



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TÍTULO DEL ENSAYO

Eficacia de la saponina para el control biológico contra *Chattonella* spp. en
cultivos comerciales de *Penaeus vannamei*.

AUTOR

Lanche Obaco, Jorge Vicente

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del grado académico en
MAGÍSTER EN ACUICULTURA

TUTORA

PhD. Parra Riofrío, Geovanna Belén

Santa Elena, Ecuador

2026



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos calificadores, aprueban el presente trabajo de titulación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por el Instituto de Postgrado de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**ROXANA DEL CARMEN
ALVAREZ ACOSTA**

**PhD. Roxana Álvarez Acosta
COORDINADOR DEL PROGRAMA**

**GEOVANNA BELEN
PARRA RIOFRIO**

Firmado digitalmente por
GEOVANNA BELEN PARRA RIOFRIO
Fecha: 2026.09.17 10:16:12 -05'00'

**PhD. Geovanna Belén Parra Riofrío
TUTORA**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**CRISTOBAL LEONARDO
DOMÍNGUEZ BORBOR**

**MSc. Cristóbal Domínguez Borbor
ESPECIALISTA 1**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**JOSE JERRY LANDIVAR
ZAMBRANO**

**PhD. Jerry Landivar Zambrano
ESPECIALISTA 2**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**MARIA MARGARITA
RIVERA GONZALEZ**

**Ab. María Rivera González, Mgs.
SECRETARIA GENERAL
UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN:

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por Jorge Vicente Lanche Obaco, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Acuicultura.

Atentamente,

**GEOVANNA
BELEN PARRA
RIOFRIO**

Firmado digitalmente por
GEOVANNA BELEN PARRA
RIOFRIO
Fecha: 2026.09.17 10:18:32
-05'00'

PhD. Geovanna Parra Riofrío
TUTORA



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
INSTITUTO DE POSTGRADO**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Jorge Vicente Lanche Obaco

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, “Eficacia de la saponina para el control biológico contra *Chattonella* spp. en cultivos comerciales de *Penaeus vannamei*” previo a la obtención del título en Magíster en Acuicultura, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Santa Elena, a los 17 días del mes de julio del año 2026



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**JORGE VICENTE
LANCHE OBACO**

Jorge Vicente Lanche Obaco
AUTOR



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
INSTITUTO DE POSTGRADO**

AUTORIZACIÓN

Yo, Jorge Vicente Lanche Obaco

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de la investigación con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este informe de investigación dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Santa Elena, a los 17 días del mes de julio del año 2026



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:

JORGE VICENTE

LANCHE OBACO

Jorge Vicente Lanche Obaco

AUTOR



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado “**Eficacia de la saponina para el control biológico contra *Chattonella* spp. en cultivos comerciales de *Penaeus vannamei*”**”, presentado por el estudiante, Jorge Vicente Lanche Obaco fue enviado al Sistema Antiplagio TURNITIN, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al **0%**, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

 Página 2 de 28 - Descripción general de integridad Identificador de la entrega: tmoaid::13614623840

0% Similitud general
El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas

**GEOVANNA BELEN
PARRA RIOFRIO**

Firmado digitalmente por
GEOVANNA BELEN PARRA
RIOFRIO
Fecha: 2026.09.17 10:19:31
-05'00'

PhD. Geovanna Parra Riofrío
TUTORA

AGRADECIMIENTO

La finalización de este proyecto, que representa un objetivo más en mi trayectoria académica y personal, no habría sido posible sin el apoyo incondicional y la guía constante de personas fundamentales en mi vida.

En primer lugar, a mis padres, quienes con inquebrantable apoyo sacrificio y dedicación, me han brindado siempre las herramientas y el aliento necesario para perseguir mis sueños. Su fe en mis capacidades ha sido el motor que impulsó cada paso de este camino.

A mi familia, pilar fundamental de mi existencia, por su cariño, comprensión y paciencia. Cada palabra de aliento, cada gesto de apoyo y cada momento compartido han sido una fuente de fortaleza durante este proceso. Gracias por ser mi ejemplo y mi motivación.

Jorge Vicente, Lanche Obaco

ÍNDICE GENERAL

TÍTULO DEL ENSAYO	I
CERTIFICACIÓN:	III
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	IV
AUTORIZACIÓN.....	V
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE GENERAL	VIII
Resumen.....	VIII
Abstract.....	X
INTRODUCCIÓN	1
DESARROLLO.....	3
Floraciones algales nocivas y su impacto en la acuicultura	3
Biología de <i>Chattonella</i> spp. y efectos sobre organismos cultivados	4
Control biológico y compuestos naturales en acuicultura.....	4
Clasificación química de las saponinas y su relación con la toxicidad	6
Mecanismos de acción propuestos para la saponina: un modelo teórico por extrapolación	7
Saponinas como alternativa alguicida frente a <i>Chattonella</i> spp.	8
Resultados	8
Análisis comparativo de la literatura.....	10
Viabilidad práctica en sistemas camaroneros.....	11
Toxicidad y seguridad para <i>Penaeus vannamei</i>	13
CONCLUSIONES.....	14
RECOMENDACIONES	15
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Síntesis comparativa de hallazgos por eje temático.....	9
--	---

Resumen

La presente revisión bibliográfica analiza el potencial de las saponinas como alternativa biológica para el manejo de *Chattonella* spp. en el cultivo comercial de *Penaeus vannamei*. El objetivo fue evaluar, a partir de la evidencia científica disponible, la plausibilidad de este uso, sus limitaciones y los requisitos experimentales para determinar su eficacia y seguridad. Se realizó una revisión bibliográfica analítico-descriptiva, con búsqueda estructurada en Scopus, Web of Science, PubMed, SciELO, Google Scholar y repositorios institucionales. Se priorizaron artículos originales y, como apoyo contextual, revisiones y documentos técnicos relacionados con floraciones algales nocivas, saponinas, toxicidad y manejo acuícola.

