




LOS PARÁSITOS Y SU CONTROL EN LA MARICULTURA DEL PEZ *LUTJANUS GUTTATUS*

THE PARASITES AND THEIR CONTROL IN THE MARICULTURE OF THE FISH *LUTJANUS GUTTATUS*

Emma Josefina Fajer-Ávila ^{1,*} , Francisco Neptalí Morales-Serna ² , Lilia Catherine Soler-Jiménez ³ 

¹ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, CIAD. Mazatlán, México.

² Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, ICML – UNAM. Mazatlán, México.

³ Laboratorio de Parasitología, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, CINVESTAV. Mérida, México

* Autor correspondencia: efajer@ciad.mx,

Resumen

El presente artículo resume la información disponible respecto a los parásitos que representan un riesgo real o potencial para la acuicultura del pez *Lutjanus guttatus*. En este pez se han registrado 40 especies de parásitos, de las cuales las principales amenazas son los protozoos *Amyloodinium ocellatum*, *Cryptocaryon irritans* y *Brooklynella hostilis*, ya que pueden causar la muerte de la mayoría de los peces. Los monogeneos dactilógridos son unos gusanos parásitos muy pequeños que también representan un problema. Estos gusanos, si bien no causan la muerte directa, pueden llegar a ser muy abundantes en las branquias y causar problemas respiratorios. Hasta ahora, el control de estos parásitos recae principalmente en la aplicación de baños de formalina. No obstante, actualmente en diferentes partes del mundo se realizan investigaciones para encontrar métodos de control totalmente efectivos para eliminar a los parásitos, pero que sean seguros para los peces y el ambiente.

Palabras claves: Acuicultura, protozoos, helmintos, copépodos, enfermedades, peces marinos.

Abstract

The present paper provides a revision of the parasitism in the aquaculture of the marine fish *Lutjanus guttatus*. This fish serves as host of approximately 40 parasite species. Of these, three protozoan species, *Amyloodinium ocellatum*, *Cryptocaryon irritans* and *Brooklynella hostilis* are seen as a real threat for the production of *L. guttatus*. Likewise, the monogeneans belonging to the Dactylogyridae family, which are small parasitic worms, can be a problem. These worms, although are not responsible of death, can reach high infection intensities in gills, leading to impairment of breathing. To date, to control these parasites, one of the most recommended treatments are formalin baths. Nonetheless, research is conducted in different parts of the world to discover new compounds that result totally effective against parasites and safe for the fish and the environment

Keywords: Aquaculture, protozoans, helminths, copepods, diseases, marine fish.

Recibido: 2023-12-21 Aceptado: 2023-12-26 Publicado: 2023-12-31

1. Introducción

En la maricultura, uno de los principales problemas que afecta la producción de peces es la presencia de parásitos causantes de enfermedades. Los peces que habitan naturalmente en el mar son hospederos de una gran diversidad de especies de parásitos protozoos y metazoos, los cuales pueden ser bastante diferentes no sólo en la forma y tamaño de su cuerpo, sino también en su ciclo de vida, alimentación, sitio de infección y modo de unirse al pez. Así pues, a los parásitos se les clasifica de diferente manera. Si están en la superficie del pez se les denomina ectoparásitos, si están parasitando algún órgano interno se les denomina endoparásitos. Por su tamaño se clasifican en microparásitos (protozoos y algunos helmintos) y macroparásitos (casi todos los metazoos, incluyendo los crustáceos y la mayoría de los helmintos). Si para completar su ciclo de vida requieren sólo una especie de pez se les denomina parásitos con ciclo de vida directo, pero si requieren dos o más especies de peces su ciclo de vida es indirecto. Algunos parásitos se alimentan de células epiteliales, pero otros, los hematófagos, se alimentan de sangre. No obstante, aunque la biodiversidad de parásitos es enorme, sólo unas cuantas especies han llegado a ser un verdadero problema para el cultivo de peces.

Típicamente, los peces se cultivan en densidades altas, lo que favorece la proliferación de parásitos, especialmente de ectoparásitos con ciclo de vida directo, como algunos ciliados, monogeneos y copépodos (Shinn et al., 2015). Estos parásitos pueden presentarse en las diferentes etapas de la producción. En las plantas de producción o "hatcheries" pueden surgir brotes de enfermedades en peces reproductores y juveniles causados por protozoos y monogeneos. Estos brotes pueden ser controlados mediante un manejo zootécnico adecuado y estableciendo normas sanitarias estrictas. Sin embargo, cuando los brotes parasitarios ocurren en la fase de engorda su control puede ser más complicado, particularmente si el cultivo es en jaulas, ya que en estos sistemas no se controla la calidad de agua

y los peces silvestres pueden transmitir parásitos a los peces cultivados (Nowak, 2007).

