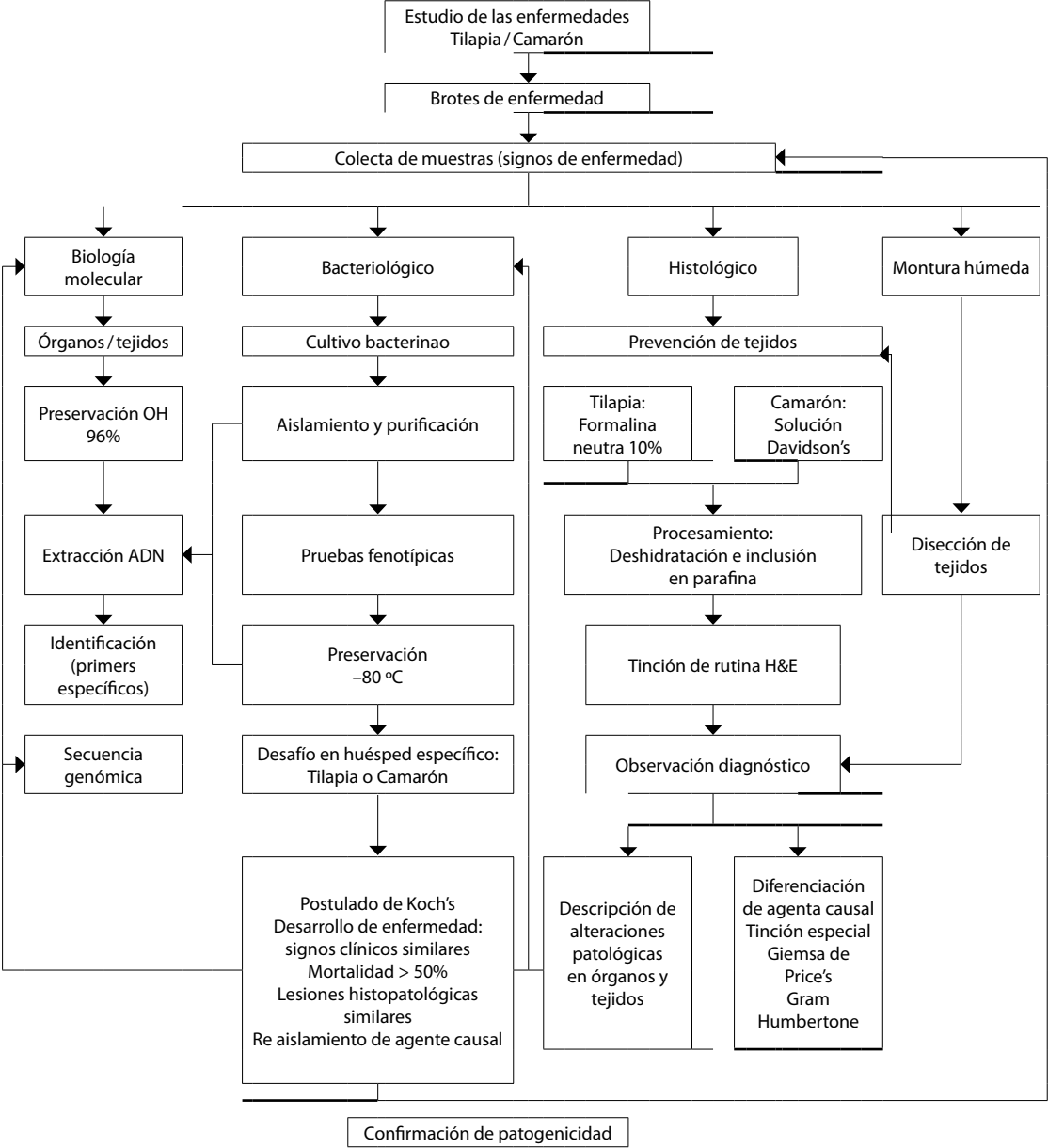
En la Figura 7.1 se muestra un diagrama de las etapas empleadas por nuestro grupo de trabajo para el estudio de causalidades de procesos infecciosos bacterianos en organismos acuáticos, que incluyen procedimientos desde la identificación de epizootias *in situ* hasta la identificación y caracterización del agente causal mediante métodos moleculares.