Los resultados muestran que *Chattonella* spp. puede asociarse con deterioro de la calidad del agua y efectos fisiológicos adversos, particularmente mediante la generación de especies reactivas de oxígeno, pero la evidencia disponible no demuestra que las saponinas sean eficaces contra este género. Las saponinas poseen propiedades tensioactivas cuya actividad depende de su estructura, concentración, matriz y organismo expuesto. Por ello, se consideran candidatos para investigación, no un alguicida validado. La aplicación en cultivos de camarón requiere ensayos dosis-respuesta, determinación de LC50/EC50, evaluación de organismos no objetivo y validación en condiciones de estanque.

Palabras clave: floraciones algales nocivas, metabolitos secundarios, toxicidad acuática, dosis-respuesta, biotecnología marina, manejo sostenible

Abstract

This bibliographic review analyzes the potential of saponins as a biological alternative for managing *Chattonella* spp. in commercial *Penaeus vannamei* culture. The objective was to assess, from the available scientific evidence, the plausibility of this use, its limitations, and the experimental requirements for determining efficacy and safety. An analytical-descriptive bibliographic review was conducted through structured searches in Scopus, Web of Science, PubMed, SciELO, Google Scholar, and institutional repositories. Original research articles were prioritized, while reviews and technical documents were used for context.

The results show that *Chattonella* spp. may be associated with deteriorated water quality and adverse physiological effects, particularly through the generation of reactive oxygen species; however, the available evidence does not demonstrate that saponins are effective against this genus. Saponins have surfactant properties whose activity depends on their structure, concentration, matrix, and the exposed organism. They should therefore be considered research candidates rather than validated algicides. Their use in shrimp culture requires dose–response assays, LC50/EC50 determination, assessment of non-target organisms, and validation under pond conditions.

Keywords: harmful algal blooms, secondary metabolites, aquatic toxicity, doseresponse, marine biotechnology, sustainable management

INTRODUCCIÓN

A escala mundial, las floraciones algales nocivas constituyen una amenaza para la acuicultura y la pesca porque pueden alterar el oxígeno disuelto, modificar la calidad del agua y afectar la salud de los organismos cultivados (Díaz & Álvarez, 2023). La magnitud del impacto depende de la especie, la biomasa, la duración del evento y las condiciones del sistema; por ello, no es metodológicamente adecuado atribuir un porcentaje único de mortalidad a todas las FANs (Díaz & Álvarez, 2023; Hallegraeff et al., 2023). En este contexto, el uso de compuestos naturales se estudia como complemento del monitoreo y del manejo preventivo, no como sustituto automático de estas medidas.

En América Latina, la vigilancia de las floraciones algales nocivas se relaciona con la protección de ecosistemas costeros y actividades productivas. El sistema híbrido integrado de vigilancia descrito para Cienfuegos, Cuba, ilustra la utilidad de combinar observación ambiental, identificación de organismos y gestión interinstitucional (Rojas-Abrahantes et al., 2023). Para los sistemas camaroneros, este enfoque permite detectar cambios en la comunidad fitoplanctónica antes de considerar cualquier intervención con un compuesto bioactivo.

En el Pacífico occidental, las proliferaciones de *Chattonella* spp. se han relacionado con episodios de daño a pesquerías y organismos cultivados, aunque la intensidad del efecto varía entre especies y condiciones ambientales (Lum et al., 2021). Esta evidencia sustenta la importancia del problema biológico, pero no constituye evidencia de que una saponina específica controle *Chattonella* spp.

El objetivo de la presente revisión bibliográfica es analizar el potencial de las saponinas para el manejo de *Chattonella* spp. en cultivos comerciales de *P. vannamei*, diferenciando la evidencia directa de las inferencias basadas en propiedades generales de estos metabolitos. En particular, se examinan su fundamento químico, la plausibilidad de una actividad sobre microalgas, los riesgos para organismos no objetivo y las pruebas necesarias antes de una eventual aplicación en estanques.

Según Marques et al. (2023) y Zhu et al. (2021), las saponinas son un grupo estructuralmente diverso de metabolitos vegetales. Su capacidad tensioactiva y su interacción con esteroides permiten plantear una hipótesis de alteración de membranas; sin embargo, esa propiedad general no demuestra actividad alguicida contra *Chattonella* spp. ni seguridad para *P. vannamei*. Los estudios sobre otros aleloquímicos se utilizan aquí únicamente como contexto metodológico para diseñar ensayos, no como evidencia de eficacia de las saponinas (Zhu et al., 2021).

A partir de la problemática planteada, se propone estudiar las saponinas como candidatos experimentales para el manejo de *Chattonella* spp. La hipótesis debe comprobarse mediante ensayos controlados de eficacia, selectividad y seguridad; por tanto, el presente trabajo no afirma un beneficio productivo ya demostrado.