En este artículo se resume la información disponible respecto a los parásitos que representan un riesgo real o potencial para la acuicultura de *Lutjanus guttatus*. Se describen las características biológicas de los parásitos, así como los principales signos clínicos y estrategias de prevención o control.

2. Antecedentes

A partir del año 2003, el Laboratorio de Parasitología del CIAD-Mazatlán inició los estudios sobre parásitos de *L. guttatus* en cultivo. En los años 2010 y 2012 realizamos dos ciclos de monitoreo parasitológico en jaulas flotantes ubicadas en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. En una primera etapa, las investigaciones se enfocaron al conocimiento de la biodiversidad de parásitos de *L. guttatus* en vida silvestre y los patógenos potenciales durante su cultivo. La introducción de peces silvestres a las instalaciones del CIAD-Mazatlán como fuente inicial de progenitores propició la entrada de parásitos, los cuales fueron transmitidos a los peces de todas las edades.

Los primeros resultados mostraron un total de 40 especies de parásitos (4 protozoos, 33 helmintos y 3 crustáceos) (Fajer-Ávila & Medina-Guerrero, 2011; Fajer-Ávila et al., 2011, 2012). Los ectoparásitos de ciclo de vida directo presentes en la piel y branquias de *L. guttatus* son los que han proliferado en los tanques de cultivo. Esto en parte es propiciado por el proceso de domesticación que debilita el sistema inmune de los peces haciéndolos más susceptibles a infecciones parasitarias. La mayoría de los parásitos de ciclo de vida indirecto que requieren de hospederos intermediarios para completar su desarrollo no lograron establecerse en estos sistemas cerrados.

Los peces *L. guttatus* mantenidos en cautiverio previo a la siembra en jaulas flotantes fueron susceptibles al desarrollo de enfermedades

causadas por protozoos, específicamente por el dinoflagelado *Amyloodinium ocellatum* (Fajer-Ávila et al., 2006) y los ciliados *Cryptocaryon irritans* y *Brooklynella hostilis* que causaron entre 70 y 100% de mortalidades (Fajer-Ávila et al., 2011, 2012). Por otro lado, los peces infectados con monogéneos dactilógridos no mostraron signos clínicos, pero niveles altos de infección dañaron el tejido branquial afectando el intercambio de oxígeno de los peces y provocando inapetencia, indicativo de una condición subletal en los peces (del Río-Zaragoza et al., 2010). Cabe señalar que estos monogéneos pueden proliferar rápidamente en los cultivos en jaulas (Soler-Jiménez et al., 2015).

Estos resultados sugieren que es importante trabajar en las estrategias de control y prevención. Por lo tanto, en CIAD-Mazatlán se han evaluado a nivel experimental tratamientos naturales y químicos aprobados por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) para el control de los ectoparásitos. En general, el agua dulce y la formalina pueden ser buenas opciones para reducir o eliminar los ectoparásitos en *L. guttatus*; sin embargo, los peces no son muy tolerantes al agua dulce. Los tratamientos repetidos de formalina 0.20 mL/L durante una hora es el protocolo a seguir para reducir la proliferación de parásitos, previo al traslado de los peces a áreas de crecimiento o engorda en jaulas. La administración de betaglucono en la dieta incrementó la respuesta inmune inespecífica en peces infectados con monogéneos, lo cual puede ser útil para mejorar la salud de los peces en sistemas de cultivo en jaulas donde están expuestos a variaciones desfavorables del medio ambiente (del Río-Zaragoza et al., 2011).

3. Principales parásitos en cultivo de *Lutjanus guttatus*

3.1 Protozoos

Los protozoos ectoparásitos constituyen un riesgo para todos los peces marinos. Dentro de estos, el dinoflagelado *A. ocellatum* es uno de los más peligrosos para la maricultura en aguas tropicales.