Resultados y discusión

Enfermedades de camarón

En el 2005, los productores de camarón experimentaron una mortalidad en los cultivos no asociada con alguna enfermedad conocida en México. Observaciones de campo mostraron camarones letárgicos, anoréxicos, con el cuerpo flácido y manchas de decoloración rojiza en la cutícula abdominal y, a veces, erosiones melanizadas alrededor de las manchas (Figura 7.2A). En organismos acuáticos, generalmente las observaciones en campo no son

Figura 7.1. Diagrama que muestra el flujo de trabajo aplicado en el estudio de las enfermedades bacterianas de organismos acuáticos en CIAD, subsede Mazatlán



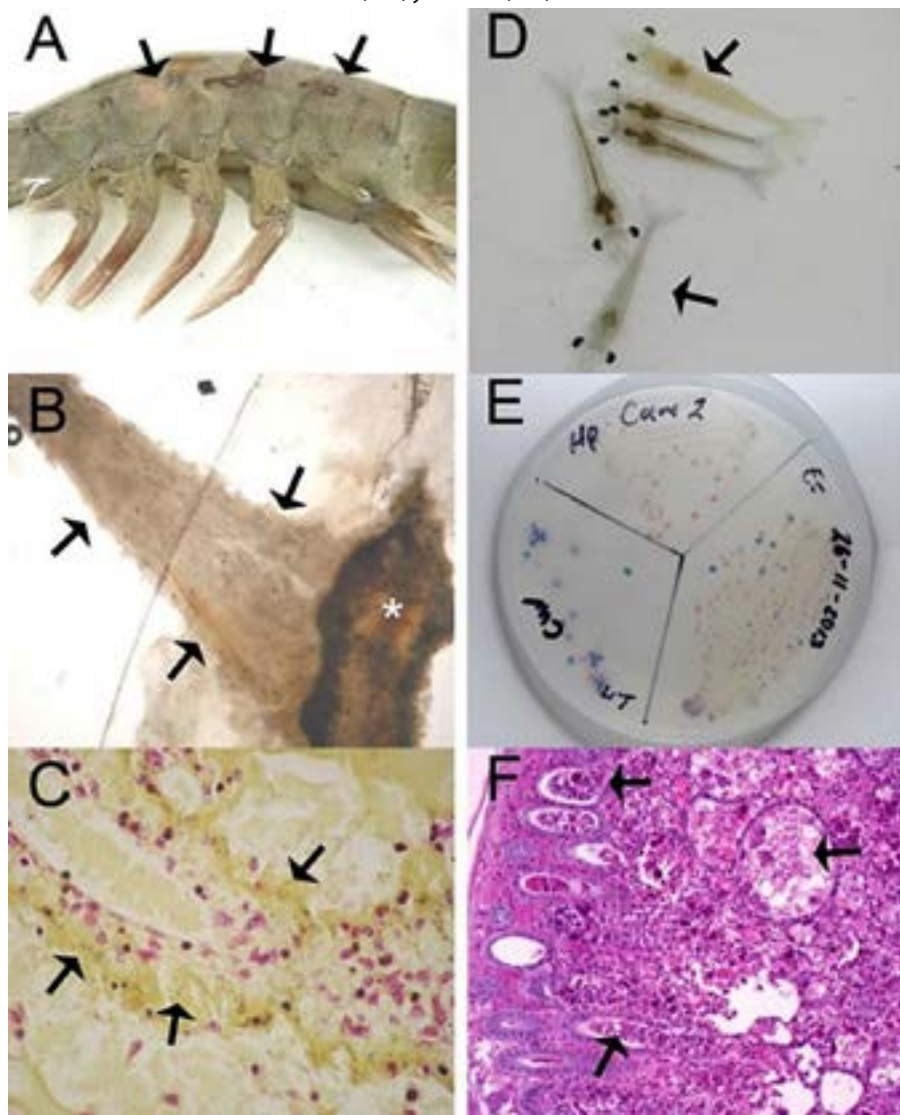
Fuente: elaboración propia.

suficientes para identificar una enfermedad, por lo que es vital identificar los daños causados en los tejidos.