Se realizó una revisión bibliográfica analítico-descriptiva con síntesis narrativa de la evidencia. La búsqueda se efectuó en Scopus, Web of Science, PubMed, SciELO, Google Scholar y repositorios institucionales, empleando combinaciones en español e inglés de los términos “*Chattonella*”, “harmful algal blooms”, “saponins”, “aquaculture”, “*Penaeus vannamei*”, “toxicity” y “algicidal activity”.

Las revisiones se utilizaron para contextualizar conceptos y localizar estudios primarios; no se trataron como demostraciones experimentales. Se excluyeron documentos sin información verificable sobre organismo, compuesto, concentración, exposición o resultado. De cada estudio se extrajeron: especie o aislado, origen y caracterización del compuesto, concentración y tiempo de exposición, organismo diana y no diana, variables de respuesta, condiciones experimentales y limitaciones. La síntesis comparó evidencia directa, indirecta y ausencia de evidencia, con una tabla de estudios incluidos y una propuesta de diseño experimental.

La importancia de la investigación radica en la búsqueda de una alternativa sostenible para enfrentar uno de los problemas sanitarios más relevantes para la acuicultura. Desde el punto de vista productivo, genera información relevante para el manejo mejorado de las granjas camaroneras; desde el punto de vista social, favorece la estabilidad económica de las comunidades que dependen económicamente de esta

actividad; y desde el punto de vista académico, contribuye con evidencia al análisis del uso de compuestos naturales como herramienta de control alternativo frente a microalgas tóxicas. El ensayo se estructura a partir de una introducción, desarrollo teórico, análisis y discusión de los resultados encontrados y conclusiones.

DESARROLLO

Floraciones algales nocivas y su impacto en la acuicultura

Las floraciones algales nocivas pueden modificar el oxígeno disuelto, el pH, la turbidez y la composición de la comunidad planctónica; cuando la biomasa colapsa, la descomposición puede incrementar la demanda de oxígeno, en acuicultura, estos cambios pueden generar estrés y pérdidas, pero su magnitud depende de la especie, la densidad celular, la hidrodinámica y el tiempo de exposición (Díaz & Álvarez, 2023; Hallegraeff et al., 2023). Por esta razón, el monitoreo de clorofila, oxígeno, pH, temperatura, salinidad y composición fitoplanctónica debe preceder cualquier intervención.

Desde la perspectiva científica, las FANs son el resultado de un fenómeno multifactorial, sinérgico e interrelacionado, que involucra aspectos físicos, químicos y biológicos, y está asociado a actividades productivas, factores ecológicos y condiciones ambientales. Según Díaz y Álvarez (2023), las floraciones de microalgas nocivas producen cambios en los ecosistemas que afectan a la salud de las especies cultivadas y generan grandes pérdidas económicas. Mientras que Rojas-Abrahantes et al. (2023) señalan que hace falta potenciar los sistemas de vigilancia y aplicar estrategias integrales que garanticen el seguimiento de estos eventos en las zonas costeras.

Rojas-Abrahantes et al. (2023) enfatizan la pertinencia de fortalecer las acciones epidemiológicas de vigilancia y la implementación de un manejo integrado para el monitoreo y control de las proliferaciones de microalgas nocivas en zonas costeras. En cuanto a la similitud entre los planteamientos, se observa que los autores coinciden en el diagnóstico del problema, aunque lo abordan desde enfoques distintos: el primero desde el rubro productivo y económico, y el segundo desde el monitoreo preventivo.

Biología de *Chattonella* spp. y efectos sobre organismos cultivados

El género *Chattonella* pertenece a las rafidoficeas y comprende células flageladas capaces de desplazarse en la columna de agua. Las proliferaciones se favorecen por combinaciones específicas de temperatura, salinidad, luz y nutrientes; no existe un umbral universal para todas las especies (Lum et al., 2023; Mardones et al., 2021).

En términos sanitarios, *Chattonella* spp. es un organismo de preocupación porque algunas especies producen especies reactivas de oxígeno y se han asociado con toxicidad para peces de cultivo. Esta evidencia describe el riesgo propio de la microalga; no debe confundirse con evidencia sobre el efecto de las saponinas. La respuesta puede variar con la fase de crecimiento, el aislado y las condiciones ambientales (Cho et al., 2022; Shikata et al., 2021).

Si bien algunos estudios presentan diferencias en la amplitud o intensidad de sus efectos, existe acuerdo entre los autores en considerar a *Chattonella* spp. como organismo de preocupación para la acuicultura. Algunos trabajos explican el daño principalmente desde la toxicidad o citotoxicidad, mientras que otros lo consideran como un impacto asociado a la alteración general del medio acuático. Esto es relevante porque sugiere que una estrategia adecuada de manejo no debería basarse únicamente en su eliminación, sino también en evitar las condiciones que favorecen su proliferación (Lum et al., 2021).

Control biológico y compuestos naturales en acuicultura

El control biológico ha emergido como una alternativa válida en los sistemas productivos acuícolas, orientada al uso de organismos, extractos o compuestos naturales, entre ellos la saponina, capaces de regular poblaciones nocivas sin recurrir exclusivamente a biocidas químicos sintéticos, y así reducir la dependencia de sustancias persistentes en el ambiente (Anabtawi et al., 2024).