Los brotes de amyloodiniosis han sido recurrentes en la maricultura del Noroeste de México, específicamente en los cultivos de *L. guttatus* (Fajer-Ávila et al., 2012). Sabemos que un pez está infectado con *A. ocellatum* cuando en la piel y branquias observamos organismos ovalados de color marrón oscuro (56 a 73 μm de diámetro) con glóbulos internos y un tallo pequeño. Estas características corresponden a la fase de crecimiento, conocida como trofozoito, de *A. ocellatum*.

Los trofozoitos se desprenden del pez para caer al fondo del tanque y producir un quiste llamado tomonete. Dentro del quiste ocurren divisiones asexuales múltiples que producen dinosporas (12 a 15 μm) capaces de infectar a los peces. El ciclo de vida de *A. ocellatum* que infecta a *L. guttatus* dura 96 horas a 28°C y 34‰ de salinidad. La infección se caracteriza por signos iniciales de pérdida de apetito, opacidad de la piel con áreas blanquecinas y erosión de la aleta caudal. Los peces nadan de lado y se frotan contra el fondo del tanque. Una infección severa, con cientos de trofozoitos en las branquias de *L. guttatus*, puede provocar respuesta epitelial proliferativa severa, número elevado de células mucosas, infiltrado de células inflamatorias y fusión laminar. También se puede observar incremento en el tamaño de los eritrocitos, atribuible a una compensación del intercambio respiratorio debido al efecto de los parásitos en las branquias.

Los ectoparásitos ciliados son de los patógenos más importantes causantes de grandes pérdidas económicas en el cultivo de peces marinos. *Cryptocaryon irritans* es quizás el ciliado más virulento, causante de una enfermedad llamada cryptocariosis. La característica principal de este ciliado es la presencia de un macronúcleo tetralobulado y varios micronúcleos más pequeños. Su fase infecciosa se lleva a cabo por tomites que se convierten en terontes piriformes nadadores libres, que luego pueden penetrar la piel y las branquias de los peces. Los trofozoitos maduros abandonan los peces y producen quistes que eventualmente se desarrollan como tomites

hijos. En *L. guttatus*, *C. irritans* completa su ciclo de vida en aproximadamente 6 días a 21-24°C.

Este parásito invade el tejido epitelial de los peces provocando lesiones graves (Fajer-Ávila et al., 2011, 2012). En CIAD-Mazatlán, los brotes de *C. irritans* fueron comunes en juveniles de *L. guttatus* criados en tanques. Estos peces mostraron los característicos puntos blancos en la piel, aletas, ojos y branquias. Cada punto representaba un trofozoito en desarrollo dentro de una cápsula epitelial o vesícula. Los niveles de infección observados fueron elevados (más de 200 trofozoitos por arco branquial) ocasionando hiperplasia, inflamación y necrosis del tejido branquial, mientras que la mortalidad aumentó hasta un 70% en la población afectada.

Otro protozoo parásito encontrado fue *B. hostilis*, un ciliado que se alimenta del tejido epidérmico de la piel y branquias, provocando hemorragias. En los peces en cautiverio, *B. hostilis* puede multiplicarse masivamente en los filamentos branquiales provocando la enfermedad denominada brooklynosis. Hubo un caso en el que observamos infecciones altas de *B. hostilis* en juveniles silvestre de *L. guttatus* que habían sido transportados a las instalaciones de cultivo del CIAD-Mazatlán. Estos peces presentaron

dificultades respiratorias y hasta un 70% de mortalidad (Fajer-Ávila et al., 2011, 2012).

3.2 Monogeneos

Algunos monogeneos pueden ser patógenos serios en la acuicultura de peces. Debido a su ciclo de vida directo y relativamente simple (Figura 1), estos parásitos son capaces de multiplicarse rápidamente en sistemas cerrados con altas densidades de siembra. Los huevos de los monogeneos pueden tener filamentos que se adhieren a las redes de las jaulas, lo que también facilita la propagación del parásito dentro de los sistemas de cultivo. Además, en comparación con las etapas juveniles o adultas, los huevos son generalmente más resistentes a los tratamientos antiparasitarios. Los niveles de infección de monogeneos dependen en cierta medida de factores ambientales. La temperatura, por ejemplo, es considerada como el principal factor abiótico que regula la dinámica de los monogeneos, porque tiene un efecto directo sobre las tasas reproductivas y los procesos infecciosos de estos parásitos. Además, el oxígeno disuelto y la salinidad del agua también se reconocen como factores ambientales importantes que limitan la distribución de estos parásitos.