En el presente caso, el análisis de los tejidos por montura húmeda mostró un daño severo en la musculatura adyacente a las erosiones cuticulares (Figura 7.2B). El análisis histopatológico confirmó la presencia de abundantes bacterias en los tejidos, indicando una infección bacteriana sistémica que, inicialmente, comprometió el músculo estriado de los segmentos abdominales y luego se diseminó a través del sistema circulatorio, afectando severamente órganos vitales como el órgano linfoide (Figura 7.2C), la glándula antenal y el corazón. Los brotes infecciosos se investigaron desde un enfoque multidisciplinario, lo que permitió el aislamiento y la identificación molecular de cepas de *Vibrio harveyi* (entre ellas, CAIM 1792) como agente causal de la Enfermedad de Rojos Vivos (BRS por sus siglas en inglés, Soto-Rodríguez et al., 2010). Adicionalmente, las cepas se caracterizaron fenotípicamente (por ejemplo, pruebas de motilidad, Gram, oxidasa, catalasa, entre otras), incluyendo el análisis de sensibilidad a antimicrobianos (Soto-Rodríguez et al., 2012).

En la década pasada, el cultivo de camarón en México fue nuevamente afectado por múltiples brotes de AHPND. Típicamente, los casos se presentaban en los primeros 30 días de cultivo, causando una alta mortalidad con pérdidas económicas en nuestro país y alrededor del mundo (Tran et al., 2013; Nunan et al., 2014). Los camarones afectados con AHPND desarrollan letargia, tienen un hepatopáncreas pálido, un tracto digestivo vacío (Figura 7.2D), cromatóforos expandidos, decoloración, atrofia y disfunción generalizada del hepatopáncreas, signos acompañados de una mortalidad aguda en el estanque. Estudios de campo y laboratorio confirmaron su etiología, como cepas específicas de *Vibrio parahaemolyticus* que secretan una potente toxina conocida como PirAB (Lee et al., 2015; Soto-Rodríguez et al., 2015). Las colonias de *V. parahaemolyticus* se aislaron en agar TSA (agar soya tripticaseína), TCBS (agar tiosulfato citrato bilis sacarosa) y se purificaron en medios específicos como CHROMagar™ *Vibrio* (Figura 7.2E). Estas cepas poseen diferente virulencia, causando mortalidad desde las primeras horas de infección. La enfermedad se caracteriza por ocasionar una disfunción generalizada del hepatopáncreas debido al desprendimiento masivo de células epiteliales en los túbulos de los camarones infectados (Figura 7.2F).

Figura 7.2. Camarones y tejidos de *P. vannamei* afectados por la Enfermedad de Rojos Vivos (BRS) (A-C) y AHPND (D-F)



Nota. (A) Signos externos, donde se observan lesiones melanizadas en cutícula (flecha). (B) Microfotografía por montura húmeda con melanización cuticular (*) y necrosis de las fibras musculares (flecha). (C) Necrosis severa y proliferación de bacterias Gram negativas (flecha) en órgano linfoide. (D) Camarones afectados por AHPND con hepatopáncreas pálido y tracto digestivo vacío (flecha). (E) Colonias aisladas en CHROMagar™ *Vibrio* de eventos de AHPND. (F) Microfotografía de hepatopáncreas con severo desprendimiento de células epiteliales en los túbulos pancreáticos. Tinción Gram Humberstone (C) y Hematoxilina-eosina-floxina (F).

Fuente: todas las imágenes son inéditas. Las imágenes A, D, E fueron proporcionadas por Sonia A. Soto Rodríguez; las imágenes B, C y fueron proporcionadas por Rodolfo Lozano Olvera.

Se requiere una vigilancia y monitoreo constante para identificar cualquier variación en la condición de salud en los cultivos (Lozano-Olvera et al., 2024). Recientemente, fueron identificadas nuevas cepas de *Vibrio campbellii*, aisladas de postlarvas de camarón del Noroeste de México. Estas cepas poseen los genes de la toxina PirAB causante de AHPND (Soto-Rodríguez et al., 2024a), las cuales representan un riesgo más para la producción camaronícola en el país.