Siguiendo esta tendencia, el uso de metabolitos bioactivos de origen biótico ha tenido un creciente interés en la biotecnología acuícola. A nivel general, Elizondo (2022) indica que organismos fotosintetizadores como las macroalgas producen metabolitos

secundarios que pueden contribuir al desarrollo de una acuicultura más sostenible. Núñez et al. (2022) mencionan también la importancia de las microalgas como fuente de biomoléculas con interés científico e industrial.

A partir de esta comparación se puede apreciar que ambos aportes consensuan el potencial biotecnológico de los recursos fotosintetizadores; sin embargo, el primero enfatiza su uso en pro a una acuicultura sostenible, mientras que el segundo menciona su valía como fuente generadora de compuestos de interés general. Esta coincidencia contribuye con el planteamiento del ensayo, ya que valida que el interés por los metabolitos bioactivos pertenece a una línea de investigación consolidada más que a una propuesta aislada.

Los metabolitos secundarios vegetales han despertado gran interés debido a sus propiedades tensioactivas y su interacción con las membranas celulares microbianas. Las saponinas son metabolitos secundarios presentes en diversas especies vegetales; por su efecto tensioactivo, pueden alterar la permeabilidad celular y generar inhibición de determinados microorganismos. Por ello, desde la biotecnología acuícola pueden considerarse como una alternativa para el desarrollo de estrategias de control biológico más ambientalmente amigables. Sin embargo, aunque sus propiedades generales sugieren esta posibilidad, todavía existe escasa evidencia que respalde esta hipótesis frente a microalgas nocivas como *Chattonella* spp. y en condiciones de cultivo comercial.

Dentro del amplio grupo de metabolitos naturales con actividad biocida, las saponinas destacan por su capacidad tensioactiva para modificar la permeabilidad de las membranas celulares, mecanismo que en otros microorganismos acuáticos se ha asociado con la inhibición de procesos fisiológicos críticos como la fotosíntesis y la respiración celular. Si bien esta propiedad general de las saponinas no ha sido demostrada específicamente frente a *Chattonella* spp., constituye la base mecanicista que sustenta su exploración como alternativa de control. Cabe señalar que otros compuestos biocidas de origen natural, como los bacteriófagos descritos por Campa-Córdova et al. (2022) presentan igualmente menor persistencia ambiental y mejor adaptación a sistemas de producción sostenibles, lo que respalda de forma general la viabilidad de las estrategias

biológicas frente a las químicas, sin que ello implique una extrapolación directa de sus mecanismos a las saponinas.

Clasificación química de las saponinas y su relación con la toxicidad

Según Hurtado et al. (2022), las saponinas pueden clasificarse, entre otros criterios, según dos ejes principales: su estructura química (aglicona) y su número de cadenas de azúcares. Esta clasificación permite aproximarse, en términos generales, a su comportamiento fisicoquímico y a su toxicidad relativa, sin que ello implique una relación fija o universal, ya que la actividad biológica de cada saponina depende de su estructura molecular específica.

a) Por su estructura química (Aglicona):

Saponinas Triterpénicas: presentes principalmente en plantas dicotiledóneas. Una especie representativa en Ecuador es la *Chenopodium quinoa*, conocida comúnmente como quinua, compuesta por hederagenina y ácidos oleanólico y fitolacagénico (Hurtado et al., 2022).

Saponinas Esteroidales: se encuentran comúnmente en plantas monocotiledóneas. Un ejemplo en Ecuador es el Agave americana, conocido como penco o agave. Presentan mayor toxicidad que las triterpénicas, además de una fuerte actividad hemolítica (Hurtado et al., 2022).

b) Por su número de cadenas de azúcares:

Monodesmosídicas: caracterizadas por tener una sola cadena de azúcares. Debido a su estructura asimétrica, penetran con mayor eficacia en la membrana celular, por lo que son más tóxicas y líticas (Hurtado et al., 2022).

Bidesmosídicas: se componen de dos cadenas de azúcares. Debido a su mayor tamaño y polaridad, penetran con más dificultad las membranas celulares, lo que reduce su toxicidad; sin embargo, mediante hidrólisis enzimática pueden perder una cadena de azúcares y convertirse en monodesmosídicas, recuperando así su efecto tóxico (Hurtado et al., 2022).

Mecanismos de acción propuestos para la saponina: un modelo teórico por extrapolación

- a) Afinidad y unión (hipotética): en otros sistemas biológicos, el segmento lipofílico de la saponina se integra en la membrana plasmática e interactúa selectivamente con los esteroides para formar complejos equimolares en proporción 1:1 (Díaz Puentes, 2009). Esta interacción ha sido descrita como una propiedad general de las saponinas frente a membranas ricas en esteroides, mas no como un mecanismo comprobado específicamente para *Chattonella* spp., por lo que su extrapolación a este género debe interpretarse con cautela.
- b) Hinchamiento (swelling), hipotético: de producirse la pérdida de la barrera selectiva, la célula podría inundarse de agua e iones por ósmosis. Este paso corresponde a un efecto esperado por analogía fisicoquímica y no a una observación empírica registrada para *Chattonella* spp. tratada con saponinas.
- c) Lisis celular (hipotética): como consecuencia de las etapas anteriores, la membrana plasmática podría ceder ante la presión osmótica, lo que provocaría la muerte de la microalga. Al igual que en los pasos previos, esta fase no cuenta con respaldo experimental específico para el género de estudio.
- d) Estrés oxidativo (mecanismo secundario, hipotético): se ha descrito que el contacto de otras microalgas con saponinas triterpenoides de origen bacteriano y otros alguicidas puede inducir una producción excesiva de especies reactivas de oxígeno (ROS) que dañan las membranas internas (Meyer et al., 2017). Cabe advertir que este mecanismo fue descrito para una saponina triterpenoide de origen bacteriano y no puede generalizarse automáticamente a todas las saponinas, dado que variaciones estructurales entre moléculas pueden potenciar o reducir su actividad biológica; su ocurrencia en *Chattonella* spp. permanece, por tanto, como hipótesis a verificar experimentalmente.