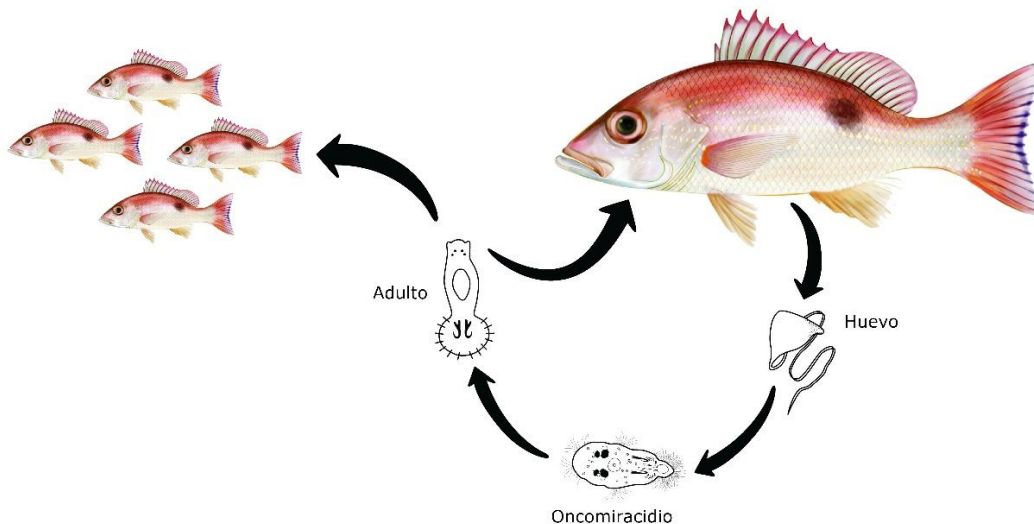


Figura 1. Esquema que representa el ciclo de vida directo de los monogeneos parásitos de peces. Estando en el pez, el monogeneo adulto libera huevos al agua. Cada huevo eclosiona en una larva llamada oncomiracidio, la cual debe encontrar a un pez que le sirva como hospedero para continuar su desarrollo hasta la etapa adulta.

3.3 Dactilogíridos

Los monogeneos de la familia Dactylogyridae son parásitos branquiales comunes en peces marinos, incluidos los de la familia Lutjanidae. Entre los parásitos más abundantes en el cultivo de *L. guttatus* están los dactilogíridos *Euryhaliotrema mehen*, *E. perezponcei* y *Haliotrematoides guttati* (Soler-Jiménez et al., 2015). Los peces con infecciones altas de dactilogíridos pueden morir de asfixia debido a la patología branquial severa producida por estos parásitos (Stephens et al., 2003). Del Río-Zaragoza et al. (2010) observaron que una infección baja de dactilogíridos (en promedio 22 parásitos por pez) en *L. guttatus* provoca un aumento en la velocidad de sedimentación de eritrocitos, lo que generalmente revela un proceso inflamatorio. Además, los autores observaron que al aumentar el número de parásitos aumenta el número de células sanguíneas (leucocitos, trombocitos y granulocitos) encargadas de combatir infecciones. Niveles altos de infección (100 parásitos por pez) provocaron una respuesta proliferativa epitelial severa en los filamentos branquiales, así como un elevado número de células mucosas, aumento moderado de las células de cloro, infiltración de células inflamatorias y fusión laminar.

3.4 Capsálidos

Algunas especies de monogeneos de la familia Capsalidae han impactado negativamente en el cultivo de peces marinos y también se han relacionado con epizootias de peces silvestres. Estas especies por lo general tienen baja especificidad de hospedero. En cuanto al cultivo de lutjánidos, los capsálidos *Benedenia epinepheli*, *B. lutjani* y *Neobenedenia* sp. se han encontrado en *Lutjanus johni* y *L. argentimaculatus* cultivados en jaulas del sureste asiático, mientras que *Neobenedenia girellae* llega a parasitar a *L. johni* (Seng & Colorni, 2002). En la acuicultura de *L. guttatus* no se han registrado problemas causados por algún capsálido. No obstante, en juveniles de esta especie criados en tanques de laboratorio se encontró una especie no identificada de *Neobenedenia* (Figura 2), la cual causó

hemorragia en la aleta caudal, emaciación y mortalidad (Fajer-Ávila et al., 2012). Adicionalmente, sabemos que algunas especies no identificadas de *Neobenedenia* llegaron a afectar peces adultos de *Lutjanus peru*, *L. aratus*, *L. novemfasciatus* y *L. argentiventris*, también criados en tanques de laboratorio, provocándoles ojos opacos, proliferación de moco, cambios de coloración y anorexia (Pérez-Urbiola et al., 2008). Por lo tanto, no debería descartarse la posibilidad de que *Neobenedenia* o algún otro capsálido pudiera llegar a ser un problema para el desarrollo de la maricultura de *L. guttatus*.