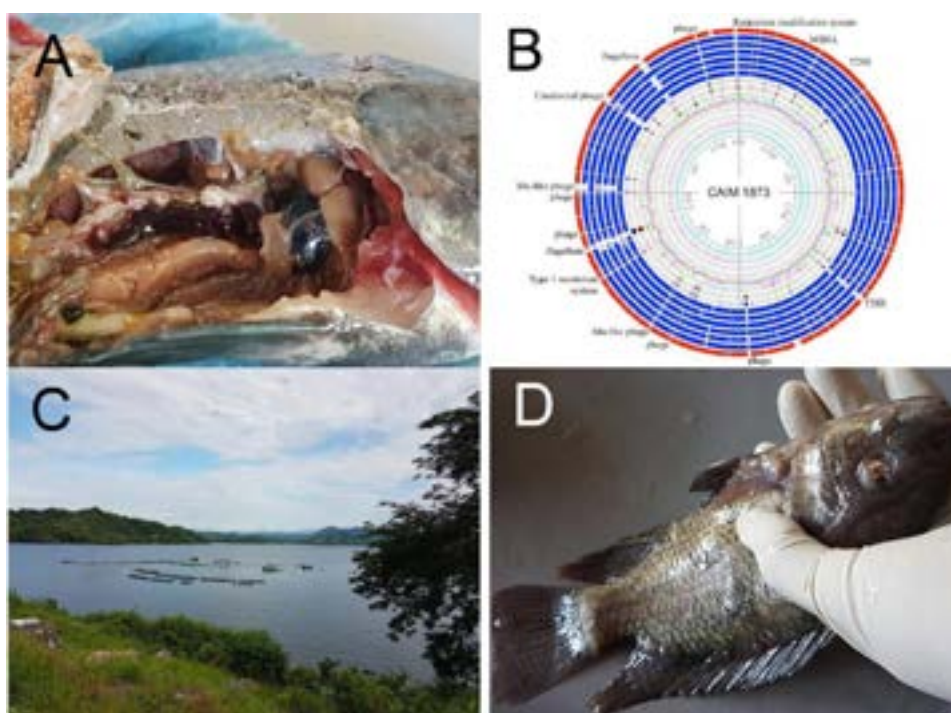
Enfermedades de tilapia

A continuación, se presentan algunos de los resultados de los estudios que hemos realizado con bacterias patógenas para la tilapia del Nilo. Se diseccionaron tilapias enfermas cultivadas en presas de Sinaloa asépticamente para la toma de muestras de órganos internos para análisis bacteriológicos (Figura 7.3A). Se obtuvieron aislados bacterianos en medio TSA que se caracterizaron fenotípica y genómicamente. Mediante la secuenciación del genoma completo se identificó a la cepa *Aeromonas dhakensis* CAIM 1873. El estudio del genoma completo identificó genes de virulencia asociados a hemolisinas, citotoxinas, sideróforos, proteasas y genes de resistencia antibióticos (Soto-Rodríguez et al., 2018) (Figura 7.3B). Durante las pruebas de desafío con *A. dhakensis* CAIM 1873 en tilapia híbrida, una dosis de 1.5×10^6 UFC/g causó 80% de mortalidad a las 13 h pos-inoculación (Soto-Rodríguez et al., 2018), lo que comprueba la alta virulencia de esta cepa.

Por otro lado, durante un monitoreo sanitario de tilapia cultivada en jaulas (Figura 7.3C) en el suroeste mexicano (Guerrero, Oaxaca y Chiapas) en 2018, 2019, 2020 y 2022, se analizaron las bacterias *Francisella* sp., *Staphylococcus* sp., *Staphylococcus aureum*, *Aeromonas* sp., *Aeromonas dhakensis*, *Streptococcus iniae* y *Streptococcus agalactiae*, mediante técnicas de PCR punto final y PCR tiempo real. Los signos clínicos de algunas de las tilapias cultivadas incluyeron nódulos blanquecinos en bazo, hígado inflamado y pálido, hemorragias en piel e internas, lesiones necróticas en músculo, úlceras en piel, descamación, aletas erosionadas, lesiones en ojos y piel (Figura 7.3D), entre otros. Se detectó alta prevalencia de *Staphylococcus* sp. y *Streptococcus agalactiae*, una de las bacterias patógenas más peligrosas para

la tilapia cultivada (Soto-Rodríguez et al., 2024b). También se encontró una baja prevalencia de *Aeromonas* sp. y *Streptococcus iniae*. Estos patógenos fueron detectados en los tres estados durante el periodo de muestreo, lo que indica un proceso de coinfección que representa un riesgo mayor para el cultivo sostenible de la tilapia en México.