Saponinas como alternativa alguicida frente a *Chattonella* spp.

Dentro de las estrategias biológicas planteadas para el control de las floraciones algales nocivas se han planteado el uso de saponinas debido a sus características biológicas y a su posible efecto físico-químico sobre las microalgas, alterando el funcionamiento normal de la membrana celular, lo que podría afectar a procesos esenciales para la microalga, como el intercambio de sustancias, la regulación osmótica o la estabilización de la célula. Desde esta perspectiva, las saponinas podrían ejercer un efecto inhibitorio sobre organismos nocivos presentes en sistemas acuáticos como señala (Elizondo, 2022).

En el mismo sentido, se ha descrito que los aleloquímicos vegetales podrían controlar las floraciones algales nocivas a través de mecanismos relacionados con inhibición de la fotosíntesis, estrés oxidativo y daño a estructuras celulares (Zhu et al., 2021); y que los aleloquímicos producidos por microalgas y otros organismos presentan potencial biopesticida, con menor persistencia ambiental y posible sinergismo con métodos de manejo más sustentables (Marques et al., 2023). Ambos estudios respaldan, en el plano conceptual, la línea argumentativa de este trabajo: un compuesto natural con actividad tensioactiva y capacidad de alterar membranas celulares, como es el caso de la saponina, posee en principio el perfil mecanicista necesario para ser considerado un candidato de control biológico frente a *Chattonella* spp., aunque su evaluación específica todavía esté pendiente.

No obstante, resulta pertinente aclarar una limitante: aún no existe suficiente evidencia concreta y específica sobre el comportamiento de las saponinas frente a *Chattonella* spp. Por ello, una postura académica prudente no sostiene que su efecto esté confirmado, sino que todavía es un potencial recurso de estudio experimental a realizar.

Resultados

La revisión de la literatura permitió organizar los hallazgos en tres ejes temáticos: (a) la biología de *Chattonella* spp. y su impacto sanitario-productivo en la acuicultura, (b)

las propiedades generales de las saponinas y su mecanismo tensioactivo sobre membranas biológicas, y (c) la evidencia específica sobre la interacción entre ambos elementos. La Tabla 1 resume, para cada eje, los autores consultados, sus principales hallazgos y las inferencias que estos permiten sustentar para el objetivo de este trabajo.

Tabla 1. Síntesis comparativa de hallazgos por eje temático.

Eje temático	Autor(es) y año	Hallazgo principal	Inferencia para este trabajo
Biología e impacto de <i>Chattonella</i> spp.	Shikata et al. (2021); Lum et al. (2021); Mardones et al. (2021); Lum et al. (2023)	<i>Chattonella</i> spp. genera estrés oxidativo, deterioro de la calidad del agua y mortalidad en organismos cultivados; su proliferación depende de temperatura, salinidad y nutrientes.	Confirma que <i>Chattonella</i> spp. es una amenaza sanitaria relevante para <i>P. vannamei</i> , lo que justifica la búsqueda de alternativas de control.
Vigilancia y contexto regional/global	Rojas-Abrahantes et al. (2023); Díaz & Álvarez (2023)	Las FANs son un problema creciente a nivel mundial y regional, con impacto económico y necesidad de sistemas de monitoreo.	Sitúa el problema en un contexto productivo real y respalda la pertinencia del tema.
Propiedades generales de las saponinas	Díaz Puentes (2009); Hurtado et al. (2022); Meyer et al. (2017)	Las saponinas interactúan con esteroides de membrana y presentan actividad tensioactiva y hemolítica en distintos sistemas biológicos (no en <i>Chattonella</i> spp.).	Sustenta un mecanismo plausible por analogía, pero no evidencia directa contra <i>Chattonella</i> spp.
Compuestos	Anabtawi et	Diversos	Respalda de

naturales como control biológico	al. (2024); Zhu et al. (2021); Marques et al. (2023); Elizondo (2022); Campa-Córdova et al. (2022)	metabolitos naturales (aleloquímicos, bacteriófagos, macroalgas) muestran potencial de biocontrol con menor impacto ambiental que los químicos.	forma general la viabilidad de estrategias biológicas, sin ser evidencia específica de la saponina.
Viabilidad práctica en camaronicultura	Lyu et al. (2021)	La dinámica fitoplanctónica es un indicador de cultivo saludable; no evalúa el efecto de saponinas.	Aporta contexto sobre el manejo fitoplanctónico, no evidencia de eficacia de la saponina.
Evidencia directa saponina- <i>Chattonella</i> spp.	No se identificaron estudios	No existen publicaciones que evalúen experimentalmente el efecto de la saponina sobre <i>Chattonella</i> spp. ni su seguridad para <i>P. vannamei</i> .	Constituye la principal brecha de conocimiento identificada en esta revisión y el eje de las recomendaciones.