Figura 2. Fotografía de un espécimen de *Neobenedenia* sp. encontrado en peces *Lutjanus guttatus* criados en el Laboratorio de Parasitología del CIAD-Mazatlán.

3.5 Crustáceos

En la actualidad, se reconocen más de 7000 especies de crustáceos que parasitan naturalmente a una gran variedad de animales en los diferentes ecosistemas acuáticos, incluyendo mares, lagos y ríos (Boxshall & Hayes, 2019). Sin embargo, sólo unas cuantas especies, particularmente de copépodos parásitos, han llegado a impactar negativamente en la acuicultura. En los peces marinos, se han encontrado cerca de 30 familias

de copépodos parásitos que exhiben una gama amplia de formas corporales, desde los cuerpos segmentados con antenas y patas bien distinguibles hasta los cuerpos en forma de gusano en los que aparentemente se han perdido la segmentación y las extremidades. Los copépodos de la familia Caligidae, también llamados "piojos de mar", son los más comunes tanto en peces silvestres como en peces cultivados. A esta familia pertenecen *Caligus rogercresseyi* y *Lepeophtheirus salmonis*, dos especies bastante estudiadas debido a los problemas de salud que causan en los salmones cultivados en jaulas. Costello (2009) calculó pérdidas de casi 500 millones de dólares en un año causadas por piojos de mar en la salmonicultura a nivel global. Estos copépodos tienen un ciclo de vida directo que se desarrolla más rápido al aumentar la temperatura del agua. Por ejemplo, *C. rogercresseyi* completa su ciclo, de huevo a adulto, en 50 días a 10°C y en 20 días a 17°C (González & Carvajal, 2003). Esto provoca que durante el verano aumenten la prevalencia e intensidad de la infección, con las consecuentes enfermedades y mortalidad de los peces cultivados.

Los copépodos parásitos causan heridas en el tejido de los peces. A medida que aumenta el número de parásitos en el pez las heridas se vuelven más graves, llegando a producirse erosión de la epidermis, exposición del músculo y hemorragias. Aún si la infección no es tan fuerte, puede haber efectos subletales como la alteración del funcionamiento cardíaco, falta de crecimiento y daños en el sistema inmune.

En *L. guttatus* del medio natural se han encontrado al menos 4 especies de piojos de mar. Estas especies son: *Caligus asperimanus*, *C. diaphanus*, *C. mutabilis* y *C. sclerotinosus*, encontradas en las branquias (Morales-Serna et al., 2016). En las branquias de *L. guttatus* también se pueden encontrar copépodos del género *Lernanthropus*, perteneciente a la familia Lernanthropidae; mientras que la boca puede estar parasitada ocasionalmente por isópodos, que

son otro grupo de crustáceos. Hasta donde se sabe ninguno de estos parásitos ha causado problemas en la maricultura. No obstante, *C. sclerotinosus* (Figura 3) ha alcanzado niveles altos de infección (prevalencia de 100%, con una intensidad de 2 a 49 parásitos por pez), en *Pagrus major* (Sparidae) engordado en jaulas en Japón, aunque sin registrarse signos de enfermedad (Venmathi Maran et al., 2012). Por lo tanto, en el caso de que *L. guttatus* se cultive en jaulas a una escala comercial, habría que tener cuidado de los piojos de mar, en particular de *C. sclerotinosus*.



Figura 3. Fotografía de un espécimen (hembra) de *Caligus sclerotinosus*, una especie de copépodo parásito encontrada en branquias de *Lutjanus guttatus* y *L. peru* del Pacífico mexicano.