Figura 7.3. (A) Disección y toma de muestras de órganos internos de tilapia (*O. niloticus*) con sospechas de enfermedad. (B) Diagrama circular del genoma completo de *Aeromonas dhakensis* CAIM 1873. (C) Cultivo de tilapia en jaula durante el muestreo sanitario en Chiapas. (D) Tilapia con signos de enfermedad como lesiones en piel y ojo. Todas las imágenes son inéditas.



Fuente: las imágenes A, C y D fueron proporcionadas por Francis Marrujo López, la imagen B fue proporcionada por Bruno Gómez Gil.

Conclusiones

La importancia del estudio de las enfermedades infecciosas radica, principalmente, en identificar y caracterizar las enfermedades de mayor impacto en la producción acuícola, con el objeto de implementar programas de detección, monitoreo y contención, y así evitar su dispersión a otras regiones o nuevas especies. En el caso de las enfermedades bacterianas, nuestro equipo logró caracterizar el curso natural de AHPND mediante la evaluación clínica y análisis por montura húmeda, que permite la detección temprana de brotes de enfermedad a nivel de granja.

Estos resultados apoyan el conocimiento de la patogenia de AHPND y brindan criterios útiles al productor que puede utilizar en programas de monitoreo para una detección temprana en campo. Respecto a la tilapia, identificamos y evaluamos el grado de virulencia de *A. dhakensis*, bacteria que, a la fecha, no había sido considerada como patógeno para la tilapia cultivada. También detectamos recientemente una alta prevalencia de *S. agalactiae*, uno de los patógenos más importantes a nivel mundial en tilapias enfermas cultivadas en jaulas flotantes en el suroeste mexicano, que puede detonar brotes infecciosos y mortalidad en la producción. La identificación de los agentes causales de cada enfermedad infecciosa bacteriana mencionadas en este trabajo fue confirmada por las diversas metodologías de análisis que, en conjunto, permitió identificar el agente causal utilizando los criterios del postulado de Koch.

En los estudios con camarón y tilapia, se obtuvieron y analizaron los genomas completos de las cepas bacterianas aisladas de brotes infecciosos, que permitieron detectar genes de virulencia y diferencias genéticas entre cepas. Lo anterior facilita la identificación de tratamientos más eficientes y amigables con el medio ambiente, favoreciendo una producción más sustentable que beneficie al sector primario de las comunidades rurales dependientes de estos cultivos en las zonas costeras del país.