Análisis comparativo de la literatura

Una comparación de los hallazgos en la literatura científica revela claras similitudes entre los procedimientos analizados. En primer lugar, la bibliografía científica reporta que las floraciones de algas nocivas se están convirtiendo en un problema creciente para la actividad acuícola, ya que pueden modificar las condiciones físicas y químicas del agua, provocar anomalías en el crecimiento de los organismos cultivados y generar pérdidas económicas a los productores. Por otro lado, los compuestos extraídos de materiales vegetales obtienen cada vez más interés como posibles agentes de control debido a su biodegradabilidad y la posibilidad de disminuir el uso de productos químicos en los sistemas productivos.

No obstante, son evidentes las diferencias en el tipo y la profundidad de la

evidencia disponible. Por ejemplo, Zhu et al. (2021) detallan explícitamente los mecanismos de acción propuestos de los aleloquímicos con actividad alguicida, mientras que Anabtawi et al. (2024) ofrecen una visión general más extensa y no dedicada de los mecanismos de control biológico en general y sus ventajas sobre los controles físicos o químicos. A su vez, la investigación de Lum et al. (2021) y Shikata et al. (2021) se centran en la ecología y la toxicidad de *Chattonella* spp., sin evaluar directamente el efecto de las saponinas en este género. La comparación indica que existe suficiente literatura científica para respaldar la relevancia del tema, pero no permite concluir con absoluta certeza la efectividad operativa de las saponinas en los sistemas comerciales de cultivo de camarones.

La principal contribución de esta revisión consiste en considerar conjuntamente ambas visiones: por una parte, la evidencia indica que algunos metabolitos secundarios de productos naturales pueden ser considerados candidatos para su uso como método de control; y, por otro lado, los estudios indican que los resultados obtenidos en condiciones experimentales no se extrapolan directamente a los sistemas de cultivo de camarón. Esta visión equilibrada permite sustentar la hipótesis de trabajo, reconociendo sus posibilidades y limitaciones.

Viabilidad práctica en sistemas camaroneros

Desde una perspectiva de aplicación, la viabilidad práctica de cualquier estrategia de control dirigida contra microalgas nocivas en cultivos camaroneros depende no solo de su efectividad biológica, sino también de su compatibilidad con el manejo del cultivo, la calidad del agua y la inocuidad ecológica del sistema. En estanques camaroneros, el control de proliferaciones algales debe considerar las condiciones necesarias para el mantenimiento de una comunidad fitoplanctónica estable y balanceada.

En este mismo sentido, la estructura y dinámica poblacional fitoplanctónica permite conocer la calidad del ambiente de cultivo, sugiriendo que el manejo fitoplanctónico no es un tema accesorio a la producción sana camaronera; al contrario, se convierte en uno de los pilares fundamentales. También se ha demostrado que los

tratamientos aplicados para regular características fisicoquímicas del agua y estabilizar las comunidades fitoplanctónicas y bacterianas mejoraron las características ecológicas del sistema.

Al comparar ambos trabajos se observa que presentan coincidencias, ya que ambos coinciden en determinar que el manejo ecológico del agua es importante; sin embargo, uno aborda el tema fitoplanctónico desde un enfoque diagnóstico, mientras que el otro lo hace desde un manejo práctico. Cabe precisar que Lyu et al. (2021) emplean la dinámica de la comunidad fitoplanctónica como indicador de un cultivo camarero saludable, sin evaluar el efecto de las saponinas sobre *Chattonella* spp. en larvas o postlarvas; su aporte a este trabajo es, por tanto, contextual (evidencia la relevancia del manejo fitoplanctónico en la producción de camarón) y no una demostración de la eficacia de las saponinas.

Con base en estos antecedentes teóricos, se propone que la incorporación de compuestos bioactivos de origen natural como las saponinas, en programas de manejo sanitario de sistemas acuícolas podría contribuir a la mitigación de proliferaciones nocivas del fitoplancton del género *Chattonella* spp. y otros organismos patógenos de los cultivos acuícolas, además contribuir a mantener la estabilidad ecológica del cultivo. Sin embargo, dicha propuesta plantea interrogantes relacionadas con la necesidad de evaluar su eficacia en condiciones productivas reales y su efecto sobre organismos no blanco presentes en el sistema acuícola; lo que evidencia la necesidad de desarrollar investigaciones científicas que permitan la validación experimental del uso de dichos compuestos en sistemas acuícolas comerciales.

A partir del análisis documental se infiere que las estrategias de biocontrol basadas en metabolitos naturales bioactivos se perfilan como una alternativa para mejorar la sostenibilidad ambiental de los sistemas acuícolas. En este sentido, la exploración del potencial bioactivo de las saponinas frente a *Chattonella* spp., constituye una alternativa prometedora para reforzar los planes de manejo sanitario y contribuir a la sostenibilidad de cultivos del camarón blanco (*Penaeus vannamei*).