4. Control de parásitos en el cultivo de peces

4.1 Tratamientos contra protozoos

Nuestros experimentos han indicado que los baños de agua dulce por 30 minutos y la formalina 0.20 mL/L por 1 hora eliminaron, respectivamente, 100 y 99% de protozoos *A. ocellatum* en *L. guttatus*. También se ha observado que los baños de formalina 0.17 mL/L

durante una hora y el agua dulce por 15 minutos pueden reducir en 100% y 96% el número de *B. hostilis* en *L. guttatus* (Fajer-Avila & Medina-Guerrero, 2011). Aunque el agua dulce es buena para eliminar estos protozoos parásitos, los lutjánidos no la toleran por más de 10 minutos y aún así es estresante para los peces. Es por esto que los tratamientos repetidos de formalina 0.20 mL/L durante una hora es el protocolo a seguir para reducir la proliferación de estos parásitos. Se recomienda aplicar estos tratamientos como preventivos durante el traslado de los peces.

4.2 Tratamientos contra monogéneos

Para controlar las infecciones por monogéneos dactilógiridos en *L. guttatus* se recomienda aplicar formalina en baños a una concentración de 0.17 mL/L por 1 hora. Este tratamiento no es totalmente efectivo, pero reduce el número de parásitos en 70% aproximadamente. Cabe señalar que la formalina es uno de los pocos tratamientos aprobados por la FDA para el control de ectoparásitos en la acuicultura. No obstante, se debe tener cuidado con su aplicación, pues es un compuesto que en temperaturas arriba de 27 °C se vuelve tóxico para los peces.

Varios estudios indican que fármacos antihelmínticos como el praziquantel funcionan para el control de dactilógiridos en peces marinos (Fajer-Ávila et al., 2006). Tanto Drontal™ Plus (4.5 mg/L por 12 horas) como Vermiplex™ (3.5 mg/L por 24 horas) pueden ser totalmente efectivos para eliminar dactilógiridos adultos en *L. guttatus*. Los antihelmínticos son recomendables para el control de monogéneos en general; sin embargo, debe tenerse en cuenta que su efecto hace que los monogéneos se desprendan del pez, pero los parásitos no mueren y son capaces de seguir produciendo huevos. Además, los huevos pueden ser bastante resistentes a este tipo de fármacos.

La preocupación por los posibles efectos nocivos de los productos químicos y fármacos sobre los peces y el medio ambiente nos lleva a buscar alternativas amigables para el control de

parásitos. Actualmente hay un gran interés en aplicar compuestos de origen natural, como los extractos de plantas. En ese sentido se han realizado experimentos in vitro utilizando ajo en polvo (GNC®) con azufre (150 mg/L durante 330 segundos) con dactilógiridos de *L. guttatus*, observándose mortalidad de 100% de los parásitos. También se ha probado la inclusión de ajo natural en la dieta (150 mg/kg) de *L. guttatus* durante 15 días, obteniéndose una reducción de 48% en el número de dactilógiridos. Los dactilógiridos muertos como consecuencia del tratamiento con ajo presentaron cuerpos hinchados y deformes.

El uso de tratamientos naturales es deseable; no obstante, debemos ser cautelosos en su recomendación. Tanto nuestros experimentos en CIAD-Mazatlán como experimentos hechos por otros investigadores, en los que se aplican extractos de plantas contra monogéneos, indican que para matar a estos parásitos se pueden requerir concentraciones altas de los extractos, las cuales provocan daños en los peces o incluso su muerte. Es necesario desarrollar más investigaciones para encontrar aquellos compuestos naturales verdaderamente efectivos para matar parásitos y que a la vez sean seguros para los peces y el ambiente.

4.3 Tratamientos contra copépodos

Para disminuir o erradicar a los copépodos parásitos existen varios tratamientos, los cuales se han desarrollado principalmente en la salmicultura, que es donde más problemas han causado dichos parásitos. Los métodos incluyen sustancias químicas como organofosfatos, piretroides y peróxido de hidrógeno aplicadas directamente en el agua, y avermectinas aplicadas en el alimento de los peces. No obstante, con la finalidad de usar menos agentes químicos y fármacos, la industria ha buscado apoyarse en otros métodos como son el uso de peces limpiadores, lasers y baños de agua dulce, así como tratamientos térmicos y mecánicos, los cuales han ganado popularidad en años recientes (Overton et al., 2019). Las concentraciones/dosis

y duración de los tratamientos químicos dependen de la especie de pez y temperatura del agua. Por lo tanto, es recomendable hacer evaluaciones antes de aplicarse en el cultivo de cualquier pez tropical, incluyendo *L. guttatus*.