Referencias

- De Souza Valente, C. (2022). Anaesthesia of decapod crustaceans. *Veterinary and Animal Science*, 16, 100252. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2022.100252>
- Dong, H. T., Nguyen, V. V., Le, H. D., Sangsuriya, P., Jitrakorn, S., Saksmerprom, V., Senapin, S., y Rodkhum, C. (2015). Naturally concurrent infections of bacterial and viral pathogens in disease outbreaks in cultured Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) farms. *Aquaculture*, 448, 427-435. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.06.027>
- Gherna, L., (1994). Culture preservation. In: Gerhardt, P., Murray, R. G. E., Wood, W. A., y Krieg, N. R. (Eds.), *Methods for General and Molecular Microbiology*. American Society for Microbiology, Washington.
- Gomes, G. B., Santos Domingos, J. A., Oliveira, K. K. C., De Paula Mendes, P., Arns Da Silva, V., y Mendes, E. S. (2010). Diagnosis of necrotizing hepatopancreatitis in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, through wet mount, histopathology and PCR techniques. *Journal of the World Aquaculture Society*, 41(5), 816-822. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2010.00424.x>
- Lee, C. T., Chen, I. T., Yang, Y. T., Ko, T. P., Huang, Y. T., Huang, J. Y., Huang, M. F., Lin, S. J., Chen, C. Y., Lin, S. S., Lightner, D. V., Wang, H. C., Wang, A. H., Wang, H. C., Hor, L. I., y Lo, C. F. (2015). The opportunistic marine pathogen *Vibrio parahaemolyticus* becomes virulent by acquiring a plasmid that expresses a deadly toxin. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112(34), 10798-10803. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503129112>
- Lightner, D. V. (1996). *A handbook of shrimp pathology and diagnostic procedures for diseases of cultured penaeid shrimp*. World Aquaculture Society. Louisiana.
- Lozano-Olvera, R., Abad-Rosales, S. M., Soto-Rodríguez, S. A., y Aguilar-Rendón, K. G. (2024). Time course of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) in the Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* by wet mount analysis. *Aquaculture International*, 32, 2313-2329. <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01272-8>
- Nunan, L., Lightner, D., Pantoja, C., y Gomez-Jimenez, S. (2014). Detection of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) in Mexico. *Diseases of Aquatic Organisms*, 111(1), 81-86. <https://doi.org/10.3354/dao02776>
- Soto-Rodríguez, S.A., Gómez-Gil, B., y Lozano, R. (2010). "Bright-red" Syndrome in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* is caused by *Vibrio harveyi*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 92, 11-19. <https://doi.org/10.3354/dao02274>
- Soto-Rodríguez, S. A., Gómez-Gil, B., Lozano, R., del Rio-Rodríguez, R., Diéguez, A. L., y Romalde, J. L. (2012). Virulence of *Vibrio harveyi* responsible for the "Bright-red" Syndrome in the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Journal of invertebrate pathology*, 109(3), 307-317. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2012.01.006>
- Soto-Rodríguez, S. A., Cabanillas-Ramos, J., Alcaraz, U., Gomez-Gil, B. y Romalde, J. L. (2013). Identification and virulence of *Aeromonas dhakensis*, *Pseudomonas mosselii* and *Microbacterium paraoxydans* isolated from Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*,

- cultivated in Mexico. *Journal of Applied Microbiology*, 115(3), 654-662. <https://doi.org/10.1111/jam.12280>
- Soto-Rodríguez, S. A., Gomez-Gil, B., Lozano-Olvera, R., Betancourt-Lozano, M. y Morales-Covarrubias, M. S. (2015). Field and experimental evidence of *Vibrio parahaemolyticus* as the causative agent of acute hepatopancreatic necrosis disease of cultured shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in northwestern Mexico. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(5), 1689-1699. <https://doi.org/10.1128/AEM.03610-14>.
- Soto-Rodríguez, S. A., Lozano-Olvera, R., García-Gasca, M. T., Abad-Rosales, M. S., Gómez-Gil, B., y Ayala-Arellano, J. (2018). Virulence of the fish pathogen *Aeromonas dhakensis*: Genes involved in characterization and histopathology of experimentally infected hybrid tilapia. *Diseases of Aquatic Organisms*, 129(2), 107-116. <https://doi.org/10.3354/dao03247>
- Soto-Rodríguez, S. A., Gómez-Gil, B., Lozano-Olvera, R., Aguilar-Rendón, K. G., y González-Gómez, J. P. (2024a). Identification of new *Vibrio campbellii* strains harboring the pVA1 plasmid isolated from *Penaeus vannamei* postlarvae affected by outbreaks of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) in Mexico. *Aquaculture*, 579, 740221. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740221>
- Soto-Rodríguez, S. A., Marrujo López, F. I., Aguilar-Rendón, K. G. y Guzmán, R. H. (2024b). Pathogenic bacteria prevalence in cultured Nile tilapia in Southwest Mexico: A real-time PCR analysis. *Journal of Fish Diseases*, e13921. <https://doi.org/10.1111/jfd.13921>
- Tran, L., Nunan, L., Redman, R. M., Mohny, L. L., Pantoja, C. R., Fitzsimmons, K., y Lightner, D. V. (2013). Determination of the infectious nature of the agent of acute hepatopancreatic necrosis syndrome affecting penaeid shrimp. *Diseases of Aquatic Organisms*, 105(1), 45-55. <https://doi.org/10.3354/dao02621>
- WOAH-World Organization Aquatic Health. (25 de agosto 2023). Manual de las Pruebas de Diagnóstico para los Animales Acuáticos. <https://www.woah.org/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/acceso-en-linea-al-manual-acuatico/>