Toxicidad y seguridad para *Penaeus vannamei*

Las saponinas son ampliamente reconocidas por su actividad hemolítica y su toxicidad sobre organismos acuáticos no objetivo, propiedad que ha sido documentada incluso en modelos de bioensayo estandarizados como el de artemia (brine shrimp), donde se ha evaluado la toxicidad de distintas saponinas (Zhao et al., 1999). Esta evidencia, aunque no proviene de ensayos con *P. vannamei*, constituye una señal de alerta que impide asumir de forma automática que la saponina sea segura para el camarón blanco del Pacífico.

En consecuencia, cualquier propuesta de aplicación de la saponina en sistemas camaroneros debe ir acompañada de estudios de toxicidad específicos que evalúen su efecto sobre larvas, juveniles y adultos de *P. vannamei*, así como sobre la microbiota, el zooplancton y el fitoplancton benéfico del sistema, y sobre los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua. Mientras esta información no esté disponible, la seguridad de la saponina para el organismo de cultivo debe considerarse una incógnita y no una premisa del análisis.

CONCLUSIONES

Desde un punto de vista teórico y científico, la propuesta de investigar el uso de la saponina como alternativa de control biológico frente a *Chattonella* spp. en los cultivos comerciales de *Penaeus vannamei* está enmarcada y es pertinente. La revisión documentada evidencia con claridad la relación entre la proliferación de esta microalga, el deterioro de la calidad del agua y los efectos negativos observados en organismos cultivados, según los mecanismos descritos en la literatura; esta evidencia, referida específicamente a *Chattonella* spp., cuenta con respaldo científico consistente. Distinto es el caso de la evidencia sobre el efecto de las saponinas frente a *Chattonella* spp., que, como se ha señalado a lo largo del documento, constituye la principal brecha de conocimiento identificada en esta revisión.

El análisis documental también permitió responder la pregunta planteada, ya que la literatura sugiere que la saponina puede ser considerada como una alternativa biológica potencial frente a microalgas nocivas. La evidencia científica revisada respalda los efectos tensoactivos e inhibitorios derivados del potencial fisiológico general de estas moléculas para alterar membranas celulares y procesos fisiológicos de organismos microscópicos; sin embargo, dicho potencial proviene de estudios realizados en otros sistemas biológicos y no constituye evidencia directa de su efecto sobre *Chattonella* spp. Por ello, esta viabilidad no puede considerarse suficiente para sacar conclusiones definitivas en sistemas camaroneros comerciales: no existe evidencia específica sobre el efecto directo de la saponina frente a *Chattonella* spp., ni sobre su seguridad para *Penaeus vannamei*, por lo que ambos aspectos requieren de estudios experimentales dedicados.

En este sentido, la propuesta planteada en este trabajo se basa en la relación entre el problema sanitario presentado, las propiedades atribuidas a las saponinas y la necesidad de implementar estrategias de manejo más sustentables dentro de la acuicultura. Sin embargo, su aplicación práctica dependerá de estudios posteriores que validen su eficacia y seguridad para otras especies, compatibilidad con las prácticas de cultivo y viabilidad dentro del sistema de producción.

RECOMENDACIONES

A partir de las limitaciones identificadas en esta revisión, se recomienda que futuros trabajos aborden de manera experimental el potencial alguicida de la saponina frente a *Chattonella* spp., incluyendo ensayos in vitro que permitan establecer curvas dosis-respuesta y determinar concentraciones efectivas, seguidos de ensayos in vivo en condiciones controladas que evalúen su desempeño en presencia de *Penaeus vannamei* y de la comunidad fitoplanctónica y bacteriana propia del sistema de cultivo.

Asimismo, se recomienda evaluar de forma específica la toxicidad de la saponina sobre *Penaeus vannamei* y otros organismos no objetivo del sistema acuícola, mediante bioensayos estandarizados (por ejemplo, determinación de LC50/EC50), considerando efectos sobre larvas, juveniles, microbiota, zooplancton y fitoplancton benéfico, así como su influencia sobre los parámetros de calidad del agua, antes de considerar su aplicación en condiciones productivas reales.

Finalmente, se sugiere que las próximas revisiones sobre el tema incorporen una búsqueda sistemática estructurada bajo criterios PRISMA, con tablas comparativas de estudios primarios, a fin de fortalecer el rigor metodológico y facilitar la identificación de vacíos de evidencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anabtawi, H. M., Lee, W. H., Al-Anazi, A., Mohamed, M. M., & Aly Hassan, A. (2024). Advancements in Biological Strategies for Controlling Harmful Algal Blooms (HABs). *Water (Switzerland)*, 16(2). <https://doi.org/10.3390/W16020224>
- Campa-Córdova, Á. I., Sánchez-Ortiz, A. C., Aguirre-Guzmán, G., Mazón-Suástegui, J. M., Flores-Miranda, M. del C., Luna-González, A., & Ochoa-Álvarez, N. (2022). Bacteriófagos: Herramientas de control biológico para una acuicultura sostenible. *Avances En Nutrición Acuicola*, 1(1), 223–244. <https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/368>
- Cho, K., Ueno, M., Liang, Y., Kim, D., & Oda, T. (2022). Generation of Reactive Oxygen Species (ROS) by Harmful Algal Bloom (HAB)-Forming Phytoplankton and Their Potential Impact on Surrounding Living Organisms. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/ANTIOX11020206>
- Díaz, P. A., & Álvarez, G. (2023). Effects of Microalgal Blooms on Aquaculture and Fisheries. *Fishes* 2023, Vol. 8, Page 461, 8(9), 461. <https://doi.org/10.3390/FISHES8090461>
- Díaz Puentes, L. N. (2009). *Interacciones moleculares entre plantas y microorganismos: saponinas como defensas químicas de las plantas y su tolerancia a los microorganismos.* Una revisión. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/PER01000357029>
- Elizondo, R. (2022). *MACROALGAS Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA ACUICULTURA | REVISTA LATINOAMERICANA DE BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL Y ALGAL.* <https://www.solabiaa.org/ojs3/index.php/RELBAA/article/view/136>
- Hallegraeff, G. M., Anderson, D. M., Davidson, K., Gianella, F., Hansen, P. J., Hegaret, H., Iwataki, M., Larsen, T. O., Mardones, J., MacKenzie, L., & Rensel, J. E. (2023). *Fish-Killing Marine Algal Blooms: Causative Organisms, Ichthyotoxic Mechanisms, Impacts and Mitigation.* <https://doi.org/10.25607/OBP-1964>