5. Necesidades y desafíos futuros

Si bien actualmente existen algunos compuestos químicos o fármacos útiles para controlar el parasitismo en la acuicultura, estos no son siempre efectivos y, en algunos casos, tampoco son muy seguros para los peces. En ese sentido, es necesario seguir desarrollando investigaciones que nos permitan descubrir tratamientos más efectivos.

Típicamente, para determinar la efectividad de un compuesto contra los parásitos, se realizan una serie de experimentos in vitro e in vivo, en los que se requiere una gran cantidad de organismos, tanto peces como parásitos. Hay una enorme variedad de compuestos para probar y diferentes factores, como la especie de parásito, especie de pez, y la temperatura y salinidad del agua, que se deben considerar durante las pruebas. Así, explorar la efectividad de algunos de esos compuestos puede requerir mucho tiempo, dinero y sacrificio de muchos animales.

Desconocemos mucho de la historia de vida y biología molecular de los parásitos de peces. Por ejemplo, sabemos muy poco acerca de los mecanismos moleculares que permiten a los parásitos tolerar a los fármacos o infectar a los peces. Realizar estudios de biología molecular de los parásitos de peces no es fácil. Por un lado, los parásitos son pequeños y es difícil por ejemplo obtener suficiente material molecular para ser analizado. Por otro lado, es difícil conseguir o mantener a los parásitos en laboratorio. Afortunadamente, se han generado tecnologías para obtener datos moleculares en cantidades grandes, como los genomas y transcriptomas, en tiempos y costos cada vez más accesibles. Asimismo, las herramientas computacionales son cada vez más poderosas y permiten analizar todos esos datos para contestar muchas preguntas y

hacer predicciones. Por ejemplo, con herramientas bioinformáticas, teniendo genomas y/o transcriptomas, es posible identificar proteínas putativas esenciales para la vida de los parásitos. Entonces, se pueden aplicar herramientas quimioinformáticas para encontrar algún fármaco que pudiera usarse contra esa proteína y, por lo tanto, eliminar al parásito. Esto sería sólo una predicción, pero nos puede ayudar a guiar nuestros experimentos y probar aquellos compuestos con más posibilidad de éxito, reduciéndose tiempo, dinero y número de animales sacrificados.

6. Conclusiones

Lutjanus guttatus es un pez hospedero de diferentes especies de parásitos, tanto protozoos como metazoos. Los protozoos *A. ocellatum* y *C. irritans* son un riesgo real para el cultivo de este pez. Los monogéneos dactilógridos también pueden ser recurrentes y aunque no causen enfermedades aparentes, al ser tan abundantes en las branquias pueden causar problemas subletales. El monogéneo *Neobenedenia* sp. es un riesgo potencial, como también lo pueden ser los copépodos calígidos.

Para prevenir o controlar las enfermedades parasitarias en *L. guttatus*, es importante realizar labores de vigilancia y monitoreo que permitan entender la dinámica de las infecciones y poder intervenir oportunamente para aplicar alguno de los tratamientos recomendados. La rotación de tratamientos y su aplicación correcta (dosis, tiempo) es recomendable para evitar que los parásitos generen resistencia. Es importante seguir estrictamente las buenas prácticas de manejo para el cultivo de peces y, en la medida de lo posible, mantener la buena calidad del agua de cultivo y evitar al máximo la entrada de organismos indeseables a los sistemas de cultivo. Diferentes grupos de científicos, en diferentes partes del mundo, trabajan para encontrar mejores formas de controlar las enfermedades infecciosas en los peces. Este tipo de investigaciones es importante para lograr una acuicultura sustentable en favor de la seguridad alimentaria.