- Hurtado, A., Tutora, E. P., Espín, B., & Paulina, D. (2022). *Saponinas de la quinua, obtención y aplicaciones*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/>
- Liván Rojas-Abrahantes, G., Castellanos-González, E., Miranda-Vera, C. E., Díaz-Asencio, L., Hernández-Leyva, O., Rojas-Lantigua, L., Ángel, Y., & Moreira-González, R. (2023). Sistema integrado para la vigilancia y gestión de floraciones algales nocivas en la provincia de Cienfuegos, Cuba. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 15(1), 75–98. <https://doi.org/10.15359/REVMAR.15-1.5>
- Lum, W. M., Benico, G., Doan-Nhu, H., Furio, E., Leaw, C. P., Leong, S. C. Y., Lim, P. T., Lim, W. A., Lirdwitayaprasit, T., Lu, S., Muawanah, Nguyen, N. Van, Orlova, T. Y., Rachman, A., Sakamoto, S., Takahashi, K., Teng, S. T., Thoha, H., Wang, P., ... Iwataki, M. (2021). The harmful raphidophyte *Chattonella* (Raphidophyceae) in Western Pacific: Its red tides and associated fisheries damage over the past 50 years (1969–2019). *Harmful Algae*, 107, 102070. <https://doi.org/10.1016/J.HAL.2021.102070>
- Lum, W. M., Sakamoto, S., Yuasa, K., Takahashi, K., Kuwata, K., Kodama, T., Katayama, T., Leaw, C. P., Lim, P. T., Takahashi, K., & Iwataki, M. (2023). Comparative effects of temperature and salinity on growth of four harmful *Chattonella* spp. (Raphidophyceae) from tropical Asian waters. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1127871. <https://doi.org/10.3389/FMARS.2023.1127871/TEXT>
- Lyu, T., Yang, W., Cai, H., Wang, J., Zheng, Z., & Zhu, J. (2021). Phytoplankton community dynamics as a metrics of shrimp healthy farming under intensive cultivation. *Aquaculture Reports*, 21, 100965. <https://doi.org/10.1016/J.AQREP.2021.100965>
- Mardones, J. I., Paredes, J., Godoy, M., Suarez, R., Norambuena, L., Vargas, V., Fuenzalida, G., Pinilla, E., Artal, O., Rojas, X., Dorantes-Aranda, J. J., Lee Chang, K. J., Anderson, D. M., & Hallegraeff, G. M. (2021). Disentangling the environmental processes responsible for the world's largest farmed fish-killing harmful algal bloom: Chile, 2016. *Science of The Total Environment*, 766, 144383. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.144383>
- Marques, L., Macrae, A., de Souza, J. E., Neves Junior, A., & Vermelho, A. B. (2023).

- The Potential of Allelochemicals from Microalgae for Biopesticides. *Plants (Basel, Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/PLANTS12091896>
- Meyer, N., Bigalke, A., Kaulfuß, A., & Pohnert, G. (2017). Strategies and ecological roles of algicidal bacteria. *FEMS Microbiology Reviews*, 41(6), 880–899. <https://doi.org/10.1093/FEMSRE/FUX029>
- Núñez-Montero, K., Guerrero-Barrantes, M., & Gómez-Espinoza, O. (2022). Enfoques basados en microalgas para superar los efectos de la pandemia por COVID-19. *Revista Tecnología En Marcha*, 35, ág. 84-93. <https://doi.org/10.18845/TM.V35I5.6190>
- Shikata, T., Yuasa, K., Kitatsuji, S., Sakamoto, S., Akita, K., Fujinami, Y., Nishiyama, Y., Kotake, T., Tanaka, R., & Yamasaki, Y. (2021). Superoxide Production by the Red Tide-Producing *Chattonella* marina Complex (Raphidophyceae) Correlates with Toxicity to Aquacultured Fishes. *Antioxidants* 2021, Vol. 10, Page 1635, 10(10), 1635. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX10101635>
- Zhao, W. M., Qin, G. W., & Lou, L. G. (1999). Evaluation of Toxicity of Some Saponins on Brine Shrimp. *Journal of Asian Natural Products Research*, 1(4), 307–311. <https://doi.org/10.1080/10286029908039879>
- Zhu, X., Dao, G., Tao, Y., Zhan, X., & Hu, H. (2021). A review on control of harmful algal blooms by plant-derived allelochemicals. *Journal of Hazardous Materials*, 401, 123403. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2020.123403>