7. Referencias

- Boxshall, G. & Hayes P. (2019). Biodiversity and taxonomy of the parasitic Crustacea. En: N. J. Smit, N. L. Bruce & K. A. Hadfield (Eds.), Parasitic Crustacea, State of Knowledge and Future Trends. Cham: Springer.
- Costello, M. J. (2009). The global economic cost of sea lice to the salmonid farming industry. *Journal of Fish Diseases*, 32, 115-118.
- Del Río-Zaragoza, O. B., Fajer-Avila, E. J. & Almazán-Rueda, P. (2010). Haematological and gill response to an experimental infection of dactylogyrids monogeneans on the spotted rose snapper *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869). *Aquaculture Research*, 41, 1592-1601.
- Del Río-Zaragoza, O. B., Fajer-Avila, E. J. & Almazán-Rueda, P. (2011). Influence of β -glucan on innate immunity and resistance of *Lutjanus guttatus* to an experimental infection of dactylogyrid monogeneans. *Parasite Immunology*, 33, 483-494.
- Fajer-Ávila, E. J., Abad-Rosales, S., Medina-Guerrero, R. M. & Betancourt-Lozano, M. (2011). Avances sobre las investigaciones parasitológicas en el cultivo de pargo flamenco y botete diana Sinaloa, México. En: A. Ruiz-Luna, C. A. Berlanga-Robles & M. Betancourt-Lozano (Eds), Avances en acuicultura y manejo ambiental (pp. 71-92). México: Trillas.
- Fajer-Avila, E. J. & Medina-Guerrero, R. M. (2011). Enfermedades y su control. En: L. Alvarez-Lajonchère & A. C. Puello-Cruz (Eds.), El pargo flamenco: *Lutjanus guttatus*. Producción controlada de huevos, larvas y juveniles (pp. 141-152). México: Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C.
- Fajer-Ávila, E., Medina-Guerrero, R. M. & García-Vargas, F. (2006). Enfermedades parasitarias de impacto potencial en el cultivo de los pargos flamencos. *Panorama Acuícola Magazine*, 11 (4), 64-71.
- Fajer-Ávila, E. J., del Río-Zaragoza, O. B. & Betancourt-Lozano, M. (2012). Parasitic diseases in cultured marine fish in northwest Mexico. En: E. D. Carvalho, G. S. David & R. J. Silva (Eds.). Health and environment in aquaculture. Croatia: Intech Open Access Publisher.
- González, L. & Carvajal J. (2003). Life cycle of *Caligus rogercresseyi*, (Copepoda: Caligidae) parasite of Chilean reared salmonids. *Aquaculture*, 220, 101-117.
- Morales-Serna, F. N., Medina-Guerrero, R. M., Fajer-Ávila, E. J. (2016). Sea lice (Copepoda: Caligidae) parasitic on fishes reported from the Neotropical region. *Neotropical Biodiversity*, 2, 141-150.
- Nowak, B. F. (2007). Parasitic diseases in marine cage culture - An example of experimental evolution of parasites? *International Journal for Parasitology*, 37, 581-588.
- Overton, K., Dempster, T., Oppedal, F., Kristiansen, T. S., Gismervik, K., & Stien, L. H. (2019). Salmon lice treatments and salmon mortality in Norwegian aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 11, 1398-1417.
- Pérez-Urbiola, J. C., Inohuye-Rivera, R. B., & Muhlia-Melo, A. F. (2008). Protocolo de manejo de pargos *Lutjanus* spp. en relación a las enfermedades parasitarias de impacto en condiciones de cautiverio. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C, México
- Seng L. T. & Colorni, A. (2002). Infectious diseases of warmwater fish in marine and brackish water. En: P. T. K. Woo, D. W. Bruno & L. H. S. Lim (Eds.). Diseases and disorders of finfish in cage culture (pp. 193-230). Wallingford: CAB Publishing.
- Shinn, A. P., Pratoomyot, J., Bron, J. E., Paladini, G., Brooker, E. E., & Brooker, A. J. (2015). Economic cost of protistan and metazoan parasites to global mariculture. *Parasitology*, 142, 196-270.
- Soler-Jiménez, L. S., Morales-Serna, F. N. & Fajer-Avila, E. J. (2015). Rapid infection and proliferation of dactylogyrid monogeneans on gills of spotted rose snapper (*Lutjanus guttatus*) after transfer to a sea cage. *Veterinary Parasitology*, 210, 186-193.
- Stephens, F. J., Cleary, J. J., Jenkins, G., Jones, J. B., Raidal, S. & Thomas, J. B. (2003).

Treatments to control *Haliotrema abaddon* in the West Australian dhufish, *Glaucosoma hebraicum*. *Aquaculture*, 215, 1–10.

Venmathi Maran, B. A., Oh, S.-Y., Soh, H. Y., Choi, H. J. & Myoung, J.-G. (2012). *Caligus sclerotinosus* (Copepoda: Caligidae), a serious pest of cultured red seabream *Pagrus major* (Sparidae) in Korea. *Veterinary Parasitology*, 188, 355-361.